



**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TÜRKİYE KAMU İNŞAAT PROJELERİNDEKİ MALİYET VE
SÜRE SAPMALARININ YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE
KIYASLAMALI ANALİZİ**

**Hazırlayan
Savaş BAYRAM**

**Danışman
Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ
Prof. Dr. Mehmet Emin ÖCAL**

Doktora Tezi

**Temmuz 2013
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TÜRKİYE KAMU İNŞAAT PROJELERİNDEKİ MALİYET VE
SÜRE SAPMALARININ YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE
KIYASLAMALI ANALİZİ**

(Doktora Tezi)

**Hazırlayan
Savaş BAYRAM**

**Danışman
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ
Prof. Dr. Mehmet Emin ÖCAL**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBD-11-3566 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2013
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Savaş BAYRAM

İmza:



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Türkiye Kamu İnşaat Projelerindeki Maliyet ve Süre Sapmalarının Yapay Zekâ Yöntemleri ile Kıyaslamalı Analizi adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Savaş BAYRAM



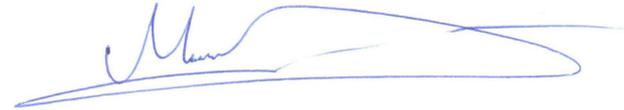
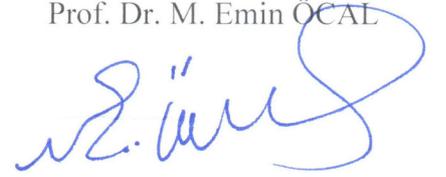
1. Danışman

Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ



2. Danışman

Prof. Dr. M. Emin ÖCAL



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ ve Prof. Dr. Mehmet Emin ÖCAL danışmanlıklarında Savaş BAYRAM tarafından hazırlanan “Türkiye Kamu İnşaat Projelerindeki Maliyet ve Süre Sapmalarının Yapay Zekâ Yöntemleri ile Kıyaslamalı Analizi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

05 /07/ 2013

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye : Prof. Dr. Emel LAPTALI ORAL

Üye : Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ

Üye : Doç. Dr. Murat ÇOBANER

Üye : Doç. Dr. Okan KARAHAN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 16/07/2013 tarih ve 2013/31-02 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

16.07/2013

Prof. Dr. KAZIM KESLİOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Babam merhum Cuma BAYRAM'ın hatırasına şükranlarımı sunarım.

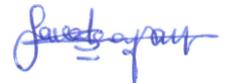
Doktora öğrenim hayatım boyunca yakın ilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet Emin ÖCAL'a ve Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ'e en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Önerileri ve paylaşımları ile bu çalışmanın bitmesine büyük katkı sağlayan ve tez izleme komitesi üyeliğini üstlenen değerli hocalarım Prof. Dr. Emel LAPTALI ORAL'a, Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a ve Prof. Dr. Özgür KIŞI'ye minnettarım.

Yaptığım arşiv çalışmalarına yaptıkları katkılardan dolayı; İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü yapım şube müdürü Bülent DİLDAN'a, Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürü Eyüp GÜL'e, Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü yapım-2 şube müdürü Orhan KESKİN'e, Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü yapım şube müdürü Mustafa ÖZMEN'e, Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü yapım şube müdürü Mustafa ÇEÇEN'e, Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü yapım şube müdürü Ahmet DEMİRAYAK'a, Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdür yardımcısı Hüseyin TURAN'a ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdür yardımcısı Tevrat KİSBET'e teşekkür ederim.

Onur verici yurt içi doktora bursu için TÜBİTAK-Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na (BİDEB) teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım süresince beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Fedakârlıklarını esirgemeyen ve her zaman yanımda olan değerli eşim Hülya BAYRAM'a minnettarım.



Savaş BAYRAM

Kayseri, Temmuz 2013

**TÜRKİYE KAMU İNŞAAT PROJELERİNDEKİ MALİYET VE SÜRE
SAPMALARININ YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE
KIYASLAMALI ANALİZİ**

Savaş BAYRAM

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Temmuz 2013

Danışmanlar: Prof. Dr. Cengiz D. ATİŞ, Prof. Dr. M. Emin ÖCAL

KISA ÖZET

İnşaat sektörünün gerek kamu kesimi gerekse özel kesimi kapsamında yer alan ve gerçekleştirilmesi planlanan bir inşaat projesinin maliyet kurgusunun doğru yapılabilmesi; fizibilite çalışmasının gerçek verilere dayanması ve (parasal) kaynak planlaması için büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de, inşaat yatırımlarının ön maliyet tahmininde, "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) olarak da bilinen ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek yayımlanan "Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ"de yer alan maliyet istatistikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak birim alan maliyetine dayalı maliyet tahmin sonuçları ile inşaatların gerçekleşme maliyetleri arasında önemli sapmalar olmakta, bu da yatırımların gecikmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, gerçekçi yapım maliyeti tahmini için alternatif yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, öncelikle; yapım işlerinin gerçekleşme maliyeti tahmininde; yapay zekâ tekniklerine dayalı tahmin yöntemlerinden olan yapay sinir ağları (ANN) yöntemi kapsamında yer alan; "çok katmanlı algılayıcı" (MLP) ve "radyal tabanlı fonksiyon" (RBF) yöntemlerinin ve hibrit yapay zekâ metotlarından olan "adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi" (ANFIS) yönteminin yanısıra, istatistiksel çoklu doğrusal regresyon (MLR) yönteminin performanslarının kıyaslanması amaçlanmıştır. MLP, RBF, ANFIS ve MLR yöntemlerinden elde edilen sonuçlar, birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) hesaplamalarından elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılarak, BAMY yaklaşımının geçerliliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, "maliyet modeli" adı altında beş kombinezondan oluşan bir model sunulmuştur. Daha sonra da yapım işlerinin maliyet sapmalarının ve süresel sapmalarının önceden tahmin edilip edilemeyeceğinin

belirlenebilmesi amacıyla, "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" adı altında iki model daha sunulmuştur.

Belirtilen çalışma kapsamında, Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde 4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa göre 2003-2011 yılları arasında ihaleye çıkarılmış ve tamamlanmış olan toplam 826 adet kamuya ait yapım işinin ihale dosyası incelenmiştir. Maliyet modeli için; gerçek yapım maliyeti değerleri ile tahmini yapım maliyeti değerlerini karşılaştırma kriteri olarak, maliyet sapması modeli için; gerçek maliyet sapması değerleri ile tahmini maliyet sapması değerlerini karşılaştırma kriteri olarak ve süresel sapma modeli için; gerçek süresel sapma değerleri ile tahmini süresel sapma değerlerini karşılaştırma kriteri olarak; karekök ortalama karesel hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Böylece, kullanılan bütün yöntemlerinin sağladığı performanslar; hem her bir coğrafi bölge için hem de Türkiye geneli için kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, önerilen maliyet modeli için; MLP, RBF, ANFIS ve MLR olmak üzere, kullanılan bütün yöntemlerden BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiş olup, önerilen maliyet modelinin BAMY yaklaşımının yerine kullanılabileceği ispatlanmıştır. Bunun yanısıra, önerilen maliyet sapması modelinin kullanımının kayda değer üstünlük içermediği ortaya çıkmış ancak bahsedilen modelin geliştirilerek analizlerin tekrarlanması için umut verici olabileceği belirtilmiştir. Son olarak; önerilen süresel sapma modelinin başarısız olduğu, bunun nedeninin de proje süresine etki eden öngörülemeyen faktörlerin fazlalığı olduğu belirtilmiştir. Maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için en yüksek performansların, yaygın olarak kullanılan bir ANN yaklaşımı olan MLP yönteminden elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapım maliyeti tahmini, maliyet sapması tahmini, süresel sapma tahmini, birim alan maliyeti yöntemi (BAMY), çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (RBF), adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), çoklu doğrusal regresyon (MLR).

**COMPARATIVE ANALYSIS OF COST AND SCHEDULE VARIANCES IN
PUBLIC CONSTRUCTION PROJECTS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE
APPROACHES: THE CASE OF TURKEY**

Savaş BAYRAM

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ph.D. Thesis, July 2013

Supervisors: Prof. Dr. Cengiz D. ATIŞ, Prof. Dr. M. Emin ÖCAL

ABSTRACT

Realistic cost estimation is crucial for feasibility works and funds management for both public and private construction projects. "The notice concerning the approximate construction unit costs to be used while calculating the service charge of architecture and engineering", which is updated and published annually by the Turkish Ministry of the Environment and Urbanism, and known as "unit area cost method" (UACM) is generally employed for the preliminary construction cost estimation in Turkey. However, it's a well known fact that the cost values obtained by using this method -in which only construction area is taken into consideration- have significant differences from real construction cost values. Therefore, alternative approaches have to be tried for realistic construction cost estimation.

The aim of this study has been to compare the construction cost estimation results obtained by; "multi layer perceptron" (MLP) and "radial basis function" (RBF), which are the most widely used artificial neural network (ANN) methods, and also "adaptive network based fuzzy inference system" (ANFIS), which is a hybrid artificial intelligence method and finally by multiple linear regression (MLR), which is a statistical method. The results of MLP, RBF, ANFIS and MLR are compared with the results of UACM and the validity of UACM results has been evaluated and discussed. For this purpose, a "cost model", which comprises five combinations, was proposed. Next, "cost variance model" and "schedule variance model" is proposed in order to determine cost and schedule variances at the preliminary construction stage.

In order to achieve the above mentioned objectives, data from 826 public construction projects, which were procured in accordance with the Public Tender Law, no 4734, and completed between 2003-2011 in the provinces of; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon and Samsun, which are located at (all) seven geographic

regions of Turkey, were reviewed. Root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and coefficient of determination (R^2) were calculated for comparing the models of; (1) real cost values and estimated cost values of the cost model, (2) real cost variance values and estimated cost variance values of the cost variance model, and (3) real schedule variance values and estimated schedule variance values of the schedule variance model. Thus, the performances of all these methods were comparatively evaluated for each geographical region and also for Turkey in general.

It was found that, for the cost model; MLP, RBF, ANFIS and MLR methods showed better performances than the UACM approach for the construction cost estimation. Because of the tangible proofs given in this study, it was shown that the proposed cost model could be preferred instead of UACM approach for construction cost estimation. Besides, it was emerged that the application of the proposed cost variance model did not present a remarkable superiority. On the other hand, it was realised that; improvement of the cost variance model together with further analyses would provide a useful tool for future developments. Finally, it was determined that the proposed schedule variance model was unsuccessful since there were too many unpredictable parameters that affect the duration of a project. It was concluded that; the best performances were obtained through MLP method -which is one of the most used ANN applications- for the cost model, cost variance model and schedule variance model.

Keywords: Construction cost estimation, cost variance estimation, schedule variance estimation, unit area cost method (UACM), multi layer perceptron (MLP), radial basis function (RBF), adaptive network based fuzzy inference system (ANFIS), multiple linear regression (MLR).

İÇİNDEKİLER

TÜRKİYE KAMU İNŞAAT PROJELERİNDEKİ MALİYET ve SÜRE SAPMALARININ YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE KIYASLAMALI ANALİZİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
KISA ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	x
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xiii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xxii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL KAVRAMLAR VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Yapım Maliyeti.....	11
1.2. Yapım Süresi	22
1.3. Literatür Çalışması.....	31

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Arşiv Çalışmalarından Elde Edilen Verilerin İçeriği	47
2.2. Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) ile Yaklaşık Maliyet Hesabı.....	67

2.3. Yapay Zekâ (AI) Yöntemleri ile Yapım Maliyeti, Maliyet Sapması ve Süresel Sapmanın Modellenmesi	69
2.4. Regresyon Analizi (RA) Yöntemi ile Yapım Maliyeti, Maliyet Sapması ve Süresel Sapmanın Modellenmesi	115

3. BÖLÜM

UYGULAMA

3.1. Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) ile Hesaplama.....	134
3.2. Yapay Zekâ (AI) Yöntemleri ile Modelleme.....	140
3.2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ile Modelleme.....	146
3.2.2. Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) ile Modelleme.....	149
3.2.3. Ağ Bölüştürme Algoritması (GPA) ile Modelleme.....	152
3.2.4. Eksiltmeli Gruplandırma Algoritması (SCA) ile Modelleme	154
3.3. Regresyon Analizi (RA) Yöntemi ile Modelleme.....	156

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular.....	165
4.1.1. İzmir'den Elde Edilen Bulgular	165
4.1.2. Bursa'dan Elde Edilen Bulgular	197
4.1.3. Ankara'dan Elde Edilen Bulgular	228
4.1.4. Gaziantep'ten Elde Edilen Bulgular	258
4.1.5. Malatya'dan Elde Edilen Bulgular	288
4.1.6. Adana'dan Elde Edilen Bulgular	319
4.1.7. Trabzon'dan ve Samsun'dan Elde Edilen Bulgular	350
4.1.8. Türkiye Genelinden Elde Edilen Bulgular	380
4.2. Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma	412
4.2.1. Maliyet Modeli Bulgularının Değerlendirilmesi	412
4.2.2. Maliyet Sapması Modeli Bulgularının Değerlendirilmesi.....	424
4.2.3. Süresel Sapma Modeli Bulgularının Değerlendirilmesi	432

5. BÖLÜM**SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

5.1. Sonuçlar	440
5.2. Öneriler	447
KAYNAKLAR	454
EKLER.....	473
ÖZGEÇMİŞ.....	482

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
ABD	Amerika Birleşik Devletleri	--
AI	Yapay zeka (Artificial intelligence)	--
ANFIS	Adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (Adaptive network based fuzzy inference system)	--
ANN	Yapay sinir ağları (Artificial neural networks)	--
ANOVA	Varyans analizi (Analysis of variance)	--
ARIMA	Otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (Autoregressive integrated moving average)	--
AUD	Avustralya doları	A\$
BAMY	Birim alan maliyeti yöntemi	--
BCIS	Bina maliyeti bilgi servisi (Building cost information service)	--
BFY	Birim fiyat yöntemi	--
CBR	Durum tabanlı çıkarsama (Case based reasoning)	--
CPM	Kritik yol metodu (Critical path method)	--
FIS	Bulanık çıkarım sistemi (Fuzzy inference system)	--
FL	Bulanık mantık (Fuzzy logic)	--
GA	Genetik algoritma (Genetic algorithm)	--
GPA	Ağ bölüştürme algoritması (Grid partitioning algorithm)	--
GSMH	Gayri safi milli hâsıla	--

J	Jacobian matrisi	--
KHT	Kesin hesap tutarı	--
LSE	En küçük kareler tahmini (Least square estimation)	--
MAE	Ortalama mutlak hata (Mean absolute error)	--
MAPE	Ortalama mutlak göreceli hata (Mean absolute percentage error)	--
MLP	Çok katmanlı algılayıcı (Multi layer perceptron)	--
MLR	Çoklu doğrusal regresyon (Multiple linear regression)	--
MRA	Çoklu regresyon analizi (Multiple regression analysis)	--
PCA	Temel bileşenler analizi (Principal component analysis)	--
PD	Devre diyagramları (Precedence diagrams)	--
PERT	Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği (Program evaluation and review technique)	--
PLS	Kısmi en küçük kareler yöntemi (Partial least squares)	--
PMI	Proje yönetimi enstitüsü (Project management institute)	--
R	Korelasyon katsayısı	--
R^2	Determinasyon katsayısı	--
RA	Regresyon analizi (Regression analysis)	--
RBF	Radyal tabanlı fonksiyon (Radial basis function)	--
RMSE	Karekök ortalama karesel hata (Root mean square error)	--
SB	Sözleşme bedeli	--
SCA	Eksiltmeli gruplandırma algoritması (Subtractive clustering algorithm)	--

SLR	Basit doğrusal regresyon (Simple linear regression)	--
TL	Türk lirası	--
TÜİK	Türkiye istatistik kurumu	--
UK	Birleşik krallık (United Kingdom)	--
X^2	Ki-kare katsayısı	--
YM	Yaklaşık maliyet	--

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Süresel planlamayı etkileyen faktörler... ..	27
Tablo 1.2.	Türkiye'nin il ve ilçelerine göre çalışılmayan günler listesi.....	30
Tablo 2.1.	Arşiv çalışmalarında incelenen ihale dosyası sayılarının coğrafi bölgelere göre dağılımı	54
Tablo 2.2.	Toplam inşaat alanı aynı olan iki farklı ofis binası örneği.	68
Tablo 3.1.	2003-2013 yılları arasında yayımlanan birim alan maliyetleri	136
Tablo 3.2.	BAMY yaklaşımı ile yapılan yaklaşık maliyet hesaplama örnekleri.	138
Tablo 3.3.	Maliyet modelinin girdi ve çıktı parametreleri.....	142
Tablo 3.4.	Maliyet sapması modelinin girdi ve çıktı parametreleri	142
Tablo 3.5.	Süresel sapma modelinin girdi ve çıktı parametreleri.. ..	142
Tablo 3.6.	Maliyet modelinin kombinezonları.....	143
Tablo 3.7.	Maliyet sapması modelinin kombinezonları.....	143
Tablo 3.8.	Süresel sapma modelinin kombinezonları.	144
Tablo 3.9.	Türkiye geneli verileri için ANOVA'dan elde edilen sonuçlar.....	163
Tablo 4.1.	İzmir için BAMY-KHT ilişkisi	170
Tablo 4.2.	İzmir için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	171
Tablo 4.3.	İzmir için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemleri verileri	173
Tablo 4.4.	İzmir için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	174
Tablo 4.5.	İzmir için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.	175
Tablo 4.6.	İzmir için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.	176
Tablo 4.7.	İzmir için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemleri verileri	182
Tablo 4.8.	İzmir için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	182
Tablo 4.9.	İzmir için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar..	183
Tablo 4.10.	İzmir için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	188
Tablo 4.11.	İzmir için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemleri verileri	191

Tablo 4.12. İzmir için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar	192
Tablo 4.13. İzmir için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	193
Tablo 4.14. Bursa için BAMY-KHT ilişkisi	202
Tablo 4.15. Bursa için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.	202
Tablo 4.16. Bursa için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	205
Tablo 4.17. Bursa için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar	205
Tablo 4.18. Bursa için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	206
Tablo 4.19. Bursa için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri	208
Tablo 4.20. Bursa için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	213
Tablo 4.21. Bursa için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar	214
Tablo 4.22. Bursa için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar...	215
Tablo 4.23. Bursa için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	219
Tablo 4.24. Bursa için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	222
Tablo 4.25. Bursa için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	222
Tablo 4.26. Bursa için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	223
Tablo 4.27. Ankara için BAMY-KHT ilişkisi	232
Tablo 4.28. Ankara için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	232
Tablo 4.29. Ankara için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	235
Tablo 4.30. Ankara için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar	236
Tablo 4.31. Ankara için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	237
Tablo 4.32. Ankara için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri	238
Tablo 4.33. Ankara için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	243
Tablo 4.34. Ankara için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	244
Tablo 4.35. Ankara için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.	245

Tablo 4.36. Ankara için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	249
Tablo 4.37. Ankara için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	252
Tablo 4.38. Ankara için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar	253
Tablo 4.39. Ankara için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar...	254
Tablo 4.40. Gaziantep için BAMY-KHT ilişkisi	262
Tablo 4.41. Gaziantep için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	262
Tablo 4.42. Gaziantep için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	265
Tablo 4.43. Gaziantep için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar	266
Tablo 4.44. Gaziantep için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.....	267
Tablo 4.45. Gaziantep için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.	268
Tablo 4.46. Gaziantep için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.....	272
Tablo 4.47. Gaziantep için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar	273
Tablo 4.48. Gaziantep için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	274
Tablo 4.49. Gaziantep için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	279
Tablo 4.50. Gaziantep için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.....	282
Tablo 4.51. Gaziantep için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	283
Tablo 4.52. Gaziantep için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.	284
Tablo 4.53. Malatya için BAMY-KHT ilişkisi	292
Tablo 4.54. Malatya için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	292
Tablo 4.55. Malatya için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	295
Tablo 4.56. Malatya için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar	296
Tablo 4.57. Malatya için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.....	297

Tablo 4.58. Malatya için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri	298
Tablo 4.59. Malatya için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	303
Tablo 4.60. Malatya için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar	304
Tablo 4.61. Malatya için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.	305
Tablo 4.62. Malatya için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	309
Tablo 4.63. Malatya için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	313
Tablo 4.64. Malatya için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	313
Tablo 4.65. Malatya için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar .	314
Tablo 4.66. Adana için BAMY-KHT ilişkisi.....	323
Tablo 4.67. Adana için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	324
Tablo 4.68. Adana için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	326
Tablo 4.69. Adana için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	327
Tablo 4.70. Adana için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	328
Tablo 4.71. Adana için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri	329
Tablo 4.72. Adana için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	334
Tablo 4.73. Adana için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	335
Tablo 4.74. Adana için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar..	336
Tablo 4.75. Adana için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	340
Tablo 4.76. Adana için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	343
Tablo 4.77. Adana için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar	344
Tablo 4.78. Adana için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	345
Tablo 4.79. Trabzon ve Samsun için BAMY-KHT ilişkisi	354

Tablo 4.80. Trabzon ve Samsun için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	355
Tablo 4.81. Trabzon ve Samsun için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.....	357
Tablo 4.82. Trabzon ve Samsun için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.	358
Tablo 4.83. Trabzon ve Samsun için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	359
Tablo 4.84. Trabzon ve Samsun için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.....	360
Tablo 4.85. Trabzon ve Samsun için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	365
Tablo 4.86. Trabzon ve Samsun için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar	365
Tablo 4.87. Trabzon ve Samsun için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.....	366
Tablo 4.88. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	371
Tablo 4.89. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.....	374
Tablo 4.90. Trabzon ve Samsun için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.	375
Tablo 4.91. Trabzon ve Samsun için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.....	376
Tablo 4.92. Türkiye geneli için BAMY-KHT ilişkisi.....	384
Tablo 4.93. Türkiye geneli için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	385
Tablo 4.94. Türkiye geneli için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri	388
Tablo 4.95. Türkiye geneli için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.....	388
Tablo 4.96. Türkiye geneli için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.	389
Tablo 4.97. Türkiye geneli için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.....	391
Tablo 4.98. Türkiye geneli için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.....	396

Tablo 4.99. Türkiye geneli için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar ...	396
Tablo 4.100. Türkiye geneli için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.....	397
Tablo 4.101. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.....	402
Tablo 4.102. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.....	406
Tablo 4.103. Türkiye geneli için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar. ...	407
Tablo 4.104. Türkiye geneli için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar	408
Tablo 4.105. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için hesaplanan ortalama kesin hesap tutarları.....	413
Tablo 4.106. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için BAMY sonuçlarının kesin hesap tutarları ile karşılaştırılması	415
Tablo 4.107. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için oluşturulan maliyet modelinin veri sayıları.....	416
Tablo 4.108. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için maliyet modelinden elde edilen optimum analiz sonuçları.....	418
Tablo 4.109. Maliyet modelinden elde edilen optimum değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması.	423
Tablo 4.110. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için hesaplanan ortalama maliyet sapmaları	425
Tablo 4.111. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için oluşturulan maliyet sapması modelinin veri sayıları.....	428
Tablo 4.112. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için maliyet sapması modelinden elde edilen optimum analiz sonuçları.....	429
Tablo 4.113. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için hesaplanan ortalama süresel sapmalar	433
Tablo 4.114. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için süresel sapma modelinin veri sayıları.....	435
Tablo 4.115. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için süresel sapma modelinden elde edilen optimum analiz sonuçları.....	437

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Geleneksel proje süresi-proje maliyeti değişimi.....	9
Şekil 1.2.	Projelerde süre-maliyet-kalite değişimi	9
Şekil 1.3.	Yapım maliyetinin ana dönemleri.....	14
Şekil 1.4.	Yapım sürecinde maliyetin değişimi	16
Şekil 1.5.	Yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler	25
Şekil 1.6.	Yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler-2.....	26
Şekil 2.1.	Çevre ve şehircilik il müdürlüklerinde çalışma yapılan iller.....	48
Şekil 2.2.	İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm	54
Şekil 2.3.	İzmir'deki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%).....	55
Şekil 2.4.	İzmir'deki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%)	55
Şekil 2.5.	Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.	56
Şekil 2.6.	Bursa'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%)	56
Şekil 2.7.	Bursa'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%).....	57
Şekil 2.8.	Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.....	57
Şekil 2.9.	Ankara'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%).....	58
Şekil 2.10.	Ankara'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%)	58
Şekil 2.11.	Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm	59
Şekil 2.12.	Gaziantep'teki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%)	59
Şekil 2.13.	Gaziantep'teki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%).....	59
Şekil 2.14.	Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.....	60
Şekil 2.15.	Malatya'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%)	60
Şekil 2.16.	Malatya'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%).....	61
Şekil 2.17.	Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.	61
Şekil 2.18.	Adana'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%).....	62
Şekil 2.19.	Adana'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%).....	62
Şekil 2.20.	Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.	63
Şekil 2.21.	Trabzon'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%)	63
Şekil 2.22.	Trabzon'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%).....	63
Şekil 2.23.	Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.	64
Şekil 2.24.	Samsun'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%).....	64
Şekil 2.25.	Samsun'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%)	65

Şekil 2.26. Türkiye genelinde incelenen yapım işlerinin yıllara göre dağılımı (%)	65
Şekil 2.27. Türkiye genelinde incelenen yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı (%)	66
Şekil 2.28. Biyolojik bir nöronun yapısı.	78
Şekil 2.29. Basit bir yapay nöron yapısı.	80
Şekil 2.30. Yapay nöronun detaylı yapısı	81
Şekil 2.31. Üç tabakalı bir ANN mimarisi.....	82
Şekil 2.32. ANN yaklaşımlarının sınıflandırılması.....	85
Şekil 2.33. İleri beslemeli ve dört tabakalı bir ANN mimarisi	87
Şekil 2.34. Geri beslemeli ve dört tabakalı bir ANN mimarisi.....	88
Şekil 2.35. İleri beslemeli geri yayımlı ve üç tabakalı bir ANN mimarisi.....	89
Şekil 2.36. 2-4-1 düzeneğine sahip üç tabakalı bir MLP sistemi.....	91
Şekil 2.37. n-N-m düzeneğine sahip bir RBF sistemi.....	95
Şekil 2.38. Klasik mantık sistemlerinin çalışma prensibi.. ..	101
Şekil 2.39. Bulanık mantık (FL) metodunun çalışma sistemi.....	102
Şekil 2.40. (a) Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı "Sugeno Bulanık Modeli". (b) Eşdeğer ANFIS yapısı.....	105
Şekil 2.41. Ağ bölüştürme algoritması (GPA) yaklaşımında ağ bölüştürme stili.....	108
Şekil 2.42. (a) Üçgensel üyelik fonksiyonu. (b) Gaussal üyelik fonksiyonu.....	110
Şekil 2.43. Basit doğrusal regresyon (SLR) doğrusu.....	128
Şekil 3.1. Tansig ve logsig aktivasyon fonksiyonlarının grafiksel gösterimleri.	148
Şekil 3.2. Radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonunun grafiksel gösterimi.	150
Şekil 3.3. (a) Üyelik fonksiyonu sayısı 2 olan GPA yapısı. (b) Üyelik fonksiyonu sayısı 3 olan GPA yapısı	153
Şekil 3.4. (a) Üyelik fonksiyonu sayısı 2 olan SCA yapısı. (b) Üyelik fonksiyonu sayısı 3 olan SCA yapısı	155
Şekil 3.5. Tek yönlü üst kuyruk testlerinde ret bölgesi.....	160
Şekil 3.6. Tek yönlü alt kuyruk testlerinde ret bölgesi	160
Şekil 3.7. İki (çift) yönlü testlerde ret bölgeleri	161
Şekil 4.1. İzmir'deki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%).....	166
Şekil 4.2. İzmir'deki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	166

Şekil 4.3. İzmir'deki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%).....	167
Şekil 4.4. İzmir için BAMY-Yaklaşık maliyet ilişkisi.....	168
Şekil 4.5. İzmir için BAMY-Sözleşme bedeli ilişkisi.....	168
Şekil 4.6. İzmir için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.	168
Şekil 4.7. İzmir için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı	169
Şekil 4.8. İzmir için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	172
Şekil 4.9. İzmir için maliyet modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-9-1)	177
Şekil 4.10. İzmir için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	179
Şekil 4.11. İzmir için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı .	179
Şekil 4.12. İzmir için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%)	181
Şekil 4.13. İzmir için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (4-2-1)	185
Şekil 4.14. İzmir için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	187
Şekil 4.15. İzmir için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı .	187
Şekil 4.16. İzmir için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	190
Şekil 4.17. İzmir için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	191
Şekil 4.18. İzmir için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (2-2-1)	195
Şekil 4.19. İzmir için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	196
Şekil 4.20. İzmir için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı..	197
Şekil 4.21. Bursa'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%)	198
Şekil 4.22. Bursa'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	198
Şekil 4.23. Bursa'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%).....	199
Şekil 4.24. Bursa için BAMY-Yaklaşık maliyet ilişkisi.	200
Şekil 4.25. Bursa için BAMY-Sözleşme bedeli ilişkisi.	200

Şekil 4.26. Bursa için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.....	200
Şekil 4.27. Bursa için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.	201
Şekil 4.28. Bursa için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.....	204
Şekil 4.29. Bursa için maliyet modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (5-8-1)	209
Şekil 4.30. Bursa için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	210
Şekil 4.31. Bursa için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.	211
Şekil 4.32. Bursa için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%)	212
Şekil 4.33. Bursa için maliyet sapması modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (3-5-1)	216
Şekil 4.34. Bursa için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	217
Şekil 4.35. Bursa için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.	218
Şekil 4.36. Bursa için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	220
Şekil 4.37. Bursa için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	221
Şekil 4.38. Bursa için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-5-1)	225
Şekil 4.39. Bursa için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	227
Şekil 4.40. Bursa için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı..	227
Şekil 4.41. Ankara'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%)	228
Şekil 4.42. Ankara'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	229
Şekil 4.43. Ankara'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%).....	229
Şekil 4.44. Ankara için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.	230
Şekil 4.45. Ankara için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.	230
Şekil 4.46. Ankara için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.	230
Şekil 4.47. Ankara için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı	231
Şekil 4.48. Ankara için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	234

Şekil 4.49. Ankara için maliyet modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (5-9-1)	239
Şekil 4.50. Ankara için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	240
Şekil 4.51. Ankara için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	241
Şekil 4.52. Ankara için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%)	242
Şekil 4.53. Ankara için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-6-1)	246
Şekil 4.54. Ankara için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	248
Şekil 4.55. Ankara için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	248
Şekil 4.56. Ankara için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.....	251
Şekil 4.57. Ankara için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	252
Şekil 4.58. Ankara için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (1-3-1)	256
Şekil 4.59. Ankara için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	257
Şekil 4.60. Ankara için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	257
Şekil 4.61. Gaziantep'teki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%)	258
Şekil 4.62. Gaziantep'teki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	259
Şekil 4.63. Gaziantep'teki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%).....	259
Şekil 4.64. Gaziantep için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.	260
Şekil 4.65. Gaziantep için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.....	260
Şekil 4.66. Gaziantep için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.....	260
Şekil 4.67. Gaziantep için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.....	261
Şekil 4.68. Gaziantep için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.....	264

Şekil 4.69. Gaziantep için optimum MLR modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	270
Şekil 4.70. Gaziantep için optimum MLR modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	270
Şekil 4.71. Gaziantep için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%)	272
Şekil 4.72. Gaziantep için maliyet sapması modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (5-1-1)	276
Şekil 4.73. Gaziantep için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	277
Şekil 4.74. Gaziantep için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	278
Şekil 4.75. Gaziantep için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı ...	281
Şekil 4.76. Gaziantep için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	281
Şekil 4.77. Gaziantep için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-2-1)	285
Şekil 4.78. Gaziantep için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	287
Şekil 4.79. Gaziantep için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	287
Şekil 4.80. Malatya'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%)	288
Şekil 4.81. Malatya'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	289
Şekil 4.82. Malatya'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%)	289
Şekil 4.83. Malatya için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.	290
Şekil 4.84. Malatya için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi	290
Şekil 4.85. Malatya için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.	290
Şekil 4.86. Malatya için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.....	291
Şekil 4.87. Malatya için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	294
Şekil 4.88. Malatya için maliyet modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (1-2-1)	299

Şekil 4.89. Malatya için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	300
Şekil 4.90. Malatya için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	301
Şekil 4.91. Malatya için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%)	302
Şekil 4.92. Malatya için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (3-10-1).	306
Şekil 4.93. Malatya için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	308
Şekil 4.94. Malatya için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	308
Şekil 4.95. Malatya için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.....	311
Şekil 4.96. Malatya için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	312
Şekil 4.97. Malatya için süresel sapma modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (5-8-1)	316
Şekil 4.98. Malatya için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.....	318
Şekil 4.99. Malatya için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	318
Şekil 4.100. Adana'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%)	319
Şekil 4.101. Adana'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	320
Şekil 4.102. Adana'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%).....	320
Şekil 4.103. Adana için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.....	321
Şekil 4.104. Adana için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.....	321
Şekil 4.105. Adana için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.....	322
Şekil 4.106. Adana için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.	322
Şekil 4.107. Adana için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.....	326
Şekil 4.108. Adana için maliyet modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-4-1)	330

Şekil 4.109. Adana için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	331
Şekil 4.110. Adana için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	332
Şekil 4.111. Adana için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%)	333
Şekil 4.112. Adana için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-9-1)	337
Şekil 4.113. Adana için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	339
Şekil 4.114. Adana için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	339
Şekil 4.115. Adana için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	342
Şekil 4.116. Adana için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	343
Şekil 4.117. Adana için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (4-5-1).	347
Şekil 4.118. Adana için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	348
Şekil 4.119. Adana için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	349
Şekil 4.120. Trabzon'daki ve Samsun'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%).....	350
Şekil 4.121. Trabzon'daki ve Samsun'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	351
Şekil 4.122. Trabzon'daki ve Samsun'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%)	351
Şekil 4.123. Trabzon ve Samsun için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi	352
Şekil 4.124. Trabzon ve Samsun için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi	352
Şekil 4.125. Trabzon ve Samsun için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki. ...	353
Şekil 4.126. Trabzon ve Samsun için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı	353
Şekil 4.127. Trabzon ve Samsun için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	357

Şekil 4.128. Trabzon ve Samsun için optimum MLR modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.....	362
Şekil 4.129. Trabzon ve Samsun için optimum MLR modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.	362
Şekil 4.130. Trabzon ve Samsun için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%).	364
Şekil 4.131. Trabzon ve Samsun için maliyet sapması modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (3-3-1).....	368
Şekil 4.132. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.	369
Şekil 4.133. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı	370
Şekil 4.134. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	373
Şekil 4.135. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%).	373
Şekil 4.136. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi (5-6-1).....	377
Şekil 4.137. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.	379
Şekil 4.138. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı	379
Şekil 4.139. Türkiye genelindeki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları (%)	380
Şekil 4.140. Türkiye genelindeki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları (%)	381
Şekil 4.141. Türkiye genelindeki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları (%)	381
Şekil 4.142. Türkiye geneli için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.....	382
Şekil 4.143. Türkiye geneli için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.....	382
Şekil 4.144. Türkiye geneli için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.....	383
Şekil 4.145. Türkiye geneli için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı	383
Şekil 4.146. Türkiye geneli için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı....	387

Şekil 4.147. Türkiye geneli için maliyet modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-8-1)	392
Şekil 4.148. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı	393
Şekil 4.149. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı	393
Şekil 4.150. Türkiye geneli için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı (%).	395
Şekil 4.151. Türkiye geneli için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (5-1-1).....	399
Şekil 4.152. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı	401
Şekil 4.153. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı	401
Şekil 4.154. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı	404
Şekil 4.155. Türkiye geneli için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı (%)	405
Şekil 4.156. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi (4-2-1)	409
Şekil 4.157. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı	411
Şekil 4.158. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.....	411
Şekil 4.159. Ortalama kesin hesap tutarı büyüklüğüne göre coğrafi bölgelerin sınıflandırılması.	414
Şekil 4.160. Ortalama maliyet sapması oranına göre coğrafi bölgelerin sınıflandırılması	426
Şekil 4.161. Ortalama süresel sapma oranına göre coğrafi bölgelerin sınıflandırılması.	434

GİRİŞ

Günümüz dünyasında insanların ihtiyaçları, gelişen teknoloji ile birlikte hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu değişimden, her sektör gibi inşaat sektörü de etkilenmekte ve artan gereksinimler inşaat sektöründe de önemli talepler oluşturmaktadır. Örneğin inşaat projeleri giderek büyümekte ve daha karmaşık bir hal almaktadır. Karmaşıklığın temelinde, inşaat projelerinin çok sayıda birimi bünyesinde bulundurması ile maliyet ve süre faktörlerinin çok büyük önem taşıması yatmaktadır. Bu karmaşıklık, inşaat projelerinin yönetimindeki en büyük engel olarak değerlendirilmekte ve inşaat proje yöneticilerini sistematik çözümler bulmaya zorlamaktadır [1].

Dünya piyasalarını küresel düzeyde etkisi altına alan ekonomik daralmaya paralel olarak, proje bazında en uygun proje maliyeti ve proje iş programı ödünleşimini hedeflemek, inşaat sektöründe faaliyet gösteren firmaların özellikle son dönemlerde önem verdikleri konuların başında gelmektedir. Projenin aciliyeti, proje için ayrılmış bütçe, hedeflenen kalite vb. hususları göz önünde tutarak belirlenen maliyet-iş programı ödünleşimini proje bitiminde tutturmuş olmak, günümüz koşullarında projenin başarılı olarak değerlendirilmesinde de en önemli husus olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

İnşaat sektöründe bir proje henüz fikir aşamasındayken, yani yapım öncesi aşamada finansal modelin doğru bir şekilde kurulması, milli servet kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu ise tasarım öncesi evrede maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılmasıyla mümkün olabilmektedir [3]. İnşaat sektöründe rol alan birçok kişi ya da kuruluş için maliyet tahmini, sürecin gerçekleştirilmesi ve devamlılığına yönelik uygun kararların verilmesi ve kaynakların en etkin biçimde kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır [4]. Yapım evresinde maliyet ile sürenin planlanması ve denetiminin sağlanmasına yönelik olarak görülen zorluklar ile

ilgili teorik çalışmalar olmasına rağmen, belirli istisnalar dışında, belirlenen süre ve maliyet içinde gerçekleştirilebilen yapı üretiminin sayısı azdır [5,6].

İnşaat sektörünü oluşturan unsurlar; kamu kesimi ve özel kesim olmak üzere ikiye ayrılır [7]. İnşaat faaliyetlerinin devletin yatırım politikasında büyük yer tutması dolayısıyla, kamu kesiminde inşaat yapım işleri devletin kurum ve kuruluşlarının sorumluluğunda özel sektörün uzmanlaşmış kişilerine/firmalarına yaptırılmaktadır. Kamu kesiminde inşaat yapım işlerinin özel sektörün uzmanlaşmış kurumlarına yaptırılması, genellikle ihaleler vasıtası ile sağlanmaktadır. Kamu kurum ve kuruluşlarının, yapacakları ihalelerde uygulanacak esas ve usuller de yasal mevzuatlarla düzenlenmektedir.

Ülkemizde ihtiyaçların en iyi şekilde, uygun şartlarla ve zamanında karşılanabilmesi amacıyla 01 Ocak 1984 tarihinde yürürlüğe giren 2886 sayılı "Devlet İhale Kanunu", 2003 yılına kadar köklü değişikliğe uğramamıştır. Devlet ihale kanununun değişen ve gelişen ihtiyaçları karşılayamaması, uygulamada ortaya çıkan aksaklıkları gidermede yetersiz kalması, bütün kamu kurumlarını kapsamaması, Avrupa Birliği ve uluslararası ihale uygulamalarına paralellik göstermemesi nedeniyle, kamu ihaleleri ile ilgili daha geniş kapsamlı yeni bir kanun hazırlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla, 4734 sayılı "Kamu İhale Kanunu" hazırlanmış ve 01 Ocak 2003 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde kamu inşaat yatırımlarının beklenenden daha yüksek maliyetle ve daha uzun sürede gerçekleşmesinin kamu kaynaklarında önemli israfa neden olduğu bilindiğinden, yeni ihale sistemi bu konuda önemli iyileşmeler sağlayacağı beklentisiyle hazırlanmıştır [8].

Bu tez çalışmasında da, yukarıda anlatılanlara paralel olarak; mevcut kamu ihale kanununa dayalı olarak ihale edilen ve tamamlanan yapım işlerine ait kesin hesap tutarlarının, öncelikle "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) hesaplamalarından elde edilen yapı yaklaşık maliyetleri ile kıyaslanarak BAMY yaklaşımının gerçeği ne düzeyde yansıttığının belirlenmesi amaçlanmış ve kıyaslamalar neticesinde BAMY yaklaşımının yapı yaklaşık maliyeti tahmininde gerçekçi çözüm sağlayamadığı belirlenmiştir. Daha sonra; "maliyet modeli", "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" olmak üzere öneri niteliğinde üç farklı model oluşturularak bu modeller

dört farklı yapay zekâ (AI) yaklaşımı ve ek olarak regresyon analizi (RA) ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçların başarı düzeyleri kıyaslanarak, kullanılan yaklaşımların inşaat evresi başlamadan önceki uygulanabilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; Akdeniz bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi, Ege bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Marmara bölgesi olmak üzere Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan; Adana, Malatya, İzmir, Gaziantep, Ankara, Trabzon, Samsun ve Bursa şehirlerinde Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından mevcut kamu ihale kanununa göre ihale edilip 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 826 inşaat projesinin ihale dokümanı incelenmiştir. Belirtilen kurumların arşivlerinde yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen verilerden, söz konusu projelerin öngörülen ve gerçekleşen süre ve maliyet değerleri ile fiziki özellikleri elde edilerek her bir şehir ve dolayısıyla her bir coğrafi bölge için yukarıda bahsedilen üç model oluşturulmuştur. Maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin verileri, Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesi ve son olarak Türkiye geneli için; yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ile, hybrid yapay zekâ yaklaşımlardan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ile ve ek olarak sıklıkla kullanılan bir regresyon analizi (RA) yaklaşımı olan çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi ile analiz edilmiştir.

Sonuç olarak, maliyet modeli için; bütün coğrafi bölgelerin ve Türkiye genelinin MLP, RBF ve MLR yöntemlerinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarlarının, BAMY yaklaşımı ile hesaplanan yaklaşık maliyetlere oranla ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarına daha yakın oldukları, bir başka ifadeyle BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi oldukları, en yüksek performansın da Türkiye geneli için MLP yöntemi ile yapılan analizden elde edildiği tespit edilmiştir. Maliyet sapması modeli için MLP ve RBF yöntemlerinden elde edilen tahmini maliyet sapmalarının diğer yöntemlerden elde edilen tahmini maliyet sapmalarına göre daha yüksek performans gösterdikleri ancak maliyet sapması modelinin sadece Ege bölgesinde yer alan İzmir şehri ile Türkiye geneli için gerçekçi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Süresel sapma modeli için de maliyet sapması modeline benzer olarak en yüksek performansın MLP ve RBF yöntemlerinden elde edildiği ancak süresel sapma modeli için; sadece Akdeniz

bölgesinde yer alan Adana şehri ile Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ve Samsun şehirlerinden elde edilen sonuçların kabul edilebilir seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için, ANN yaklaşımlarından olan MLP ve RBF yöntemleri, hybrid yapay zekâ yaklaşımlardan olan GPA ve SCA yöntemlerine ve istatistiksel bir yaklaşım olan MLR yöntemine oranla daha ön plana çıkmış olsa da, genel değerlendirmede, en yüksek performansların MLP yönteminden elde edildiği ve MLP yönteminin, kamu yapım işlerinin inşaat evresi öncesinde, kesin hesap tutarları ile maliyet sapmaları ve süresel sapmaların tahmin edilmesindeki uygulanabilirlik düzeyinin yüksek olduğuna ilişkin ciddi bulgulara ulaşılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde; proje kavramı, proje yönetimi, proje maliyeti, proje süresi, inşaat sektörünün ve inşaat projelerinin özellikleri, yapım maliyeti ve yapım süresi kavramları ele alınmıştır. Son olarak da, literatür çalışması sonucunda edinilen bulgulara yer verilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde; Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehirdeki Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde gerçekleştirilen arşiv çalışmalarından elde edilen verilerin nitelikleri ve nicelikleri ile ilgili bilgilere yer verilmiş olup, bununla birlikte, çalışma kapsamında kullanılacak yöntemlerden olan; birim alan maliyeti yöntemi (BAMY), yapay zekâ (AI) yaklaşımları ve regresyon analizi (RA) ile ilgili genel bilgiler paylaşılmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde; arşiv çalışmalarından elde edilen verilerle oluşturulan maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiş ve model analizlerinin sonuçlarını karşılaştırma kriterleri tanıtılmıştır. Ayrıca, birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) ile yapılan yaklaşık maliyet hesabına ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Bununla birlikte, oluşturulan üç modelin analizinde kullanılan ve yapay zekâ yaklaşımlarından olan; çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (RBF), ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) yöntemlerinin yanısıra, regresyon analizi (RA)

yöntemi ile yapılan analizlerde dikkate alınan hususlar, analizler kapsamında yapılan sınırlamalar ve kullanılan değişkenlere yer verilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde; öncelikle hesaplamalar ve analizler sonucu elde edilen bulgulara, her bir coğrafi bölge ve Türkiye geneli için olmak üzere ayrı ayrı yer verilmiştir. Elde edilen bulgular, daha sonra da; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli kapsamında toplu olarak değerlendirilerek model bazında, yöntem bazında ve coğrafi bölge bazında kıyaslamaya imkân tanınmıştır.

Tez çalışmasının beşinci ve son bölümünde; edinilen bulgulara dayanılarak tespit ve önerilerde bulunulmuş, çalışmanın geliştirilebilmesi adına yapılabilecek ilave çalışmalar konusunda bakış açısı oluşturulmaya çalışılmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL KAVRAMLAR ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Birçok sektörde olduğu gibi, inşaat sektöründe de işler, proje tabanlı olarak yürütülmektedir. Proje; başlangıç ve bitiş tarihleri arasında, düşünce aşamasından işin tamamlanmasına kadar olan, sözleşme belgeleri ile tanımlanan tüm evreleri içeren bir süreç olarak tanımlanabilir [9]. Proje, merkezi ABD’de bulunan "Proje Yönetimi Enstitüsü" (PMI) tarafından ise, "tek bir ürünü veya hizmeti üretmek için oluşturulan geçici bir gayret" olarak tanımlanmaktadır [10].

Değişen dünyanın rekabet koşulları, projelerin daha kısa sürede ve ekonomik olarak tamamlanması ile birlikte, kaynakların da mümkün olan en etkin biçimde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır [11]. Türkiye’de toplam yatırımların yaklaşık %50’sini oluşturan inşaat sektörüne 200’den fazla alt sektör girdi sağlamaktadır [12]. Tedarikçi kuruluşlar da dikkate alındığında, inşaat sektörünün "gayri safi milli hâsıla" (GSMH) kapsamındaki payının yaklaşık %33 ve istihdama katkısının %12 düzeyinde olduğu ifade edilmektedir [12]. Türkiye’de inşaat sektörü, 200’den fazla alt sektöre hizmet etmesi nedeniyle "lokomotif sektör", istihdama katkısının %12 düzeyinde olmasından dolayı da "sünger sektör" olarak adlandırılmaktadır [13].

İnşaat sektörünü oluşturan unsurlar; kamu sektörü ve özel sektör olmak üzere ikiye ayrılır [7,13]. Kamu sektöründe inşaat işleri, devletin kurum/kuruluşlarının sorumluluğunda yaptırılmaktadır. Kamu inşaat sektörünün işverenleri; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı, Büyükşehir Belediyeleri, diğer belediyeler vb. olarak sıralanabilir. Özel sektörde ise kişiler/firmalar faaliyet gösterirler. Özel sektörün işverenleri; kiralamak, satmak veya kendi kullanımları adına inşaat faaliyetlerinde bulunurlar [13].

İnşaat sektörünün ana elemanları; işveren, proje ve yüklenici olmak üzere üçe ayrılır [13]. İnşaat sektörü, birçok alt sektörü kapsadığından dolayı, bu sektörde meydana gelen olumsuzlukların etkisi de yaygın olmaktadır [12]. İnşaat sektöründe, üretim için kullanılan kaynak çeşidinin ve miktarının fazlalığı, sektör tarafından yürütülen projelerin hedeflenen biçimde tamamlanmasını zora sokmaktadır [11]. Bu nedenle, diğer sektörlerden farklı olarak, inşaat sektöründe planlama ve programlamada daha etkin uygulamalar yapılması kaçınılmaz olmaktadır [11]. Bu noktada, inşaat projelerinin nasıl yönlendirilmesi gerektiği, büyük bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Proje yönetimi; proje katılımcılarının faaliyetlerini planlayan, yürüten, kontrol eden, işveren ile sözleşme ilişkisi içinde bulunan ya da işverenin kendi organizasyonuna dâhil olan kişi/örgüt olarak tanımlanabilir [14]. İnşaat sektöründe proje yönetiminin, genel proje yönetimi anlayışına göre farklılıklar gösterdiği kabul edilmektedir. Çünkü inşaat sektöründe yer alan projeleri, diğer sektörlerin projelerinden ayıran bazı özellikler vardır [14]. Bu özellikler; her projenin özgün olması, proje süreçlerinin uzun olması, her projenin farklı örgütlenme ve üretim süreci gerektirmesi, üretimin doğal etkilere tamamen açık alanlarda gerçekleştirilmesi, projelerde geriye beslemenin (feedback) zor olması ve proje maliyetinin belirlenmesindeki zorluklar, şeklinde sıralanabilir [14,15]. Bu noktada, belirtilen farklılıkları çözümlenebilmek için, işletme ve mühendisliğin ortak çalışması sonucu "inşaat projelerinin yönetimi" (construction project management) disiplini ortaya çıkmıştır [16]. İnşaat projelerinin yönetimi süreci;

- Proje yönetimi (genel yapı),
- Süre yönetimi,
- Maliyet yönetimi,
- Kalite yönetimi,
- Sözleşme yönetimi,
- İş güvenliği yönetimi,

Olmak üzere altı temel işlevden oluşmaktadır [9,17]. Bazı kaynaklarda, proje yönetimi işlevinin yerine; tanımlar, kaynak yönetimi ve bilişim yönetimi gibi işlevler yer almaktadır [16]. İnşaat projelerinin yönetimi, yukarıda belirtilen ve birbiri ile ilişkili olan süreçler kapsamında incelenerek inşaat sektörünün karmaşık yapısının daha net bir

şekilde ifade edilebilmesi amaçlanmaktadır. Bu süreçlerin her birinde; yapılması gerekenler ve çalışma prensipleri oluşturulduğunda, proje yönetimi sistemi de kurulmuş olacaktır [16]. Bahsedilen her bir işlev, sistematik olarak beş farklı evreye bölünmüştür.

Bu evreler;

1. Ön tasarım evresi,
2. Tasarım evresi,
3. İhale evresi,
4. İnşaat evresi,
5. İnşaat sonrası evre,

Olarak sıralanabilir [17]. Ön tasarım evresinde; söz konusu projenin yeri görülüp; süre, maliyet ve kalite hedefleri esas alınarak projenin ön keşfi hazırlanır. Tasarım evresinde; ön tasarım evresindeki parametre miktarlarına dayanılarak keşif çıkarılır. İhale evresinde; gelen teklifler incelenir ve en uygun teklif belirlenerek sözleşme imzalanır. İnşaat evresinde; hakediş ödemeleri takip edilir, değişiklik talimatlarının denetimi ile projenin öngörülen bütçeye uygun olarak ilerlemesi sağlanır ve problem varsa çözüm üretilir. İnşaat sonrası evrede ise; projenin toplam maliyeti sonuç raporunda özetlenir, tüm değişiklik talepleri ve maliyeti etkileyebilecek fakat henüz karara bağlanmamış sorunlar listelenerek alınabilecek önlemler açıklanır [17].

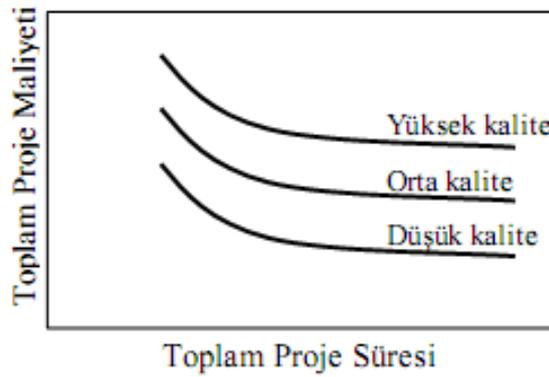
Bazı kaynaklarda; yukarıda verilen ilk iki evre, yani ön tasarım ve tasarım evreleri, dört ana başlık altında verilmiştir [18]. Bu evreler; tasarım öncesi evre, ön tasarım evresi, kesin proje evresi ve uygulama projesi evresi olarak sıralanmıştır. Tasarım öncesi evre de; Evre-I ve Evre-II olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İki evre arasındaki tek farklılık, sahip olunan yapısal bilgilerin Evre-II'de daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır [18]. Bazı kaynaklarda da, projeler, yapım aşamaları göz önüne alındığında; fizibilite (uygulanabilirlik) aşaması, kavramsal aşama, mühendislik aşaması, tedarik aşaması, inşaat aşaması ve inşaat sonrası aşama olmak üzere altı farklı aşamaya ayrılmıştır [19].

Henüz ön tasarım evresinde bahsi geçen üç temel bileşen olan; süre, maliyet ve kalite bileşenlerinin optimizasyonu, günümüzde inşaat projelerinin başarılı olabilmesi için gerekli olan, olmazsa olmaz bir amaçtır [11,20,21]. Bir başka ifadeyle, inşaat

projelerinin yönetimi; projenin planlanan zaman ve maliyet sınırları içerisinde, istenen kalite standartlarına uygun bir biçimde tamamlanmasını amaçlayan faaliyetleri içermektedir [14]. Süre planlaması; faaliyetlere atanan kaynaklarla, ilgili faaliyetlerin ne kadar sürede tamamlanabileceğinin tahminini içerir. Maliyet planlaması; proje kapsamında ihtiyaç duyulan parasal kaynağın belirlenmesi ile proje sürecinde hangi faaliyet için ne miktarda parasal kaynak kullanılacağı tahminini içerir. Kaynak planlaması ise; projenin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan; malzeme, makine ve işgücü kaynaklarının ve miktarlarının tahminini içerir [11].



Şekil 1.1. Geleneksel proje süresi-proje maliyeti değişimi. [22]



Şekil 1.2. Projelerde süre-maliyet-kalite değişimi. [23]

Geleneksel proje süresi-proje maliyeti değişimi analizinde, süre ile maliyet arasındaki değişim, Şekil 1.1'deki gibi dışbükey bir eğri olarak tanımlanmakta ve bu eğrinin sabit bir kaliteyi içerdiği varsayılmaktadır [22]. Eğer projedeki eylemler farklı kalite düzeylerinde tanımlanıyorsa, süre-maliyet-kalite değişimi, Şekil 1.2'deki gibi dışbükey bir eğri olarak tanımlanmaktadır [23].

Her projenin; geçerli bir amacı, tanımlanmış başlangıç-bitiş tarihleri (süresi) ve finansman sınırı (bütçesi) vardır [19]. Bütçe ve süre, inşaat projelerinin ana kısıtlayıcıları olmak üzere, inşaat projelerinin yönetim sürecinin erken aşamalarında, projenin maliyeti ve/veya süresi ile ilgili tahminler, oldukça önem kazanmaktadır [19]. Ancak maalesef Türkiye’de, bu konularla ilgili sistematik yaklaşımlar oldukça sınırlı kalmıştır [12]. Örneğin maliyet tahmini için; inşaat ön keşifleri çoğunlukla genel kabullere dayalı olarak belirlenmekte ve bu nedenle de öngörülen maliyetlerin gerçekleşme düzeyleri oldukça düşük olmaktadır. Bu gibi yetersizlikler, inşaat sektöründe yapılan işlerin maliyetlerine ve sürelerine yönelik tahminlerde ciddi sapmalara neden olmaktadır [12]. Bu da inşaatların vaktinde tamamlanmaması ve/veya öngörülen bütçenin aşılması başta olmak üzere, çeşitli kayıplara neden olmaktadır [12]. Projelerde meydana gelen aşma oranlarının %30-%40 mertebesinde olduğu ve bu durumun normal kabul edildiği, literatürde yer almaktadır [24].

Bu tez çalışması henüz fikir aşamasındayken, bahsedilen kayıpların kamu inşaat sektörü için daha ciddi sonuçlar doğurabileceği düşünülmüştür. Zira kamu inşaat sektörü, halkın ve devletin ihtiyaçlarına yanıt vermekle yükümlü kamu yapılarının üretimini esas almaktadır [25]. Bu nedenle, kamu yapıları inşaat sektöründe önemli yer tutmaktadır [25]. Bununla birlikte; merkezi yönetimden yapılan bütçe kısıtlamaları nedeniyle projelerin başlayamaması ya da devam eden projelerin tamamlanamaması gibi olumsuzlukların, ülkemizde sıklıkla görüldüğü de unutulmamalıdır [13]. Bundan dolayı, tez çalışması kapsamında; kamu inşaat sektörü temel alınarak, inşaat projelerinin yönetiminde büyük öneme sahip olan; proje maliyetleri ile proje sürelerinde meydana gelen sapmaların incelenmesi ve öneri niteliğinde modeller sunulması esas olarak kabul edilmiştir. Verilerin de, Türkiye’de kamu inşaat sektörünün işverenleri arasında en önemlisi olan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na bağlı Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri’nden temin edilmesinde karar kılınmıştır.

İnşaat projelerinin ve tez çalışmasının ana unsurlarını oluşturan yapım maliyeti ve yapım süresi kavramlarına ilişkin detaylı bilgilere sırasıyla Bölüm 1.1’de ve Bölüm 1.2’de, literatür çalışması bulgularına ise Bölüm 1.3’de yer verilmiştir.

1.1. Yapım Maliyeti

İnşaat sektörünün gerek kamu kesimi, gerekse özel kesimi kapsamında yer alan ve gerçekleştirilmesi planlanan bir yapım işi projesinin finansal modelinin doğru bir şekilde kurulabilmesi, milli servet kayıplarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır [18,26]. Bahsedilen kurgu, yapım işi projelerinin erken aşamalarında yapım maliyeti tahmininin gerçekçi bir şekilde yapılmasıyla mümkün olabilmektedir [18,26].

Maliyet, en basit hali ile "amaçlanan bir sonuca ulaşmak için katlanılması gereken fedakârlıkların parasal değeri" olarak tanımlanmaktadır [27]. Maliyet; "bir mamul/hizmet elde edilinceye kadar harcanan değerlerin toplamıdır" [27,28,29]. Maliyet, üretim açısından; "işletmenin kendi faaliyet konusunu oluşturan mamulleri/hizmetleri elde edebilmek için doğrudan/dolaylı olarak yaptığı harcamalar" şeklinde de tanımlanabilir [27,30].

Literatürde; maliyet, fiyat ve değer kavramlarının karıştırıldıklarına ve eş anlamlı kelimeler gibi birbirlerinin yerine kullanıldıklarına rastlanmıştır [30]. Bu nedenle, maliyetin tanımı ile birlikte, bu kavramların da tanımlanarak, farklılıklarının vurgulanmasına gerek duyulmuştur. İnşaat sektöründe bütün bütçeleme teknikleri maliyetler üzerine kurulmuştur. Buna mukabil, satışın da olması durumunda; maliyet, fiyat ve değer olmak üzere üç ana öğenin hazır bulunması gereklidir [31]. Maliyette önemli olan, ürünün ne kadar harcama yapılarak temin edilebileceğinin hesaplanmasıdır [32,33]. Fiyatlandırma ise bir şirket politikasıdır [32,33]. Bu nedenle maliyet, fiyat ile karıştırılmamalıdır [32,33]. Satın alan için maliyet, satan için fiyattır. Değer ise bu iki taraf arasında bir arabulucu olarak işlev görür [31].

Maliyet tanımları, genel anlamda beş sınıfta toplanır [31]. Bunlar;

- Çevirim maliyetleri,
- Geçmiş ve geri dönmeyen (ölü) maliyetler,
- Gelecek ve batık maliyetler,
- Sabit ve değişken maliyetler,
- Direkt ve endirekt maliyetler,

Olarak sıralanabilir [31]. Çevirim maliyeti; herhangi bir parçanın bütün yaşam süreci boyunca, o parçaya ilişkin maliyetlerin toplamıdır. Geçmiş maliyet; ilgili parçanın oluşmuş olan tarihi maliyet, geri dönmeyen maliyet ise tahsili mümkün olmayan maliyettir. Gelecek maliyet; gelecekte oluşabilecek olan maliyettir. Geleceğe yönelik olmasından dolayı kesin olarak bilinemez ve taşıdığı belirsizlik nedeniyle tahmin edilmek durumundadır. Batık maliyet; mevcut paranın alternatif yatırımlar için kullanılmayarak, var olan bir fırsattan vazgeçmenin maliyeti olarak ifade edilir. Sabit maliyet; üretim miktarı veya çıktı ile orantılı olarak değişmeyen maliyettir. Değişken maliyet; üretim miktarı veya çıktı ile orantılı olarak değişebilen maliyettir. Direkt hammadde ve işçilik maliyetleri temel üretim maliyetini, endirekt hammadde ve işçilik maliyetleri ise genel üretim maliyetini oluşturur. Temel üretim maliyeti ile genel üretim maliyetinin toplamı da üretim maliyetini verir. Üretim maliyeti ile dağıtım ve yönetim maliyetlerinin toplamı da toplam maliyete eşittir [31].

Yapım maliyeti, kısaca; yapım işinin imalat miktarları ile imalatlar için belirlenen birim fiyatların çarpımıyla oluşan kalemlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır [3,29]. Yapım maliyeti, günümüz şartlarında; rasyonel kaynak kullanımı için etkin bir planlama ve denetim uygulamasının zorunlu olduğu üretim sürecinde, yapı ihtiyacının belirlenmesi ile başlayan ve yapının ömrünün sona ermesi ile biten sürecin tüm dönemlerinde yapılan harcamaların toplamı olarak değerlendirilmektedir [5].

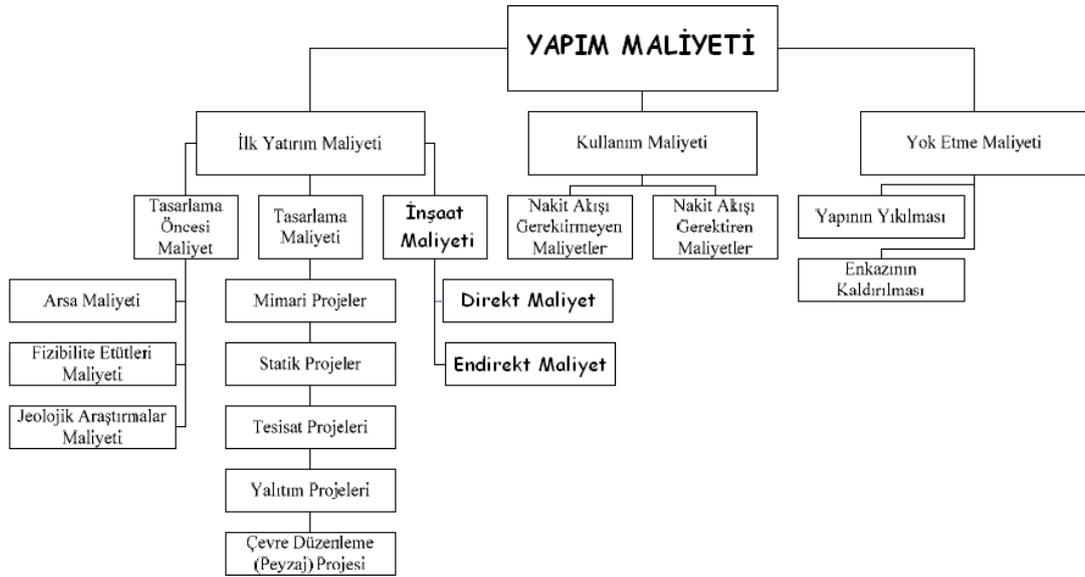
Bir yapım işi kapsamında yapılması planlanan imalatların maliyetlerinin ileriye dönük olarak hesaplanmasıyla, yapım maliyetinin ileriye dönük olarak hesaplanması mümkün olabilir [29]. Ancak inşaat sektöründe yer alan projelerin; kullanım amaçlarının (eğitim, sağlık, idari vb.) ve tasarımlarının birbirinden farklı olması, yapım sürelerinin uzun olması, proje girdilerinin (işveren, yüklenici, kullanılan malzeme-ekipman vb.) farklı olması ve başlangıçta belirlenen isteklerin yapım süresince değiştirilebilmesi gibi sebeplerden dolayı, yapım maliyetlerinin önceden belirlenmesi zordur [14,21]. Türkiye’de istatistiksel verilerin kapsamının darlığı, dalgalanmalı enflasyon oranlarından kaynaklı fiyat değişiklikleri vb. nedenler de eklenince, yapım maliyeti tahminleri gerçekleşeni yakalayamamaktadır [21].

Yapım maliyeti; kullanılan hammaddenin miktarına, fiyatına ve işçilik ücretine bağlı olmakla birlikte, özel durumlardan da etkilenir [6]. Yapım maliyetinin belirlenmesinde göz önüne alınması gereken temel faktörler;

- Projenin tipi, büyüklüğü ve fiziksel özellikleri,
- Projenin gerçekleştirileceği zaman aralığı,
- Bölgenin coğrafi konumu, iklim koşulları ve zeminin yapısı,
- Devlet ve yerel idarelerin getirdiği sınırlamalar,
- Günün ekonomik şartları,
- Yüklenicinin kullandığı yapım teknolojisi,
- Sözleşme tipi,
- İşverenin istekleri,

Olmak üzere sekiz kategoride değerlendirilebilir [3,6,21,29,34]. Bu faktörler, herhangi bir projenin yapım maliyeti üzerinde göz ardı edilemeyecek etkiye sahiptirler [3].

Yapım maliyeti; ilk yatırım dönemi, kullanım dönemi ve yok etme dönemi olmak üzere üç ana dönemde incelenir [5,29,35]. İlk yatırım maliyeti; ön karar evresinden başlayarak inşaatın sona ermesi ile tamamlanan; arsa ve proje bedelleri, ruhsat harçları ve yapının inşası için yapılan harcamaların toplamı sonucunda oluşan maliyettir [35]. Kullanım maliyeti; yapının amacı doğrultusunda kullanımından oluşan maliyeti, yok etme maliyeti ise; geçici kullanımı söz konusu olan ya da ömrünü tamamlamış olan yapının/yapıların yıkımı ile ilgili maliyeti kapsamaktadır. Yok etme maliyetinin gerek miktar, gerekse önem açısından toplam maliyet içerisindeki payının oldukça küçük olduğu düşünülecek olursa, toplam yapım maliyetinin, ilk yatırım maliyeti ve kullanım maliyetinin toplamından oluştuğu söylenebilir [5,29]. Yapım maliyetinin ana dönemleri, Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Yapım maliyetinin ana dönemleri. [35]

Şekil 1.3'den görüldüğü üzere, ilk yatırım maliyeti; tasarlama öncesi maliyet, tasarlama maliyeti ve inşaat maliyeti olmak üzere üç sınıfa ayrılır [35]. Kullanım maliyeti; nakit akışı gerektiren maliyetler ve nakit akışı gerektirmeyen maliyetler olmak üzere iki sınıfa ayrılır [35]. Yok etme maliyeti de; yapının yıkılması ve enkazının kaldırılması olmak üzere iki sınıfa ayrılır [35]. İlk yatırım maliyeti aşamasının en önemli bileşeni olan inşaat maliyeti;

- Direkt (doğrudan, üretken) maliyet,
- Endirekt (dolaylı, unproduktif) maliyet,

Olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır [30,31,36,37,38]. Bazı kaynaklarda ise "fırsat ve alternatif maliyetleri", inşaat maliyeti kapsamında üçüncü alt başlık olarak verilmiştir [39]. Direkt maliyetler, üretimin bünyesine doğrudan giren ve hesaplanabilen giderlerdir [31,40]. Direkt maliyetler; malzeme, işçilik, makine-ekipman ve alt yükleniciden oluşan temel kaynaklar ile beraber, nakliye ve gümrük maliyetlerinden meydana gelir [37,38]. Direkt maliyetler, inşaat sektöründe "imalat maliyetleri" olarak da adlandırılmaktadır [37]. Direkt maliyetlerin dışında kalan maliyetler, endirekt maliyet olarak adlandırılır [36]. Endirekt maliyetler; üretime girdiği doğrudan doğruya miktar ya da değer olarak tespit edilemeyen giderleri kapsar [31,40]. Endirekt maliyetler; sözleşme, yönetim, mobilizasyon-demobilizasyon, makine-ekipman, şantiye

işletme ve servis maliyetlerinden meydana gelir [36,37]. İnşaat taahhüt işlerinde endirekt maliyetler, "genel inşaat maliyetleri" olarak da adlandırılırlar [30]. Toplam maliyet ise direkt ve endirekt maliyetlerin toplamı olarak ifade edilmektedir [31].

İnşaat sektöründe yer alan projelerin temel maliyet bileşenlerinin sınıflandırılması konusunda farklı kaynaklarda farklı kurgular mevcuttur. Örneğin bir kurguda, maliyetler; üretim maliyetleri ve üretim dışı maliyetler olmak üzere ikiye ayrılmıştır [41]. Üretim maliyetleri; direkt malzeme, direkt işçilik ve genel üretim maliyetlerinden oluşmuş olup, üretim dışı maliyetler de; pazarlama ve yönetim maliyetleri olarak nitelendirilmiştir [41]. İnşaat maliyetleri, başka sınıflandırmada; direkt malzeme maliyetleri, direkt işçilik maliyetleri, alt yüklenicilere yaptırılan işlerin maliyetleri ve diğer (endirekt) maliyetler olmak üzere dört grupta toplanmıştır [27]. Bir başka sınıflandırma ise; direkt hammadde, malzeme ve işçilik maliyetleri, alt yüklenici maliyetleri, diğer direkt maliyetler, genel üretim maliyetleri ve genel yönetim maliyetleri olmak üzere yedi ana başlık altında gruplandırma yapılmıştır [15].

Yapım maliyeti; projenin performansının, süresinin ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir [32]. Bu durumda;

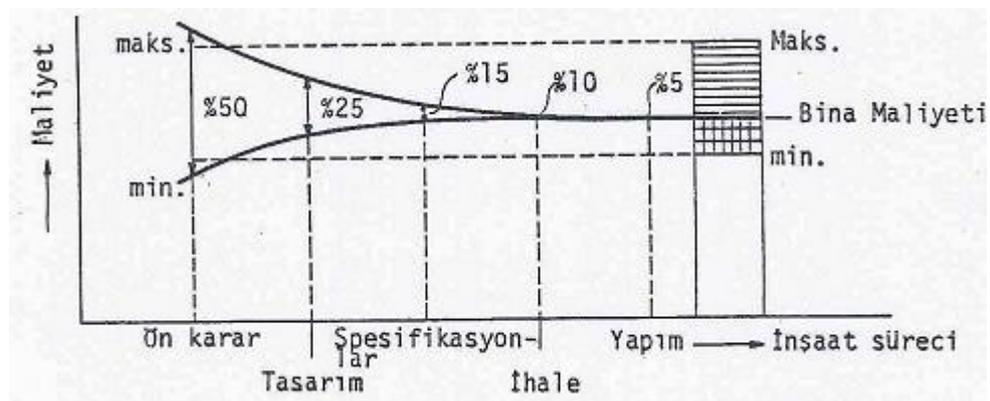
$$\text{Yapım Maliyeti} = f(P,S,B) \quad (1.1)$$

İfadesi ortaya çıkar [32]. Performans (P); projenin, amaçları ne ölçüde ve hangi nitelikte gerçekleştirdiğinin bir ölçüsüdür. Süre (S); projenin ne zaman tamamlanacağını ve hangi faaliyetlerin ne zaman yapılacağını belirtir. Büyüklük (B); tasarım aşamasında bilinen fakat önceden tespit edilememiş, gözden kaçmış bazı gereksinimlerin de yapım aşamasında ortaya çıkmasıyla kesinleşen soyut kavramdır [32].

Günümüzde, teknolojik gelişmelerin inşaat sektörünü de etkilemesi ile birlikte, yapı üretim süreci de değişmekte ve daha nitelikli yapılar üretilmektedir [3,5,29]. Ancak kaynakların sonsuz olmaması, beraberinde yapı üretim sürecinin sınırlanarak, kullanılan kaynaklardan rasyonel bir şekilde yararlanma zorunluluğunu getirmiştir [3,5,29]. Bu zorunluluk, yapı üretim sürecinin gerek tasarım gerekse inşaat evresinde, maliyet tahmini ile maliyetin planlanmasına ve denetimine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmaların önemini arttırmaktadır. Yapım maliyeti tahmini; "bir yapının gerçekleşecek

olan maliyetinin belirli koşullar altındaki tahmini" olarak tanımlanır [3,5,29]. Tahmin sonucu elde edilen maliyet de, tahmini (yaklaşık) maliyet olarak ifade edilir [13]. Yapı yaklaşık maliyeti; "henüz hayata geçirilmemiş bir yapının tasarım evresi tamamlandıktan ve gerekli tüm teknik dokümanlar hazırlandıktan sonra, o yapının belirlenen süre zarfında ve istenilen kalitede inşa edilmesi için bünyesinde barındırdığı tüm iş kalemlerinin parasal değerlerinin toplamı" olarak tanımlanmaktadır [25].

İnşaat sektöründe artan rekabet ortamı, projelerde kar paylarının düşmesine yol açmaktadır [37]. Buna bağlı olarak da hem işveren yönünden hem de yüklenici yönünden yapım maliyeti tahmini çalışmalarının önemi artmaktadır [37]. Geçerli bir yapım maliyeti tahmini, proje yöneticisi açısından da kritik bir faktördür [42]. Çünkü yapım maliyeti tahmininin erken aşamalarda doğru olarak yapılabilmesi, proje yöneticisine yeterli alternatifler ve yanlış çözümlerden kaçınma olanağı sağlayacaktır [42]. Yapım evrelerine göre yapım maliyetinde meydana gelen değişimler, Şekil 1.4'de gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Yapım sürecinde maliyetin değişimi. [43]

Yapı ekonomisi açısından en önemli maliyet tahmininin ön karar (ön tasarım) evresinde ortaya çıktığı kabul edilmektedir [21]. Şekil 1.4'de de görüldüğü üzere, yapım maliyeti büyük oranda bu aşamada verilen kararlarla oluşmaktadır [21]. İnşaat sürecine doğru ilerledikçe, maliyetin değişim oranı azalmaktadır.

Yapı üretim sürecinin her aşamasında maliyet tahmini ve denetimi için kullanılan yöntemler, kullanım amaçları doğrultusunda farklılaşabilmektedir [5,29]. İlk kez 1950'li

yıllarda, Avrupa’da kamu yapıları üzerinde basit bir planlama şeklinde ortaya çıkan tahmin kavramı, 1980’li yıllardan sonra yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde sınıflandırılmaya başlanmıştır [5,29]. Yapım maliyeti tahmini yöntemleri, genel olarak; yaklaşık maliyet tahmin yöntemleri ve detaylı maliyet tahmin yöntemleri olmak üzere iki ana gruba ayrılır [13]. Yaklaşık maliyet tahmin yöntemleri; kısa süre içerisinde hazırlanan ve maliyeti kabaca tahmin etmeye yarayan yöntemleri içerir. Detaylı maliyet tahmin yöntemleri de; işin yapılabilmesi için gerekli olan bütün bileşenlerin miktarlarının ve maliyetlerinin tespitine dayanır [13].

Yapı yaklaşık maliyeti tahmin yöntemlerinin sınıflandırılmasında birçok farklı etmen ele alınmıştır. Örneğin, bir sınıflandırma; *geleneksel modeller, tanımlayıcı modeller, gerçekçi modeller ve gelişmiş maliyet modelleri* şeklinde yapılmıştır [5,28,29]. Diğer sınıflandırma ise; *kavramsal yöntemler, birim maliyet yöntemi, faktör yöntemi, olasılı modelleme&simülasyon yöntemi ve parametrik tahmin yöntemi* şeklinde yapılmıştır [19]. Yaklaşık maliyet tahmin yöntemleri, bir başka sınıflandırmada ise; *istatistik-olasılık analizlerine dayalı yöntemler, benzer proje ile karşılaştırmaya dayalı yöntemler ve yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemler* olmak üzere üç gruba ayrılmıştır [21]. Bu tez çalışmasında da, verilen son sınıflandırma dikkate alınarak, yapı yaklaşık maliyeti tahmin yöntemlerinden kısaca bahsedilmiştir.

1. İstatistik-olasılık analizlerine dayalı tahmin yöntemleri; birim yöntemi, hacim yöntemi, birim alan yöntemi, kat kabuğu yöntemi, regresyon analizine dayalı yöntem, İftikhar Kamil Madni yöntemi, Ahmet Ercüment Erdem yöntemi, beklenen değer yöntemi, range yöntemi, varyasyon indirgeme yöntemi, simülasyon yöntemi, boyutsuz büyüklükler yöntemi, oran yöntemi ve maliyet-kapasite faktörleri yöntemi olmak üzere 14 grup altında incelenmektedir.

Birim yöntemi; yapım maliyeti tahmininde kullanılabilecek olan en basit ve en hızlı yöntemdir [43]. Şekil, büyüklük, yapım tekniği, malzeme vb. gibi önemli tasarım kararlarının henüz alınmadığı, ön hazırlık safhasında kullanılabilir [43].

Hacim yöntemi; yapım maliyetinin hacme dayanılarak hesaplandığı yöntemdir [21]. Bu yöntemde yapı maliyetinin yapı hacmine oranı olarak tanımlanan metreküp maliyet, yükseklik faktörünün de dikkate alınmak istenmesinden doğmuştur [21].

Birim alan yöntemi; plan alanı ilişkisiyle maliyetin belirlendiği ve uygulamada en çok kullanılan yöntemdir [35]. Konut, fabrika, hastane, okul vb. inşaat projelerinde uygulanabilir [35].

Kat kabuğu yöntemi; yapının dış duvarları, kat döşemeleri ve çatı döşemesi alanlarının hesaplanarak bu alanların her birinin belirli katsayılarla çarpılması sonucu elde edilen değerlerin toplamı sonucunda "kat kabuğu" olarak adlandırılan değer ile yapının maliyeti arasında kurulan ilişkiye dayanmaktadır [34].

Regresyon analizine dayalı yöntem; yapının parametreleri ile yapı maliyeti arasındaki ilişkilerin saptanmasıyla geliştirilen bir metottur [21]. Bu amaçla en çok kullanılanı ise doğrusal regresyon analizidir. Oluşturulan model, tek parametrelili (basit) ya da çok parametrelili (çoklu) olabilir [35].

İftikhar Kamil Madni yöntemi; Madni (1999) tarafından, hapisane maliyetlerinin de hastane, okul vb. yapılarda olduğu gibi birim alan maliyeti, yatak sayısı, hücre sayısı vb. parametrelerle hesaplanabilmesi amacıyla geliştirilen yöntemdir [44].

Ahmet Ercüment Erdem yöntemi; Erdem (1996) tarafından; konut projelerinin ön tasarım aşamasında kullanılmak üzere fonksiyonel elemanlara dayalı olarak geliştirilen bir yöntemdir [34]. Maliyet kriterlerinin birbirleri ile ilişkilerinin bilgisayar ortamında daha kolay değerlendirilebileceğinden yola çıkmıştır [34].

Beklenen değer yöntemi; geçmişte gerçekleştirilen projelerin maliyet bileşenlerinin istatistiksel analizi sonucu belirlenen aritmetik ortalamalar ve standart sapmalar kullanılarak yaklaşık maliyet tahmininin gerçekleştirildiği yöntemdir [35].

Range yöntemi; maliyetin rastgele değişken olarak kabul edildiği ve maliyetin her bileşeni için üç farklı hesaplamanın yapıldığı yöntemdir [45]. Program değerlendirme

ve gözden geçirme tekniği (PERT) ile benzer nitelikte olan bu yöntemde; en muhtemel, iyimser ve kötümser maliyet hesaplaması elde edilir [45].

Varyasyon indirgeme yöntemi; istatistiksel analiz programı kullanılarak, benzer özelliklerdeki projelerin analizini ve hesaplama süresinin azaltılmasını amaçlar [45].

Simülasyon yöntemi; Stokastik model olarak da bilinen bu yöntemde, yapının tasarım değişkenleri ve çevresel faktörleri sistem olarak ele alınır ve bu sistemin davranışları, bilgisayar ortamında kopya edilmeye çalışılarak değişkenlerin birbirleri ve maliyet üzerindeki etkileri incelenir [43].

Boyutsuz büyüklükler yöntemi; Kuruoğlu (2003) tarafından geliştirilen, yapı türü ve inşaat alanına dayalı bir sistematik yaklaşıma dayalı bir yöntemdir [46]. Bu yöntemle, konutların direkt maliyetleri hesaplanabilmekte ve bir katsayı yardımıyla toplam inşaat maliyeti de elde edilebilmektedir [46].

Oran yöntemi; faktör yöntemi olarak da bilinen bu yöntem; bir maliyetin, diğer bir maliyetin oranı ya da faktörü olarak hesaplanması esasına dayanmaktadır [21].

Maliyet-kapasite faktörleri yöntemi; genellikle endüstriyel tesislerin maliyetlerinin; tesisin kapasitesindeki değişimin maliyet üzerindeki etkisini ifade eden maliyet-kapasite faktörleri ile tahmin edildiği yöntemdir [35].

2. Benzer proje ile karşılaştırmaya dayalı tahmin yöntemleri; gerçekleştirilmesi düşünülen yapıya benzeyen, tamamlanmış olan ve maliyeti bilinen bir yapı ile karşılaştırma yapılarak yapı maliyetini etkileyen faktörlerin değişimi oranında dönüştürme işlemleri yapılması sonucunda, planlanan yapının maliyetinin tahmin edildiği yöntemdir [47]. Benzer proje ile karşılaştırmaya dayalı tahmin yöntemleri; erken maliyet tahmini yöntemi, elemanlara dayalı maliyet analizi ile karşılaştırma yöntemi, ön tahmin yöntemi, döşeme alanına dayalı eleman yöntemi, RS Means tahmin yöntemi, RS Marshall&Swift tahmin yöntemi, Saylor Company tahmin yöntemi ve Esra Bostancıoğlu tahmin yöntemi olmak üzere sekiz grup altında incelenmektedir.

Erken maliyet tahmini yöntemi; inşaat alanı arttıkça maliyetin doğrusal olarak azaldığını kabul eden bir yöntemdir [47]. Bu yöntemde, maliyeti etkileyen tüm tasarım faktörleri göz önüne alınmamış olup, maliyeti en fazla etkilediği düşünülen; kalite, büyüklük, yerleşim ve zaman faktörleri göz önüne alınmıştır [47].

Elemanlara dayalı maliyet analizi ile karşılaştırma yöntemi; maliyeti hesaplanacak olan binaya benzer bir bina dikkate alınarak, yeni binanın örnek binadaki elemanlardan farklı özelliklerinin belirlenmesinden sonra, bunların maliyette meydana getirdiği farklılıkların hesaplanması ve yeni binanın eleman maliyetlerinin toplanması sonucunda yeni bina maliyetinin elde edilmesine dayalı yöntemdir [47].

Ön tahmin yöntemi; birim alan maliyeti belli olan bir yapının maliyet verilerinden faydalanılarak yeni yapının maliyetini hesaplanmaya yönelik bir yöntemdir [48].

Döşeme alanına dayalı eleman yöntemi; 1962'de İngiltere'de kurulan "bina maliyeti bilgi servisi" (BCIS) veri tabanındaki elemanlara ait maliyet analizlerinden yararlanılarak, elemanların maliyetlerinde; kalite, zaman ve miktar ayarlaması yapıldıktan sonra eleman maliyetlerinin toplanması ve böylece toplam bina maliyetinin hesaplanmasına dönük bir yöntemdir [47].

RS Means tahmin yöntemi; bina tipi, kat sayısı, dış duvar tipi, kat yüksekliği, toplam brüt inşaat alanı, bina çevre uzunluğu, bodrum katın var olup olmaması, ayarlamalar, ilaveler, inşaatın yapıldığı yer ve inşaatın yapıldığı yıl verilerinin girdi parametreleri olarak kullanıldığı bir yöntemdir [49]. Bina tipi için; "R.S. Means Company" tarafından geliştirilmiş olan "Square Foot Cost" maliyet veri tabanında bulunan 60 farklı bina tipinden uygun olanı seçilir [49]. Yine aynı firma tarafından geliştirilen "ticari bina modeli yazılımı" kapsamında, "Commercial Foot Cost" maliyet veri tabanında bulunan 46 farklı ticari bina tipinden uygun olanı da seçilebilir [49]. Aynı firmanın konut modeli yazılımında ise "Residential Foot Cost" maliyet veri tabanı kullanılmaktadır.

RS Marshall&Swift tahmin yöntemi; konutlar için, " Residential Square Foot Costs" maliyet veri tabanında bulunan tek katlı ev, az katlı apartman ve çiftlik evi tiplerinin

kullanımını esas alır [49]. Ticari binalar içinse "Commercial Square Foot Costs" maliyet veri tabanından 270 farklı ticari kurum ve ziraatla ilgili bina tipi yer almaktadır [49].

Saylor Company tahmin yöntemi; konutlar için, "Residential Square Foot Costs" maliyet veri tabanında, altı farklı inşaat kalite seviyesi yer almaktadır [49]. Ticari binalar içinse "Commercial Square Foot Costs" maliyet veri tabanında, 65 farklı ticari bina tipi yer almaktadır [49].

Esra Bostancıoğlu tahmin yöntemi; Bostancıoğlu (1999) tarafından önerilmiş olup, 3-10 katlı ahşap konutların yapım maliyetlerini etkileyen faktörlerin, yapım maliyetleri ile ilişkileri temel alınmıştır [47].

3. Yapay zekâ tekniklerine dayalı tahmin yöntemleri; yapay sinir ağları (ANN) ile tahmin yöntemi, bulanık mantık (FL) ile tahmin yöntemi, genetik algoritma (GA) ile tahmin yöntemi, uzman sistemler ile tahmin yöntemi ve vaka tabanlı gerekçeleme ile tahmin yöntemi olmak üzere beş farklı gruba ayrılır [21]. Bahsedilen gruplamaya ilişkin, literatürde farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Yapay zekâ tekniklerine dayalı tahmin yöntemleri, tez çalışmasının ana unsurlarından birisini oluşturduklarından dolayı, bu yöntemler ile ilgili ayrıntılı bilgiye, ikinci bölümde yer verilmiştir.

Etkin maliyet kontrolü sağlayan bir yaklaşık maliyet tahmin yönteminin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir [50]. Öncelikle model, kullanılacağı süreç/süreçler için uygun olmalıdır. Modele girilecek olan bilgiler de doğru ve belirli bir düzeyi yakalamış olmalı, zamanında girilmeli ve bilgilerin güncelliği sağlanmalıdır. Ayrıca model; işveren, yüklenici, alt yüklenici vb. tüm gruplar tarafından kullanılabilir olmalıdır [5,50]. Türkiye’de, bahsedilen yapı yaklaşık maliyeti tahmin yöntemlerinin bazıları yaygın olarak kullanılmakta, bazıları ise yeni kullanılmaya başlanmaktadır.

Mevcut tez çalışmasının uygulama aşamasında, Türkiye’de kamu inşaat sektöründe tamamlanmış olan yapım işlerinden elde edilen veriler kullanılarak, öncelikle istatistik-olasılık analizlerine dayalı tahmin yöntemlerinden birisi olan "birim alan yöntemi" kapsamında yer alan, birim alan maliyeti olarak da T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek "mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin

hesabında kullanılacak yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ" olarak yayımlanan yapı yaklaşık birim maliyetlerinin kullanıldığı "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) ele alınmıştır. Bir sonraki aşamada, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde kesin hesap tutarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur. Maliyet modeli kapsamında, yapay zekâ tekniklerine dayalı tahmin yöntemlerinden olan "yapay sinir ağları ile tahmin yöntemi" ile literatürde yer alan sınıflandırmada bulunmayan fakat ayrı bir yapay zekâ grubu kapsamında değerlendirilmesi gerektiği düşünülen "hibrit yaklaşımlar ile tahmin yöntemi" kıyaslamalı olarak ele alınmıştır. Ayrıca maliyet modeli kapsamında, istatistik-olasılık analizlerine dayalı tahmin yöntemlerinden birisi olan "regresyon analizine dayalı yöntem" de kıyaslamaya dâhil edilerek, tez çalışmasında kullanılan bütün yöntemlerinin performansları kıyaslamalı olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Literatürde; belirli istisnalar dışında, öngörülen maliyetler ve süreler içerisinde gerçekleştirilen yapım işi sayısının beklenenden az olduğuna yönelik bulgulara rastlanmıştır [28]. Türkiye kamu inşaat sektöründe tamamlanmış olan ve tez çalışması kapsamında incelenen yapım işi projeleri için de, detayları dördüncü bölümde verildiği üzere, aynı kanıya varmak mümkündür. Bahsi geçen durum, Türkiye’de gerçekleştirilen kamu yapım işlerinde maliyet sapmaları ve süresel sapmaların meydana geldiğini göstermektedir. Buradan yola çıkılarak, tez çalışmasında da; yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemler ile regresyon analizine dayalı yöntemin, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarının tahmin edilmesinin yanı sıra; maliyet sapmalarının ve süresel sapmaların tahmin edilmesinde kullanılmalarına da gerek duyulmuştur. Bu kapsamda; sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" ile öngörülen proje süresine göre süresel sapmaların tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturulmuştur.

1.2. Yapım Süresi

Günümüzde, inşaat projelerinin planlanmasında ve kontrolünde süre-maliyet-kalite değişiminin analizi, proje yönetiminin temel kriteri haline gelmiştir [22]. Geleneksel iki boyutlu düşünce sisteminde, kalitenin hiçbir şekilde göz önüne alınmaması nedeniyle

süre-maliyet değişim analizlerinde eşit bir kalite düzeyinin korunduğu varsayımı yapılmaktadır [22]. Ancak bu durumun pratikte mümkün olmaması, süre ve maliyetin minimum düzeye çekilmeye çalışılmasına ve kalitenin de maksimum düzeyde tutulmaya çalışılmasına neden olmaktadır. Bir başka ifadeyle; maliyetin minimum düzeye çekilmesi, her zaman ekonomik anlamda en uygun alternatifin seçilmesi anlamına gelmemektedir ve maliyetin yanında yapım süresi de göz önüne alınmalıdır [28]. Çünkü inşaat yatırımlarında önemini yitirmeyen öncelikli problemlerden birisi, yatırımın mümkün olduğunca ekonomik olarak ve kısa sürede gerçekleştirilmesidir [28,39]. Süre ile maliyet arasında ters yönlü bir ilişkinin olması, yani maliyet azaltıldığında eylemin tamamlanması için gerekecek sürenin artması, inşaat projelerinin yönetimini daha da karmaşıklaştırmakta ve proje yöneticilerini optimum çözümler bulma arayışına sokmaktadır [22].

Proje; iş tamamlanmadan önce, belirli bir sırada icra edilmek zorunda olan ve birbirleriyle ilişkili işlemlerin bir kombinasyonudur [51]. Projenin bileşenlerinin yerine getirilmesi için zamana ve kaynağa ihtiyaç duyulur. İnşaat yatırımlarının en önemli amaçlarından birisinin projenin zamanında tamamlanıp işin teslim edilmesi olduğu düşünülürse, bu kapsamda öncelikli olarak yapım işinin yatırım süresi planlanmalıdır [39]. Planlama, inşaat sektörü için vazgeçilmez bir unsurdur. Gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde; artmakta olan rekabetçi ortam, malzeme fiyatlarındaki artış, her projenin kendine has özelliklere sahip olması, risk payının yüksek olması ve projelerin çevresel koşullardan kolayca etkilenmesi gibi faktörler, inşaat projelerinin planlanmasının önemini daha da arttırmaktadır [52]. Süresel planlamada temel amaç, projeye ait zaman aralıklarının ve kaynakların tespit edilmesidir [39]. İnşaat sektörünün yapım işlerinde ele alınan süresel planlama yöntemleri, bu yönüyle diğer sektörlerden farklılık gösterir. Sanayi sektöründe; üretimi yapacak olan makine-teçhizatın kapasitesi belli olduğundan dolayı, iş programı başlangıçta bir kez yapılır ve yöneticiler de yapılan bu programa uymak durumundadır. İnşaat işlerinde ise işin tamamlanma süresi iş alınırken saptanır. Bu nedenle, kullanılacak olan araç-gereç, işgücü ve malzeme miktarı, projenin her aşamasında yeniden hesaplanmalıdır [53]. Süresel planlama, bu zorunluluk nedeniyle; master (ana) plan ve iş programı olmak üzere iki aşamada yapılır [54]. Master plan, kısaca, yapım işinin nasıl yapılacağıının kâğıt üzerine dökülmesidir. Master plan; proje hakkındaki genel bilgiler, malzeme fiyatları vb. kabuller, kısaltmalar-

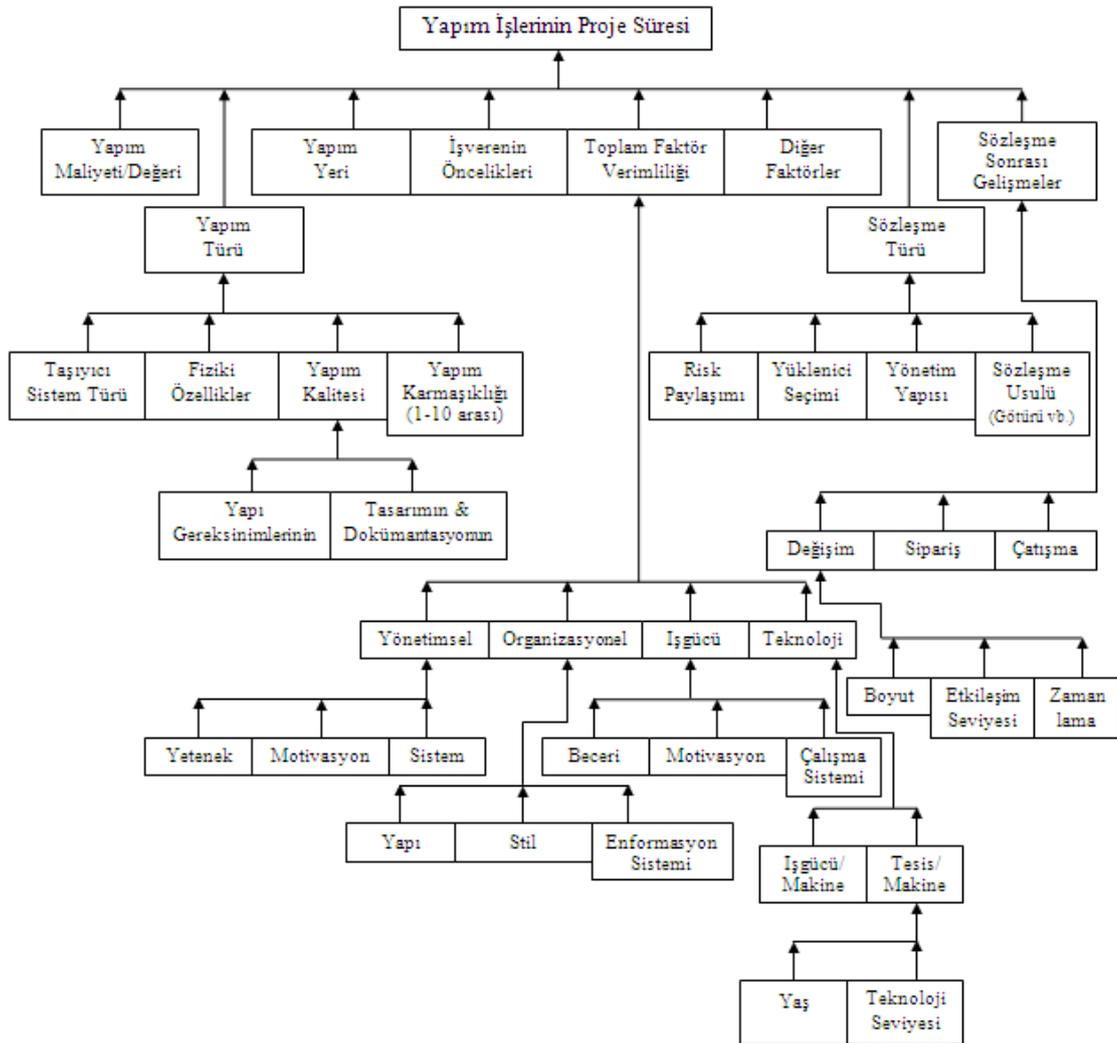
tanımlar, organizasyon yapısı, riskler, yapım yöntemleri, personel-makine-ekipman planlaması vb. bilgileri içerir. İş programı ise "işlemleri, sürelerini ve işlem zincirlerini göstererek inşaat süresini ortaya koyan grafik, tablo, metin veya başka açıklamalar" şeklinde tanımlanabilir. Çağdaş üretim anlayışı çerçevesinde iş programlaması yapılmadan bir işe başlanması düşünülemez. Çünkü planlama yapmadan bir işe başlamak, rastgele hareket etmek demektir. Rastgele hareket ise zaman kaybı ve kaynakların israf edilmesi anlamına gelir. İş programı hazırlama yöntemleri, genel olarak;

- Çubuk yöntem (gantt diyagramı),
- Ağ yöntemleri (ağ diyagramları),
 - a. Kritik Yol Metodu (CPM),
 - b. Kutu (Devre) Diyagramları (PD),
 - c. Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (PERT),

Olmak üzere ikiye ayrılır [55]. Bu tekniklerin en önemli dezavantajları, genellikle detaylı tasarım sonrasındaki aşamada kullanılabilmeledir [56]. Çünkü bu tekniklerde; aktiviteler arasındaki mantıksal ilişkiler, aktivite süreleri, sarf malzeme miktarları gibi bazı aşamaların bilinmesi gereklidir [52,56]. Bir başka ifadeyle, belirtilen tekniklerin kullanımı, çok fazla ve detaylı bilginin yanısıra, büyük çaba da gerektirmektedir [57]. Bazı durumlarda, bu teknikler kullanılarak tasarım öncesinde proje süresi tahminleri yapılabilir ancak bu tahminlerin gerçekçiliği çoğunlukla planlama mühendisinin tecrübesine bağlı olmaktadır [55,56,58]. Bu nedenle, sürecin sezgisel olarak gerçekleştiği ifade edilebilir [58]. Yapım süresinin belirlenebilmesi için kullanılan ve aşağıda değinilen yaklaşımlar da, tahmin sürecindeki bu subjektifliğin üstesinden gelebilmeyi amaçlamaktadır [56].

Literatürde, yapım işlerinin süresel planlamasına ve dolayısıyla proje süresine direkt olarak ya da dolaylı yoldan etki eden birçok faktörden bahsedildiğini sıklıkla görmek mümkündür. 1970'li yıllardan başlamak üzere, yapım işi projelerinin sürelerine etki eden faktörler konusunda, çeşitli kategorilerde yapılmış olan birçok araştırma mevcuttur [56]. Yapım işlerinin proje süresine etki eden faktörler, her bir proje için farklılık gösterebilir. Yapılan araştırmalar sonucunda, yapım işlerinin proje sürelerine etki eden bütün faktörler, Şekil 1.5'de verilen hiyerarşik diyagramda gösterilmiştir.

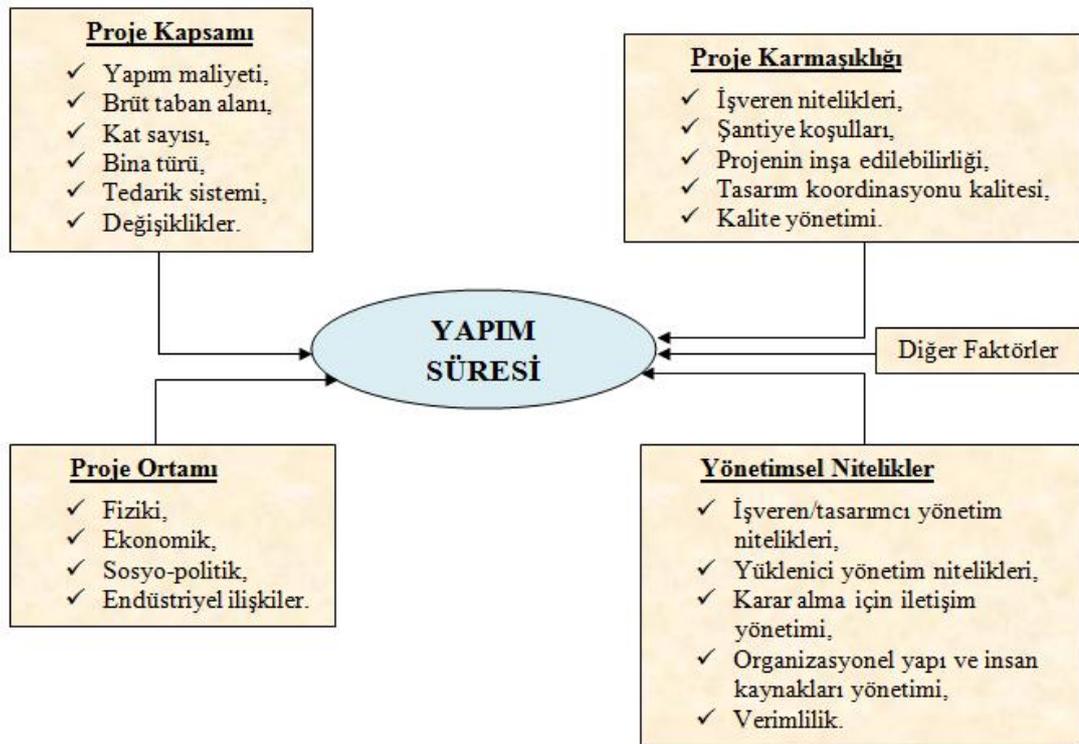
Araştırmacıların elde ettikleri bulgulara göre, yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler; yapım maliyeti/değeri, yapım türü, yapım yeri, işverenin öncelikleri, toplam faktör verimliliği, sözleşme türü, sözleşme sonrası gelişmeler ve diğer faktörler olmak üzere sekiz farklı kategoride değerlendirilmektedir [59].



Şekil 1.5. Yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler. [59]

Yapım süresi, Şekil 1.5’de verilen bütün faktörlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [59]. Ancak her bir projenin karakteristiğinin ayrı olduğu da gözardı edilmemelidir. Bununla birlikte, Şekil 1.5’de görüldüğü üzere, yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörlerden birisi olarak da yapım maliyeti/değeri gösterilmektedir. Ancak literatürde yer alan genel kanının aksine, bazı çalışmalarda da yapım maliyetinin proje süresi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [56].

Yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörlerin sınıflandırılması, Şekil 1.6'ya göre de yapılabilmektedir [56]. Bu sınıflandırmaya göre, yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler dört ana kategoriye ayrılmıştır [56]. Bu kategoriler; proje kapsamı, proje karmaşıklığı, proje ortamı ve yönetsel nitelikler olarak sıralanmıştır.



Şekil 1.6. Yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler-2. [59]

Şekil 1.5'de ve Şekil 1.6'da verilen sınıflandırmalar dikkate alınarak, literatürde yer alan ve yapım işlerinin proje sürelerine etki eden en önemli faktörler; maliyet, nakit akışı, şantiye verimliliği, tedarik, projeye ilişkili faktörler, inşaatın yapım teknolojisi ve metodolojisi, deneyim, koordinasyon, hava şartları, şantiye, tasarım projesinin bütünlük derecesi, olmak üzere 11 farklı gruba ayrılmıştır [56].

Yapım işlerinin proje sürelerine etki eden faktörler, literatürde yer alan genel değerlendirmelerin yanında, inşaat sektörünü oluşturan çalışma grupları için de farklılık gösterebilmektedir. Örneğin; Kuruoğlu vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, süresel planlamaya etki eden faktörler, çalışma grupları kapsamında araştırılmıştır [60].

Bahsi geçen çalışmada; yapım sürecine katkı sağlayan çalışma gruplarından, süresel planlamaya etki eden faktörleri küçük rakamdan büyük rakama doğru azalan bir önem sırasına göre sıralamaları istenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulguların bir bölümüne, Tablo 1.1’de yer verilmiştir.

Tablo 1.1. Süresel planlamayı etkileyen faktörler. [60]

Süresel Planlamayı Etkileyen Faktörler	ÇALIŞMA GRUBU			
	Teknik Ofis	Saha Uygulama	Yönetim	Planlama
Malzemenin zamanında teslimi	1	11	2	1
İşgücü verimliliği	2	2	7	5
Etkin bir iş programının kullanımı	3	4	2	2
Proje-Yapım koordinasyonu	4	13	6	9
İşgücü temini	5	4	6	5
Projede yapılan değişiklikler	6	24	7	11
Planlama yapılırken dikkate alınması gereken stratejik aktiviteler	7	17	4	6
Yönetim personelinin sayısının yeterliliği ve deneyimi	7	9	1	3
Alt yüklenicilerin seçimi	8	15	13	15
Proje tipi ve özellikleri	9	15	6	7
Efektif organizasyon yapısı	9	18	16	18
Firma bazlı finansal problemler	10	2	3	6

Tablo 1.1’de yer alan numaralandırmalara göre, süresel planlamayı etkileyen en önemli faktör; teknik ofis grubu ve planlama grubu için "malzemenin zamanında teslimi", saha uygulama grubu için tabloda yer almayan "işin sürekliliğinin sağlanması" ve yönetim grubu için "yönetim personelinin sayısının yeterliliği ve deneyimi" olarak belirlenmiştir [52,60]. Bunun yanında, "malzemenin zamanında teslimi" faktörü; yönetim grubu için ikinci önem sırasında yer alarak çalışma grupları adına süresel planlamayı etkileyen önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Tabloda dikkat çeken diğer bir ayrıntı ise "etkin bir iş programının kullanımı" faktörünün bütün çalışma grupları için süresel planlama adına önem düzeyi yüksek bir faktör olarak değerlendirilmesidir. Benzer şekilde, "işgücü verimliliği" de çalışma gruplarının tamamı için süresel planlamayı etkileyen önemli bir faktör olarak gösterilmiştir.

Yapım projelerinin farklı evrelerinde; projenin kesinleşen verileri ve süresel kısıtlar göz önüne alınarak yapım süresi tahmini yapmak, yapım işinin planlanması adına oldukça önemlidir. Örneğin tasarım öncesi aşamalarda, tasarım verilerinin az sayıda olması

nedeniyle yapım süresinin tahmin edilebilmesi zor bir işlemdir [56]. Bu duruma, Türkiye’de özellikle kamu yapım işlerinde sıklıkla rastlanan; ruhsatın geç alınması, iş fiilen geç başlanması, teknik elemanın geç bildirilmesi, iş programının zamanında yapılmaması, proje değişikliği, ödenek yokluğu veya yetersizliği, hava muhalefeti vb. faktörler de eklenince, Türkiye’de yapım sürelerinin gerçekçi olarak tahmin edilebilmesi daha karmaşık bir hal almaktadır [8,61].

Yapım işi projelerinin başarısı için gerekli olan bazı kararlar proje süresi tahminlerine dayanılarak verilmekte ve proje süresinin tahmini, proje planlamasının çok önemli bir parçası olarak görülmektedir [55]. Yapım süresi tahmini için ilk aşama, projenin yapım süresine etki edecek olan faktörlerin belirlenmesidir. Daha sonra, kullanılan modellemenin türüne bağlı olarak, yapım süresinin modellenmesi mümkün olabilir [56]. Yapım sürelerinin tahmini; hem tasarım öncesi aşamada hem de detaylı tasarım aşamasında yapılabilir [56]. Bu kapsamda, "zaman paradır" düzeninde doğru tahmin yapabilmek için çeşitli süre tahmin modelleri geliştirilmiştir [56]. Yapım süresi tahmin modelleri;

- Deneyim temelli modeller,
- Parametrik modeller,
 - a. Süre-maliyet modelleri,
 - b. Diğer parametrik modeller,
- Ayrık durumlu modeller,
- Simülasyon modelleri,

Olmak üzere dört grup şeklinde tanımlanmıştır [56]. Deneyim temelli modeller; algoritmaları kullanırken, parametrik modeller; regresyon analizi gibi istatistiksel modelleri, bayes yaklaşımını ve karar kurallarını kullanırlar. Parametrik modeller; süre-maliyet modelleri ve diğer parametrik modeller olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadırlar [56]. Süre-maliyet modellerinin en çok bilineni; Bromilow’un süre-maliyet modelidir [62]. Ayrık durumlu modeller; doğrusal programlamayı, klasik optimizasyonu ve ağ yöntemlerini kullanırken, simülasyon modelleri; sezgileri, uzman sistemleri ve karar kurallarını kullanırlar [56]. Bununla birlikte, literatürde, yapım işi projelerinin yapım sürelerinin tahmini için kullanılan en popüler yöntemin, parametrik modeller olduğu

göze çarpmaktadır [56]. Tez çalışması kapsamında da, Türkiye’de tamamlanmış olan kamu yapım işlerinin süresel sapmalarının önceden tahmin edilebilmesi amacıyla oluşturulan süresel sapma modeli; parametrik modeller kapsamında değerlendirilen çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi ve simülasyon modelleri kapsamında değerlendirilen yapay zeka (AI) yaklaşımları ile test edilerek, kullanılan bu yaklaşımların gösterdikleri performanslar irdelenmiştir.

Tez çalışmasının önceki bölümlerinde de belirtildiği üzere; belirli istisnalar dışında, öngörülen maliyetlerle ve öngörülen süreler içerisinde gerçekleştirilebilen yapım işi sayısı azdır [28]. Bu durumda, yapım maliyetlerinde ve yapım sürelerinde sapmalar meydana gelmektedir. Maliyet ve süre tahminlerindeki sapmalar, inşaat sektöründe diğer sektörlerle göre daha fazla olmaktadır. Çünkü inşaat sektörü, hesaba katılmayan risk ve belirsizlik faktörlerine daha fazla maruz kalmaktadır [61]. Bu durum, gerek kamu sektörü adına gerekse özel sektör adına büyük sorunlara neden olabilmektedir. Çünkü inşaat firmaları; sektörde varlıklarını sürdürebilmek, rekabet edebilmek ve kar paylarını arttırmak amacıyla birçok inşaat projesine teklif hazırlamakta ve talip olmaktadır. Ancak yüklenilen işlerin öngörülen maliyetlerle ve öngörülen süreler içinde tamamlanamaması, yüklenici firmalar adına büyük kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, yatırım kaynaklarının kısıtlı ve teorik olarak insan ihtiyaçlarının da sonsuz olduğu göz önüne alındığında, yapım maliyetinin yanında yapım süresinin de titiz çalışmalarla belirlenmesi, programlanması ve kontrol edilmesi önem taşımaktadır. İnşaat sektörünün içinde bulunduğu yoğun rekabet ortamı da düşünüldüğünde, maliyet ve süre kontrolü üzerine çalışan proje yöneticilerinin kullanabileceği, hızlı ve verimli yöntemlere ihtiyacın olduğu açıktır. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında, maliyet modeli ile maliyet sapması modeline ek olarak, Türkiye’de kamu inşaat sektöründe tamamlanmış olan inşaat projelerinden elde edilen veriler kullanılarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, öngörülen proje süresine göre süre sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturulmuştur.

İNŞAAT PROJELERİNİN YAPIM SÜREÇLERİNDE MEYDANA GELEBİLECEK OLAN SÜRESEL SAPMALARLA İLGİLİ HUSUSLARIN, TARAFLAR ARASINDA YAPILAN SÖZLEŞMELERDE AÇIKLIĞA KAVUŞTURULMASI, SORUNSUZ BİR YAPIM SÜRECİ ADINA OLDUKÇA ÖNEM KAZANMAKTADIR. MEVCUT TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA İNCELENEN İHALE DOSYALARINDA YER ALAN İHALE ONAY BELGELERİ VE/VEYA

sözleşmelerden, sözleşme türü bilgileri incelenmiş ve bütün işlerin sözleşme türlerinin "anahtar teslimi (götürü bedel)" olduğu görülmüştür. Türkiye’de, özellikle kamu inşaat sektöründe, anahtar teslimi götürü bedel işler için, "tip sözleşme" kullanılmaktadır [63].

Tablo 1.2. Türkiye’nin il ve ilçelerine göre çalışılmayan günler listesi. [64]

Sıra No	İl	İlçe	Çalışılmayan Günler	Süre
1	ADANA	— Merkez	Yok	Yok
		— Osmaniye	Yok	Yok
		— Yumurtalık	Yok	Yok
		— Ceyhan	Yok	Yok
		— Kadirli	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
		— Koçazan	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
		— Karaisalı	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
		— Pozantı	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
		— Saimbeyli	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
		— Tufanbeyli	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
		— Bahçe	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
2	ANKARA	HEPSİ	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
3	BURSA	HEPSİ	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
4	GAZİANTEP	HEPSİ	1 Ocak – 15 Mart	75 Gün
5	İZMİR	HEPSİ	1 Ocak – 1 Mart	60 Gün
6	MALATYA	— Merkez	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Akçadağ	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Yeşilyurt	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Darende	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Doğanşehir	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Arapgir	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Hekimhan	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
		— Arguvan	1 Aralık – 1 Nisan	120 Gün
— Pütürge	15 Kasım – 15 Nisan	150 Gün		
7	SAMSUN	HEPSİ	1 Ocak – 15 Mart	75 Gün
8	TRABZON	HEPSİ	1 Ocak – 15 Mart	75 Gün

Tip sözleşmenin 10. maddesinde, yapılacak olan işin süresel kıstasları yer almaktadır. "İşe başlama ve bitirme tarihi ve gecikme halinde alınacak cezalar" başlıklı bu maddede; "Yüklenici taahhüdün tümünü, işyeri teslim tarihinden itibaren gün içinde tamamlayarak geçici kabule hazır hale getirmek zorundadır" hükmü yer almaktadır. Bunun yanında, aynı maddede; "bu işyerinde havanın fen noktasından çalışmaya uygun olmadığı günler tarihleri arasındır. Ancak, işin bitiminde bu devre dikkate alınmaz ve idare yükleniciden teknik şartları yerine getirerek işi tamamlaması için bu devre içinde çalışmasını isteyebilir" hükmü ile "belirlenen süreler takvim günü esasına göredir. Bu sürenin hesaplanmasında; havanın fen noktasından çalışmaya uygun olmayan devresi ile

resmi tatil günleri dikkate alındığından, bu nedenlere istinaden ayrıca süre uzatımı verilmez. Zorunlu nedenlerle ertesi seneye sâri hale gelen işlerde, çalışmaya uygun olmayan devre ödenek durumuna ve imalat cinsine göre dikkate alınır" hükümleri de yer almaktadır [63]. Buradan; tamamen aynı olan ve aynı şartlarda eşit sürelerde tamamlanması gereken iki farklı yapım işinin yapım sürelerinin, buldukları bölgenin hava koşullarına göre değişiklik gösterebileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu nedenle, Türkiye’de 1982 yılında yayımlanmış olan bir genelge ile belirlenen "il ve ilçelere göre çalışılmayan günler listesi" içerisinde, mevcut tez çalışmasına konu olan şehirlerin listelerinin incelenmesi ve burada paylaşılması uygun görülmüştür.

Tablo 1.2’ye göre; Ankara, Bursa, Gaziantep, İzmir, Samsun ve Trabzon şehirlerinde çalışılmayan günler, merkez ilçe/ilçeler ve diğer ilçeler için aynıdır. Ancak Adana ve Malatya şehirlerinde çalışılmayan günler, merkez ilçe/ilçeler ile diğer ilçeler için farklılıklar göstermektedir. Örneğin; Adana şehrinin merkezinde hava koşullarının ılıman olması nedeniyle çalışılmayan süre yokken, Pozantı ilçesinde çalışılmayan süre bir yıl içerisinde 60 gün olarak belirlenmiştir. Bu da; normal şartlarda yapım süresi 100 gün olarak belirlenen bir iş için yükleniciye; Adana şehrinin merkezinde 100 takvim günü, Pozantı ilçesinde ise 160 takvim günü süre verileceğini ifade etmektedir. Yüklenicinin, yapım işini öngörülen sürede tamamlayamaması halinde karşılaşılabilecek yaptırımların ağır külfetler getirebileceği düşünüldüğünde, yapım süresinin belirlenmesi esnasında, çalışılmayan günler kavramının titizlikle irdelenmesinin büyük önem taşıdığı düşünülmektedir. Aynı şekilde, Malatya şehrinin Pütürge ilçesinde çalışılmayan süre 150 gün (yaklaşık beş ay) iken Malatya şehrinin merkezinde ve diğer ilçelerinde çalışılmayan süre 120 gün (yaklaşık dört ay) olarak belirlenmiştir.

1.3. Literatür Çalışması

Yapım işlerinin gerçekleşme maliyetleri ve gerçekleşme süreleri, yapım kalitesi ile birlikte yapım projelerinin başarısı için gereken en önemli kriterler olarak gösterilmektedir [55]. Bundan dolayı da, inşaat yönetimi alanında güncelliğini hiçbir zaman kaybetmeyen maliyet ve süre faktörleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmıştır. Ancak yapım işlerinin erken aşamalarında maliyet ve süre tahminine yönelik model çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı ifade edilebilir. Bir adım daha ileriye gidilecek

olursa, yapım projelerinin en büyük sorunları arasında gösterilebilecek olan maliyet sapması ile süresel sapmanın tahminine yönelik model çalışmaların yok denecek seviyede olduğu görülmüştür. Bu bölümde, mevcut tez çalışması ile ilgili olduğu düşünülen çalışmaların derlendiği literatür taramasına yer verilmiştir.

Bromilow (1974), "Measurement and Scheduling of Construction Time and Cost Performance in the Building Industry" adlı çalışmasında, Avustralya'daki inşaat projelerinin süreleri ve maliyetleri arasındaki ilişkiyi modellemeyi amaçlamış ve bu ilişkiyi;

$$T = K.C^B \quad (1.2)$$

Şeklinde formülize etmiştir. Burada; T : iş günü olarak inşaat süresini, K : iş günü olarak süre performansını ifade eden bir katsayıyı, C : Avustralya doları (A\$) cinsinden kesin hesap tutarını ve B : süre performansının genel seviyesini ifade eden bir katsayıyı, temsil etmektedir. Çalışma kapsamında, Avustralya'da Haziran 1964 ile Haziran 1967 arasında inşa edilmiş olan 329 yapım işi projesi analiz edilmiştir. Sonuç olarak; K değeri 350 iş günü, B değeri 0,30 olarak elde edilmiştir [62]. Buna göre; kesin hesap tutarı 100.000 A\$ olan bir yapım işinin inşaat süresi;

$$T = 350.100000^{0,30} = 11068 \text{ işgünü} \quad (1.3)$$

Olarak elde edilmektedir. 1 A\$'nın ortalama 1,80 Türk Lirası (TL) olduğu düşünüldüğünde, 100.000 A\$ = 180.000 TL tutarındaki bir yapım işi için Türkiye'de verilmesi muhtemel olan sürenin yaklaşık 365 iş günü (1 yıl) olabileceği ve bahsedilen formül ile yaklaşık 30 yıllık bir sürenin hesaplandığı söylenebilir.

Karshenas (1984), "Predesign Cost Estimating Method for Multistory Buildings" adlı çalışmasında, projelerin başlangıç aşamasında maliyet tahmini için genellikle kullanılan birim alan metodunu ele almıştır. Çalışma kapsamında; maliyet, yükseklik ve kat alanı verileri arasında matematiksel ilişki elde edilmek amacıyla, tarihi yapılardan yararlanılmıştır. Çalışmada, alışlagelmiş metodun dışında, yapı yüksekliği ve kat alanı verileri yapı maliyetinin tahmin edilebilmesi için birer parametre olarak kullanılmıştır. Çalışma, parametrik bir maliyet tahmin metodu olarak, genellikle şartnamelerin ve

detaylı çizimlerin olmadığı tasarım öncesindeki maliyet tahmininin önemini vurgulamıştır [65].

Nkado (1992), "Construction Time Information System for the Building Industry" adlı çalışmasında; alt yapı, üst yapı, cephe kaplaması ve başlangıç-başlangıç gecikmesi zamanlarını dikkate alarak yapım sürelerini tahmin edebilmek için çoklu regresyon analizi (MLR) modeli geliştirmiştir. Bunun için de; projenin fonksiyonu, taşıyıcı sistemin türü, yapım yeri, cephe kaplaması türü, boşlukların belirtilip belirtilmediği, servis yoğunluğu, kat sayısı, yapı yüksekliği, yapının net ve brüt taban alanları ve yaklaşık kazı hacmi olmak üzere 12 farklı değişkenden yararlanmıştır. Çalışma kapsamında 29 farklı ticari yapım projesi kullanılmıştır. Sonuç olarak; önerilen modelin yapım sürelerinin erken aşamada tahmin edilebilmesi adına doğru ve geçerli sonuçlar verdiği ifade edilmiştir [66].

Kumaraswamy ve Chan (1995), "Determinants of Construction Duration" adlı çalışmalarında, inşaat yapım sürelerine etki eden faktörler üzerinde durmuşlardır. Bu faktörlerin hem niteliksel hem de niceliksel veriler içerdiği ifade edilerek, inşaat yapım sürelerinin belirtilen bütün faktörlerin bir fonksiyonu olduğuna değinilmiştir [59].

Adeli ve Wu (1998), "Regularization Neural Network for Construction Cost Estimation" adlı çalışmalarında, yapım işi projelerinde maliyet tahmini için radyal tabanlı fonksiyon (RBF) yönteminin özel bir durumu olan düzenleştirme teorisini kullanmışlardır. Oluşturulan model, otoyol kaplamalarının maliyet hesabı için kullanılmıştır. Sonuç olarak; modellemede parametre sayısı arttıkça, yapım maliyetinin daha gerçekçi olarak tahmin edildiği ifade edilmiştir [67].

Gören (1998), "Kamu İnşaat Projelerinin Gerçekleştirilmesinde Süre Uzama Nedenlerinin Analizi" adlı tez çalışmasında, Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü tarafından 2886 sayılı Devlet İhale Kanununa göre 1980-1995 yılları arasında ihale edilmiş olan toplam 42 farklı inşaat projesini incelemiştir. İncelenen inşaat projelerinde; süre uzama faktörleri ve bu faktörlerin projelere ne düzeyde etki ettiği araştırılmıştır. Süre uzamasına neden olan faktörlerin tamamı gruplandırılarak analizleri yapılmıştır [61].

Karslı (1998), "İnşaat Süresini Etkileyen Faktörler ve İnşaat Süresi Tahmin Modelleri" adlı tez çalışmasında, literatürde yer alan ve inşaat süresini etkileyen faktörler ile geliştirilmiş olan modelleri sistematik olarak bir araya getirerek, ülkemizde kullanılabilir süre tahmin modelleri arasından en uygun modelin "Walker modeli" olduğunu ifade etmiştir [58].

Bhokha ve Ogunlana (1999), "Application of Artificial Neural Network to Forecast Construction Duration of Buildings at the Predesign Stage" adlı çalışmalarında, tasarım evresinde yapım sürelerinin tahmini için yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımını kullanmışlardır. Bu kapsamda, Tayland'ın başkenti Bangkok'da inşa edilen; yükseklikleri 23 metreden ve fonksiyonel alanları 10000 m²'den fazla olan yapılar dikkate alınmış ve toplam 136 yapım işi projesi kullanılmıştır. ANN modelinde, girdi verileri olarak; yapının fonksiyonu, taşıyıcı sistemi, fonksiyonel alanı, yüksekliği, temel çalışmalarının karmaşıklığı, dış cephe ve dekorasyon kalitesi ile yapıya ulaşım sunulmuştur. Çıktı verisi olarak da yapım süresi sunulmuştur. Verilerin 68'i eğitime ve kalan 68'i test aşamasında kullanılmak üzere bölünmüş olup, test verilerinin ortalama hatası %18,2 ve toplam ortalama hata %13,6 olarak hesaplanmıştır [68].

Siqueira (1999), "Neural Network-Based Cost Estimating" adlı tez çalışmasında, ses yalıtımlı prefabrik çelik yapıların maliyet hesabının yapılması amacıyla ANN ve regresyon analizi (RA) temelli maliyet hesaplama metodu geliştirmiştir. Çalışmada kullanılan veriler, Kanada'daki 75 çelik yapı projesinden elde edilmiştir. Geliştirilen maliyet modelinden elde edilen sonuçlar, projeden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen ANN modelinin, eğitilen proje parametreleri kapsamında kullanılması durumunda RA yaklaşımından daha üstün olduğunu göstermiştir [69].

Emsley *et al.* (2002), "Data Modelling and the Application of a Neural Network Approach to the Prediction of Total Construction Costs" adlı çalışmalarında, yaklaşık 300 yapım işi projesinden elde edilen ve kesin hesap tutarlarını da içeren verilerle, sinir ağı tabanlı maliyet modelleri geliştirmişlerdir. Sinir ağı modellerinin sonuçlarını kıyaslamak amacıyla, doğrusal regresyon analizi de çalışmaya dâhil edilmiştir. Doğrusal olmayan verilerin modellenmesi, sinir ağı modellerinin en büyük avantajı olarak

gösterilmiştir. Modellerden, optimum sonuç için ortalama mutlak göreceli hata (MAPE) değeri %16,6 olarak elde edilmiştir [70].

Chan ve Chan (2004), "Developing a Benchmark Model for Project Construction Time Performance in Hong Kong" adlı çalışmalarında, gerçek yapım sürelerinin tahmin edilebilmesi amacıyla, Hong Kong'da yer alan benzer yapıda 56 standart konutun verilerini çoklu doğrusal regresyon (MLR) ile analiz etmişlerdir. İstatistiksel olarak önem taşıyan değişkenlerin belirlenebilmesi amacıyla önem seviyesi %5 olarak dikkate alınmıştır. Sadece, önem seviyesi (p-değeri) %5'den az olan değişkenler analize tabi tutulmuştur. Analiz edilen 56 konutun verilerinin determinasyon katsayısı (R^2) değeri 0,7769 ve ortalama mutlak göreceli hata (MAPE) değeri %3,97 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak; yapım sürelerinin tahmini için benzer projeler için önerilen modelin olumlu sonuçlar verdiği ifade edilmiştir [71].

Günaydın ve Doğan (2004), "A Neural Network Approach for Early Cost Estimation of Structural Systems of Buildings" adlı çalışmalarında, inşaat tasarım süreçlerinin erken aşamalarında ortaya çıkan maliyet hesaplama problemlerinin üstesinden gelebilmek adına sinir ağı metodolojisinin sağlayabileceği faydaları tespit etmek için 30 farklı projenin tasarım verilerini elde ederek, bu verileri sekiz girdiden ve bir çıktıdan oluşan bir ANN yapısına uygulamışlardır. Girdi verileri olarak; toplam inşaat alanı, kat alanı/toplam inşaat alanı oranı, taban alanı/toplam inşaat alanı oranı, kat sayısı, yapının konsol doğrultusu, yapının temel sistemi, yapının temel türü ve bina merkezinin yeri, çıktı verisi olarak da yapının birim alan maliyeti kullanılmıştır. Sonuç olarak; birim alan maliyeti, ortalama %93 doğrulukla hesaplanmıştır [72].

Kim *et al.* (2004), "Comparison of Construction Cost Estimating Models Based on Regression Analysis, Neural Networks and Case-Based Reasoning" adlı çalışmalarında; maliyet tahmininin inşaat projeleri için anahtar faktör olduğunu belirterek bir maliyet hesaplama modeli oluşturmuşlardır. Modelin performansı; çoklu regresyon analizi (MRA), ANN ve durum tabanlı çıkarımsama (CBR) olmak üzere üç farklı yaklaşım ile analiz edilmiştir. Bu kapsamda 530 yapım işinin maliyet verileri ele alınmıştır. Sonuç olarak; ANN analizinin diğer iki analize göre daha gerçekçi tahmin yeteneğinin olduğu

ancak açıklama kabiliyetinin bulunmadığı, dolayısıyla uzun süreli kullanım dikkate alındığında CBR analizinin daha iyi bir performans göstereceğinin altı çizilmiştir [73].

Sönmez (2004), "Conceptual Cost Estimation of Building Projects with Regression Analysis and Neural Networks" adlı çalışmasında, tek bir yüklenici tarafından 1975-1995 yılları arasında ABD'nin 14 farklı bölgesinde tamamlanmış olan 30 adet huzurevi projesini kullanmıştır. Çalışma kapsamında; parametrelerin proje maliyetine etkilerini belirleyebilmek amacıyla üç farklı doğrusal regresyon modeli kurulmuştur. Bununla birlikte, regresyon modellerine doğrusal olmayan terimlerin eklenmesinin gerekli olup olmadığını kontrol etmek amacıyla iki farklı ANN modeli kurulmuştur. Sonuç olarak; regresyon analizi ve ANN tekniklerinin eşzamanlı kullanımları ile tatminkâr bir kavramsal maliyet modeli oluşturulabileceği ifade edilmiştir [74].

Kim *et al.* (2005), "Models of Neural Networks and Genetic Algorithms for Predicting Preliminary Cost Estimates" adlı çalışmalarında, erken aşamalarda konut maliyetlerinin tahmin edilebilmesi için hybrid yapay zekâ yaklaşımları ile genetik algoritma (GA) yaklaşımını kullanmışlardır. Bu amaçla, 1997-2000 yılları arasında Güney Kore'de inşa edilmiş olan 498 konutun proje verileri temin edilmiştir. Çalışma kapsamında üç farklı model kurulmuştur. Birinci modelde, geriye yayımlı ağı her bir parametresi deneme-yanılma yolu ile belirlenmiştir. İkinci modelde, geriye yayımlı ağı her bir parametresi GA ile eğitilmiştir. Üçüncü modelde, sinir ağlarının ağırlıkları GA ile eğitilmiştir. Sonuç olarak; geriye yayımlı ağların parametrelerinin optimizasyonunda GA yönteminin kullanılmasının, erken aşamalarda konutların maliyet tahmini için en etkili yöntem olduğu ifade edilmiştir [75].

Lowe *et al.* (2006), "Predicting Construction Cost Using Multiple Regression Techniques" adlı çalışmalarında, Birleşik Krallık (UK) sınırları içerisinde yapılan 286 yapım işi projesinin verilerini temel alarak, binaların yapım maliyetlerini tahmin edebilmek için; ileri yönlü ve geriye doğru adımsal analizleri kapsayan doğrusal regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Sonuç olarak; geleneksel maliyet tahmin metodu için ortalama mutlak göreceli hata (MAPE) değeri %25 olarak elde edilmiştir. Geliştirilen optimum regresyon modelinin determinasyon katsayısı (R^2) değeri 0,661 ve

MAPE değeri de %19,30 olarak elde edilmiş olup, regresyon modelinin geleneksel tahmin metodundan üstün olduğu belirtilmiştir [76].

Turhan (2006), "Kamu İhale Sistemindeki Değişikliğin İnşaat Yatırımlarının Süre ve Maliyetlerine Yansımaları" adlı tez çalışmasında, Türkiye’de yer alan Bayındırlık ve İskân Müdürlüklerince 2886 sayılı ve 4734 sayılı kanunlara göre ihale edilmiş ve sonuçlandırılmış olan toplam 1313 adet inşaat projesinin ihale dosyasını incelemiştir. Dosyalardan, söz konusu projelerin öngörülen ve gerçekleşen süre ve maliyet değerleri elde edilmiş ve bu değerler, 4734 sayılı kanunun beklentileri ne düzeyde karşıladığı bağlamında yorumlanmıştır. Sonuç olarak; 2886 sayılı kanuna göre gerçekleştirilen inşaat projelerinin, öngörülenin %218,97 üzerinde maliyetle tamamlandığı saptanmıştır. Buna karşın, 4734 sayılı kanuna göre gerçekleştirilen inşaat projelerinin %0,89’luk bir sapma ile tamamlandığı tespit edilmiştir [8].

Uğur (2007), "Yapı Maliyetinin Yapay Sinir Ağı ile Analizi" adlı tez çalışmasında, betonarme taşıyıcı sistemli ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetlerini birim fiyat yöntemi (BFY) ile hesaplamıştır. Ek olarak, ANN uygulamasına da yer vermiştir. Yapıların projelerinden elde edilen; yapı yükseklikleri, tip katlardaki daire sayıları, tip kat alanları, kat yükseklikleri, toplam kat sayıları, cephe alanları, cephe boşluğu alanları ve ortalama daire alanları, ANN mimarisinde ana değerlendirme kıstasları olarak dikkate alınmıştır. Regresyon analizi (RA) ile de maliyet hesabı yapılmış ve bahsedilen üç yöntem karşılaştırılarak, ANN yönteminin performansı değerlendirilmiştir. ANN yönteminden elde edilen değerlerin, RA yaklaşımından elde edilen değerlere göre gerçeğe daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar verdiği ifade edilmiştir [28].

Helvacı (2008), "Comparison of Parametric Models for Conceptual Duration Estimation of Building Projects" adlı tez çalışmasında, projelerin ilk aşamalarından elde edilebilen temel verilerle yapım işlerinin keşif öncesi aşamasında süre tahmin yöntemlerinin geliştirilmesini amaçlamıştır. Bu amaçla, ABD’de inşa edilmiş olan 17 bina projesinin verileriyle, regresyon analizi (RA) ve yapay sinir ağları (ANN) yöntemleri kullanılarak beş farklı parametrik süre tahmin modeli geliştirilmiştir. Bununla birlikte, süre tahmin modellerinin performanslarının hesaplanmasında kullanılacak olan maliyet tahminleri

için RA yaklaşımı ile de parametrik bir maliyet tahmin modeli geliştirmiştir. Sonuç olarak, oluşturulan modellerin yapım süreleri için makul derecede doğru tahminler sağladığı ve inşaat sürelerinin, proje maliyetleri açısından tahmin yapılmadan da kestirilebileceği ifade edilmiştir [55].

Bari *et al.* (2008), "Exploring the Types of Construction Cost Modelling for Industrialised Building System (IBS) Projects in Malaysia" adlı çalışmalarında; Malezya'da yapım projelerinin teklif öncesi maliyet hesaplama sürecinde benimsenen maliyet hesaplama modelinin çeşitleri üzerinden bilgi sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışma sonuçları; maliyet hesaplama modellerinin geleneksel çeşitlerinin birçoğunun, organizasyonel büyüklüğe ve çeşide bakılmaksızın, halen yaygın şekilde kullanılmaya devam ettiğini ortaya çıkarmıştır. Değer mühendisliği ve kaynak temelli modeller ile gelişmekte olan yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık (FL) gibi "yeni dalga" modellerin, belli bir seviyeye ulaşmasının gerekli olduğu ifade edilmiştir [77].

Kuşan *et al.* (2009), "Comparison of Fuzzy Logic, Artificial Neural Network and Multiple Regression Analysis Methods in the Determination of Selling Prices of Residences" adlı çalışmalarında; konutların satış fiyatlarını belirlemek amacıyla; konut özellikleri, şehir planları, merkeze yakınlık, alışveriş, kültürel, medikal, sosyal ve eğitim alanları, ulaşım sistemleri gibi girdi değişkenlerini içeren bir anket çalışması hazırlamışlardır. Anket çalışmasından elde edilen veriler; bulanık mantık (FL), yapay sinir ağları (ANN) ve çoklu regresyon analizi (MRA) yöntemlerine girdi değişkenleri olarak sunulmuşlardır. Eskişehir ilinin farklı bölgelerinde bulunan konutların satış fiyatları, bahsedilen üç metot ile tahmin edilmiştir. Sonuç olarak; kullanılan metotların, konutların satış fiyatının belirlenmesi vb. uygulamalar için kullanışlı ve faydalı olabilecekleri ifade edilmiştir [78].

Arafa ve Alqedra (2011), "Early Stage Cost Estimation of Buildings Construction Projects Using Artificial Neural Networks" adlı çalışmalarında, yapım işi projelerinin erken aşamalarında yaklaşık maliyetlerin tahmini için ANN yaklaşımını kullanarak öneri niteliğinde bir model oluşturmayı amaçlamışlardır. Filistin'de yer alan 71 yapım projesinin verilerinden faydalanılarak, önemli ANN yaklaşımları arasında gösterilen çok katmanlı algılayıcı (MLP) modeli kurulmuştur. Modelin girdi verileri; yapı taban alanı,

yapı toplam alanı, kat sayısı, kolon sayısı, temel tipi, asansör sayısı ve oda sayısı olarak sıralanmıştır. Çıktı verisi ise kaba inşaat maliyeti olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; yapım maliyeti tahmini için basit proje bilgileri kullanılarak oluşturulan modelin MLP analizlerinin başarılı olduğu ifade edilmiştir [42].

Kuruoğlu *vd.* (2011), "İnşaat Sektöründe Kullanılan Ön Maliyet Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması" adlı çalışmalarında, inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemlerini, Türkiye'deki bilinirlikleri ve kullanım oranları açısından değerlendirmişlerdir. Ön maliyet tahmin ve hesaplama yöntemleri, Türkiye koşullarında kullanılmaları açısından değerlendirildiğinde, bu yöntemlerden en pratik olanının "ortalama birim maliyetlere dayalı maliyet tahmin yöntemleri" olduğu, en karmaşık olanının ise gelişmekte olan "yapay zekâ tekniklerine dayalı maliyet tahmin yöntemleri" olduğu sonucuna ulaşılmıştır [79].

Baalousha ve Çelik (2011), "An Integrated Web-Based Data Warehouse and Artificial Neural Networks System for Unit Price Analysis with Inflation Adjustment" adlı çalışmalarında, Türkiye'de birim fiyat analizi için "DANUP" adı verilen ve enflasyon düzeltme sistemini de içeren bir yapay sinir ağları (ANN) modeli geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, inşaat maliyetleri ile ilgili bilgi toplanmasını kolaylaştırmak adına web tabanlı bir sistem oluşturulmuştur. Böylece, internet üzerinden veritabanına erişim ve kullanıcı yetkilendirme sistemine göre birim fiyat analizi için belirli işlemlerin yapılabilmesi sağlanmıştır. Sonuç olarak; önerilen model sistemin doğruluğunun ve hassasiyetinin elle hesaplamaya oranla çok daha yüksek olduğu vurgulanmıştır [80].

Bayram *et al.* (2012), "Analysis of Cost and Schedule Variances in Construction Works with Artificial Intelligence Approaches: The Case of Turkey" adlı çalışmalarında, 2004-2010 yılları arasında İzmir'de tamamlanmış olan 198 kamu yapısının ihale dokümanlarını inceleyerek, yapım işlerine ait kesin hesap tutarlarının, birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) ile elde edilen yaklaşık maliyetlerle karşılaştırılmasını ve BAMY yaklaşımının gerçekçiliğinin belirlenmesini amaçlamışlardır. BAMY yaklaşımından elde edilen yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %30,38'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmış

ve BAMY yaklaşımının gerçeği yansıtmadığı ifade edilmiştir. Bunun yanında, yapım işlerinin maliyet sapmaları ve süresel sapmaları hesaplanmış olup, bu sapmalar ANN yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve hybrid yapay zekâ yaklaşımlarından olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ile tahmin edilmiştir. Maliyet sapması tahmini konusunda, MLP yönteminin GPA yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği ancak süresel sapma tahmini konusunda her iki yöntemin de beklentilerin altında kaldığı ifade edilmiştir [81].

Literatür taramasından elde edilen bulgular, maliyet/süre kavramları için yapay zekâ tekniklerine dayalı tahmin yöntemlerinin, dünyada 1990'lı yılların sonlarına doğru araştırmalara konu olmaya başladığını göstermektedir ki zaten yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımının uygulanabilirliği, 1980'li yılların sonlarına doğru ispat edilebilmiştir. Türkiye'de ise yapay zekâ tekniklerine dayalı maliyet/süre tahmin yöntemleri ile ilgili ilk ciddi çalışmanın, 2004 yılında yapıldığı görülmektedir. Ancak bu tarihten günümüze kadar, yapım maliyetlerinin/yapım sürelerinin tahminine yönelik olarak, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de geleneksel yöntemlerin yanında yapay zekâ (AI) yaklaşımlarının da yaygın olarak kullanım alanı bulduğu ve kullanılan yaklaşımlardan olumlu sonuçlar alındığı ifade edilebilir. Mevcut tez çalışmasında; yapım işlerine ait kesin hesap tutarlarının, öncelikle Türkiye'de sıklıkla kullanılan bir yöntem olan birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerle kıyaslanacak olması ve BAMY yaklaşımının gerçekçiliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonraki aşamada ise; yapım işlerinden temin edilen verilerle maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli oluşturularak bu modellerin; yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF), hybrid yapay zekâ yaklaşımlarından olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ile birlikte son olarak önemli bir istatistiksel yöntem olan çoklu doğrusal regresyon (MLR) ile analiz edilmeleri hedeflenmiştir. Bahsedilen yapay zekâ yaklaşımlarının, henüz bu tür kapsamlı bir çalışmada bir arada kullanılmadıkları bilinmektedir. Bunun yanısıra, Türkiye'nin bütün coğrafi bölgelerinde yer alan şehirlerden, tamamlanmış olan kamu yapım işlerine ait gerçek verilerin temin edilmesi ve bahsedilen analizlerin Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve son olarak da Türkiye geneli için yapılmış olması, tez çalışmasının bölgesel kapsamının geniş olduğu ve ileride yapılacak olan mali ve süresel tahminler için örnek

teşkil edebileceği şekilde yorumlanabilir. Aynı zamanda, BAMY yaklaşımı ile hesaplanan yaklaşık maliyet değerlerinin, maliyet modeli kapsamında; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerleri ile direkt olarak kıyaslanarak, kullanılan bütün yöntemlerin performanslarının kıyaslamalı olarak değerlendirilmesi de kullanılan yöntemlerin tahmin düzeyleri adına oldukça önem taşımaktadır. Bunun yanında, maliyet ve süre kavramlarından ziyade maliyet sapmalarına ve süresel sapmalara da odaklanılması ve inşaat projelerinin yönetiminin olmazsa olmazları olan maliyet ve süre kavramlarının birlikte ele alınması, mevcut tez çalışmasının diğer farklılıkları olarak ifade edilebilir.

2. BÖLÜM

MATERYAL ve YÖNTEM

İnşaat sektörünün kamu kesiminde ve özel kesiminde artan rekabet ortamı, projelerde kar paylarının düşmesine yol açmaktadır [37]. Buna bağlı olarak da hem işveren yönünden hem de yüklenici yönünden yapım maliyeti ve yapım süresi tahminlerinin önemi artmaktadır [37]. Geçerli yapım maliyeti ve yapım süresi tahminleri, proje yöneticisi açısından da kritik bir faktördür [42]. Çünkü yapım maliyeti ve yapım süresi tahminlerinin projenin erken aşamalarında doğru olarak yapılabilmesi, proje yöneticisine yeterli alternatif imkanının yanısıra, yanlış çözümlerden kaçınma olanağı da sağlayacaktır [42].

Yapı üretim sürecinin her aşamasında proje maliyetinin ve proje süresinin tahmini ve denetimi için kullanılan maliyet ve süre tahmin modelleri, kullanım amaçları doğrultusunda farklılaşmaktadır. İlk kez 1950’li yıllarda, Avrupa’da konut ve kamu yapıları üzerinde basit bir planlama şeklinde ortaya çıkan maliyet modeli kavramı, 1980’li yıllardan sonra yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde sınıflandırılmaya başlanmıştır [5,28]. Bu modellerin sınıflandırılmasında farklı etmenler ele alınmıştır. Örneğin, bir sınıflandırma; *geleneksel modeller, tanımlayıcı modeller, gerçekçi modeller ve enformasyon sistemi yaklaşım modelleri* şeklinde yapılmıştır [5,28]. İnşaat maliyeti ön tahmini yöntemleri, bir başka sınıflandırmada ise; *istatistik-olasılık analizlerine dayalı yöntemler, benzer proje ile karşılaştırmaya dayalı yöntemler ve yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemler* olmak üzere üç gruba ayrılmıştır [21]. İnşaat projelerinin farklı aşamalarında ön maliyet tahmini için kullanılan yaklaşımlar, bir başka kaynakta ise; *geleneksel detaylı maliyet tahmini, basitleştirilmiş maliyet tahmini, işe göre maliyet tahmini, maliyet fonksiyonları temelli maliyet tahmini, gösterge sayısı tahmini, uzman sistemler* olmak üzere altı başlık altında

toplanmıştır [42]. Yapım süresi tahmin modelleri de; *deneyim temelli modeller*, *parametrik modeller*, *ayrık durumlu modeller* ve *simülasyon modelleri* olmak üzere dört ana grup şeklinde ifade edilmiştir [56].

Bahsedilen maliyet ve süre tahmin yöntemlerinin bazıları Türkiye’de yaygın olarak kullanılmakta, bazıları ise yeni yeni kullanılmaya başlanmaktadır. İnşaat yatırımlarında projelerin amaçlarının (okul, hastane, konut vb.) birbirinden farklı olması, çizilen her yeni projenin tasarımlarının değişken olması, proje girdilerinin (yatırımcı, yüklenici, kullanılan malzeme vb.) ve iklim şartlarının farklı olması, inşaatın doğasından kaynaklı öngörülemeyen maliyetlerin ve süresel gecikmelerin gerçekleşmesinden dolayı yapım maliyetlerinin ve yapım sürelerinin kesin olarak belirlenmesi oldukça güçtür. Türkiye’de istatistikî verilerin kapsamının darlığı, mevcut istatistiklerin uygulamaya yönelik olmaması, dalgalanmalı enflasyon oranlarından kaynaklı fiyat değişiklikleri, işe fiilen geç başlanması, ödenek yokluğu veya yetersizliği, hava muhalefeti vb. nedenler de eklenince, yapılan maliyet ve süre tahminlerinde sapmalar meydana gelmektedir [8,21,61].

Mevcut tez çalışmasında, öncelikle; Akdeniz bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi, Ege bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Marmara bölgesi olmak üzere Türkiye’nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan; Adana, Malatya, İzmir, Gaziantep, Ankara, Trabzon, Samsun ve Bursa şehirlerinde Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından 4734 sayılı "kamu ihale kanunu"na göre ihale edilip 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 826 inşaat projesinin ihale dokümanı incelenmiştir. Bahsedilen kurumların arşivlerinde yapılan çalışmalar neticesinde, kamu yapım işlerinin öngörülen ve gerçekleşen süre ve maliyet değerleri ile birlikte fiziki özellikleri (toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği vb.) de elde edilmeye çalışılmıştır. İhale dokümanları incelenen bütün yapım işleri bina yapısı (okul, hastane vb.) olup, tez çalışması kapsamında geliştirilen yöntemler de bina yapılarını temsil etmektedir.

Yapılan arşiv çalışmalarından temin edilen verilere dayanılarak, öncelikle Türkiye’de yapı yaklaşık maliyeti tahmininde sıklıkla kullanılan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında

Tebliğ" esas alınmış ve istatistik-olasılık analizlerine dayalı bir maliyet tahmin yöntemi olan "Birim Alan Maliyeti Yöntemi" (BAMY) kullanılmıştır. BAMY yaklaşımı ile her bir yapının toplam inşaat alanı ile inşa edildiği yıldaki birim alan maliyeti çarpılmak suretiyle yaklaşık yapım maliyeti hesaplanmıştır. Burada temel hedef; Türkiye'de yaygın olarak kullanılan BAMY yaklaşımının gerçekçiliğinin belirlenmesi ve bu yöntemin, çalışma kapsamında kullanılacak ve birazdan bahsedilecek olan diğer yöntemlerle kıyaslanmasının sağlanmasıdır. Bu amaçla, Türkiye'nin her bir coğrafi bölgesi ve son olarak da Türkiye geneli için öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur. Maliyet modelinin yanısıra, yapım işlerinin maliyet sapmalarının ve süresel sapmalarının erken aşamalarda tahmin edilebilmesinin araştırılması amacıyla; öneri niteliğinde "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" de kurulmuştur.

Tez çalışmasında kullanılan ikinci yöntem, yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemdir. Yapay zekâ, "insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak" olarak tanımlanır [28]. Yapay zekâ teknikleri; yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık (FL), genetik algoritma (GA) ve bu tekniklerin birlikte değerlendirildiği hibrit metotları içermektedir. ANN yönteminin, herhangi bir karmaşık matematiksel formülasyon ya da algoritmaya gerek duymadan kavramları, geçmiş veriler içerisinde elde edebilmesi, bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajıdır [82,83]. Çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) da birçok öğrenme algoritmasının bu ağları eğitmede kullanıyor olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılan ANN yaklaşımlarıdır. Bunun yanısıra, ANN yaklaşımının öğrenme gücü ile FL yaklaşımının kural tabanlı sonuç çıkarma mekanizmalarının avantajlarını içeren ve hibrit öğrenme algoritmasının uygulandığı yapay zekâ algoritmalarından birisi olan adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)'nin uygulandığı yapay zekâ yaklaşımları da bilimin her alanında kullanılmaktadır [82,84]. Ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) da; ANFIS yaklaşımının kullanıldığı önemli hibrit yöntemler arasında yer alırlar. ANFIS mimarisinin temel ve en güçlü özelliği; adaptif denetim yapısı ile doğrusal olmayan karmaşık sistemleri tanımlayabilmesidir [82]. Literatürde, ANFIS yaklaşımının nümerik gruplandırma ve kural koyma gibi gelişmiş veri analiz metotlarını barındırmasından ötürü tahmin kapasitesinin ANN yaklaşımından daha iyi olduğuna dair sonuçlara rastlanmıştır [82]. Bu nedenle, tez çalışmasında, MLP ve RBF

yaklaşımlarının yanısıra, GPA ve SCA yaklaşımları da ele alınmış ve böylece toplam dört farklı yapay zeka yaklaşımının performanslarının kıyaslamalı olarak değerlendirilebilmesi hedeflenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, yapay zeka yaklaşımlarına ek olarak farklı bir yaklaşımın daha kıyaslamada kriter olarak ele alınması planlanmış ve istatistiksel bir yöntemde karar kılınmıştır. Böylece, tez çalışmasında kullanılan üçüncü ve son yöntem; istatistiksel yöntemler arasında önemli bir yere sahip olan regresyon analizi (RA) kapsamında yer alan çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi olmuştur. Basit doğrusal regresyon (SLR) analizi, tek bir bağımsız değişken (x) ile tek bir bağımlı değişkeni (y) tahmin edebilirken, MLR, birden fazla bağımsız değişken (x_1, \dots, x_n) ile tek bir bağımlı değişkeni (y) tahmin edebilmektedir [82]. Bu ilişki, formül (2.1) ile ifade edilmektedir [85,86];

$$y = a + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \quad (2.1)$$

Burada; a ve $b_{i,n}$ sırasıyla; dikey eksenindeki kesişim sabitini ve bağımsız değişkenlerin katsayı parametrelerini ifade etmektedir [85].

Tez çalışmasında kullanılan yöntemleri toparlamak gerekirse; 4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa dayalı olarak ihale edilen ve tamamlanan kamu yapım işlerine ait kesin hesap tutarlarının, öncelikle "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) hesaplamalarından elde edilen yapı yaklaşık maliyetleri ile kıyaslanarak BAMY yaklaşımının gerçeği ne düzeyde yansıttığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra; "maliyet modeli", "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" olmak üzere öneri niteliğinde üç farklı model oluşturularak bu modeller, Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesi ve son olarak Türkiye geneli için; yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ile, hibrit yapay zeka yaklaşımlardan olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ile ve son olarak da sıklıkla kullanılan bir regresyon analizi (RA) yaklaşımı olan çoklu doğrusal regresyon (MLR) ile analiz edilmiştir. Böylece, tez çalışması kapsamında kullanılan bütün yöntemlerin inşaat evresi öncesindeki uygulanabilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak kullanılan yöntemlerin

uygulanabilirlik düzeylerinin belirlenebilmesi için karşılaştırma kriterlerine gerek duyulmuştur.

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı, maliyet sapması ve süresel sapma değerleri ile yukarıda bahsedilen yöntemlerin analizlerinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı, tahmini maliyet sapması ve tahmini süresel sapma değerlerini karşılaştırma kriteri olarak; formül (2.2)'de ve formül (2.3)'de verilmiş olan iki standart hata kriteri; karekök ortalama karesel hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) kullanılmıştır. Bunun yanısıra, kullanılan yöntemlerden elde edilen tahmini değerlerin doğrulukları hakkında bir sonuca ulaşabilmek amacıyla, istatistiksel bir terim olan ve formül (2.4)'de verilen determinasyon katsayısı (R^2) da göz önüne alınmış ve böylece kullanılan bütün yöntemlerin performanslarının kıyaslamalı olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır.

RMSE; gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır ve RMSE değerinin sıfıra yaklaşması, kullanılan modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir [87]. RMSE, formül (2.2) ile hesaplanmaktadır [88];

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{model,i} - y_{real,i})^2}{n}} \quad (2.2)$$

Burada, $y_{model,i}$ ve $y_{real,i}$ sırasıyla; model tahminlerini ve gerçek değerleri, n ise veri sayısını göstermektedir.

MAE; gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki mutlak hatayı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. RMSE kriterine benzer olarak, MAE değeri sıfıra ne kadar yakın olursa kullanılan modelin tahmin yeteneği de o kadar başarılı demektir. MAE, formül (2.3) ile hesaplanmaktadır [89];

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_{real,i} - y_{model,i}| \quad (2.3)$$

R^2 ise; gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki nümerik ilişkiyi belirlemede kullanılan istatistiksel bir ifadedir. R^2 ; korelasyon katsayısının karesi olarak ifade edilir ve 0 ile 1 aralığında bir değer alır. Bir başka ifadeyle, R^2 , dağılımın bir ölçüsüdür [90]. Örneğin; $R^2=1$ ifadesi, gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki bağımlılığın çok kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir. R^2 ifadesi, formül (2.4) ile hesaplanmaktadır [91];

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{model,i} - y_{real,i})^2}{\sum_{i=1}^n y_{real,i}^2}, \quad 0 \leq R^2 \leq 1 \quad (2.4)$$

Tez çalışması kapsamında kullanılan ve detaylarına sonraki bölümlerde yer verilecek olan; MLP, RBF, GPA ve SCA olmak üzere dört yapay zeka yaklaşımının analizlerinde, MATLAB 7.9.0 simülasyon yazılımı kullanılmıştır [92]. Yine tez çalışması kapsamında kullanılan ve detaylarına sonraki bölümlerde yer verilecek olan regresyon analizi (RA) yaklaşımlarından MLR analizinin test istatistikleri ise Minitab 15 istatistik yazılımı kullanılarak elde edilmiştir [93].

2.1. Arşiv Çalışmalarından Elde Edilen Verilerin İçeriği

4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa göre ihale edilip gerçekleştirilen inşaat projeleri ile ilgili gerekli bilgiler, eski adı Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, yeni adı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olan devlet kurumu tarafından derlenip arşivlenmektedir [94]. Bu nedenle, mevcut tez çalışmasının veri temini aşamasında, ilgili bakanlık bünyesinde Türkiye'nin bütün şehirlerinde faaliyet göstermekte olan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerine ait arşivlerden yararlanılmıştır. Bu kapsamda, Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinden birer şehir seçilerek, bu şehirlerde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşivlerinde, 4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa göre ihale edilip 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan kamu yapılarına ait proje verilerinin temin edilmesi planlanmıştır. Veri temini için farklı coğrafi bölgelerin seçilmesinin nedeni; inşaat projelerinin yapım maliyetleri ile yapım sürelerinin, şantiyenin yer aldığı arazi ve çevre koşulları gibi faktörlerden büyük ölçüde etkilenmesidir. Buradan yola çıkılarak;

Akdeniz bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi, Ege bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Marmara bölgesi olmak üzere Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan; Adana, Malatya, İzmir, Gaziantep, Ankara, Trabzon ve Bursa şehirleri olmak üzere yedi şehir çalışma alanı olarak seçilmiş ve bu şehirlerin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşivlerinde çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar neticesinde, Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilen verilerin, bir sonraki aşama olan model analizleri için yetersiz olduğu düşünülmüş ve Karadeniz Bölgesi'nden ek olarak bir şehrin daha seçilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla da, Karadeniz Bölgesi'nden Samsun şehri çalışma kapsamına eklenerek son olarak Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde çalışma yapılmıştır. Yapılan bütün arşiv çalışmalarında sadece yapım işlerinin ihale dosyaları incelenmiş olup, onarım-tadilat işlerinin ihaleleri çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Çalışmaya konu olan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri'nin yer aldığı iller, Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çevre ve şehircilik il müdürlüklerinde çalışma yapılan iller.

Arşiv çalışması yapılan şehirlerin, nüfus ve yüzölçümü bakımından Türkiye geneline oranlarının da, çalışmanın kapsamı ile ilgili fikir vermesi açısından irdelenmesine gerek duyulmuştur. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) "Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2011 Nüfus Sayımı Sonuçları"na göre Türkiye'nin toplam nüfusu 74.724.269'dur [95]. İzmir'in nüfusu 3.965.232, Bursa'nın nüfusu 2.652.126, Ankara'nın nüfusu 4.890.893, Gaziantep'in nüfusu 1.753.596, Malatya'nın nüfusu 757.930, Adana'nın nüfusu

2.108.805, Trabzon'un nüfusu 757.353 ve Samsun'un nüfusu 1.251.729 olarak belirlenmiştir [95]. Belirtilen şehirlerin nüfusları toplamı 18.137.664'tür. Bu toplamın Türkiye'nin nüfusuna oranı; $(18.137.664 / 74.724.269) \times 100 = \%24,27$ seviyesindedir. TÜİK verilerine göre, Türkiye'nin toplam yüzölçümü 785.347 km²'dir [96]. İzmir'in yüzölçümü 12.007 km², Bursa'nın yüzölçümü 10.882 km², Ankara'nın yüzölçümü 25.437 km², Gaziantep'in yüzölçümü 6.887 km², Malatya'nın yüzölçümü 12.146 km², Adana'nın yüzölçümü 14.125 km², Trabzon'un yüzölçümü 4.662 km² ve Samsun'un yüzölçümü 9.352 km² olarak belirlenmiştir [96]. Belirtilen şehirlerin yüzölçümleri toplamı 95.498 km²'dir. Bu toplamın Türkiye'nin yüzölçümüne oranı; $(95.498 / 785.347) \times 100 = \%12,16$ seviyesindedir. Sonuç olarak, tez çalışması kapsamında temin edilen veri grubunun; nüfus bakımından Türkiye genelinin %24,27'sini, yüzölçümü bakımından da Türkiye genelinin %12,16'sını oluşturduğu ifade edilebilir.

Tez çalışması kapsamında, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinden veri temin edilmesi amacıyla önceden hazırlanmış olan iki farklı tabloya, incelenen ihale dosyalarından elde edilen verilerin işlenmesi amaçlanmıştır. Birinci tablo "maliyet sapması tablosu" olarak adlandırılmıştır. Maliyet sapması tablosu;

○ Tanım no,	PROJENİN FİZİKİ ÖZELLİKLERİ
○ Toplam inşaat alanı (m ²),	
○ Yapı yüksekliği (m),	
○ Kat sayısı,	
○ Taban alanı (m ²),	PROJENİN MALİYET VERİLERİ
○ Yaklaşık maliyet (TL),	
○ Sözleşme bedeli (TL),	
○ Kesin hesap tutarı (TL),	HESAPLANAN MALİYET SAPMASI VERİLERİ
○ Sözleşme bedeline göre maliyet sapması tutarı (TL),	
○ Sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı (%).	

Olmak üzere 10 sütundan oluşturulmuştur.

Maliyet sapması tablosunda yer alan; toplam inşaat alanı, yapı yüksekliği, kat sayısı ve yapı taban alanı bilgileri çoğunlukla yapı ruhsatından veya yapı kullanma izin belgesinden elde edilmiş olup, kısmen de mimari projelerden elde edilmiştir. Yaklaşık maliyet bilgisi, ihale onay belgesinden elde edilmiştir. Sözleşme bedeli ve kesin hesap tutarı bilgileri ise kesin hesap fişinden (KDV hariç olarak) elde edilmiştir.

Maliyet sapması tablosunda yer alan son iki sütun, yani; sözleşme bedeline göre maliyet sapması tutarı ve sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı, tabloya işlenmiş olan; sözleşme bedeli ve kesin hesap tutarı verilerinden yola çıkılarak yapılan hesaplamalar ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile sözleşme bedeline göre maliyet sapması tutarı (TL) sütunu; kesin hesap tutarları ile sözleşme bedellerinin farkları alınarak, sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı (%) sütunu da, sözleşme bedeline göre maliyet sapması tutarlarının sözleşme bedellerine oranının yüzde ifadesi hesaplanarak doldurulmuştur. Bahsedilen ifadeler;

$$\begin{aligned} \text{Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Tutarı (TL)} = \\ \text{Kesin Hesap Tutarı (TL)} - \text{Sözleşme Bedeli (TL)} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (\%)} = \\ \left(\frac{\text{Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Tutarı (TL)}}{\text{Sözleşme Bedeli (TL)}} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Şeklinde formülize edilebilir. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde yapılan arşiv çalışmalarında kullanılan maliyet sapması tablosunun şablon hali, tez çalışmasının sonunda yer alan EK-1'de verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında incelenen ihale dosyalarından elde edilen verilerin işlenmesinin amaçlandığı ikinci tablo ise "süresel sapma tablosu" olarak adlandırılmıştır. Süresel sapma tablosu;

○ Tanım no,	PROJENİN TEMEL ÖZELLİKLERİ
○ Projenin adı, ○ İhale tarihi,	
○ İşyeri teslim tarihi, ○ Fiilen işe başlama tarihi, ○ Sözleşmeye göre iş bitim tarihi, ○ İlave süreye göre iş bitim tarihi, ○ Gerçekleşen iş bitim tarihi,	PROJENİN SÜRESEL VERİLERİ
○ Öngörülen proje süresi (Gün), ○ Gerçekleşen proje süresi (Gün),	HESAPLANAN PROJE SÜRELERİ
○ Öngörülen proje süresine göre süresel sapma (Gün), ○ Öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı (%).	HESAPLANAN SÜRESEL SAPMA VERİLERİ

Olmak üzere 12 sütundan oluşturulmuştur.

Süresel sapma tablosunda yer alan ihale tarihi bilgisi, ihale onay belgesinden temin edilmiştir. İşyeri teslim tarihi ve fiilen işe başlama tarihi bilgileri, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından SGK'ya gönderilen yazıdan elde edilmiştir. Dosyaların çoğunda işyeri teslim tarihi, fiilen işe başlama tarihi olarak gösterilmiş olup istisnalar mevcuttur ve ilgili şehrin tablosuna işlenmiştir. Sözleşmeye göre iş bitim tarihi, ilave süreye göre iş bitim tarihi ve gerçekleşen iş bitim tarihi bilgileri ise kesin hesap fişinden temin edilmiştir. İşin süresi, bütün sözleşmelerde takvim günü olarak belirlenmiştir.

Süresel sapma tablosunda yer alan son dört sütun, yani; öngörülen proje süresi, gerçekleşen proje süresi, öngörülen proje süresine göre süresel sapma günü sayısı ve öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı, tabloya işlenmiş olan; işyeri teslim tarihi, fiilen işe başlama tarihi, sözleşmeye göre iş bitim tarihi ve gerçekleşen iş bitim tarihi verilerinden yola çıkılarak yapılan hesaplamalardan elde edilmiştir. Şöyle ki, öngörülen proje süresi; sözleşmeye göre iş bitim tarihi ile işyeri teslim tarihi arasında yer alan gün sayısı olarak, gerçekleşen proje süresi de; gerçekleşen iş bitim tarihi ile fiilen işe başlama tarihi arasında yer alan gün sayısı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra, öngörülen proje süresine göre süresel sapma günü sayısı; gerçekleşen proje süresi ile

öngörülen proje süresinin farkı olarak, öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı da; öngörülen proje süresine göre süresel sapma günü sayısının öngörülen proje süresine oranının yüzde ifadesi hesaplanarak doldurulmuştur. Bahsedilen ifadeler;

$$\text{Öngörülen Proje Süresi (Gün)} = \text{Sözleşmeye Göre İş Bitim Tarihi} - \text{İşyeri Teslim Tarihi} \quad (2.7)$$

$$\text{Gerçekleşen Proje Süresi (Gün)} = \text{Gerçekleşen İş Bitim Tarihi} - \text{Fiilen İşe Başlama Tarihi} \quad (2.8)$$

$$\text{Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma (Gün)} = \text{Gerçekleşen Proje Süresi (Gün)} - \text{Öngörülen Proje Süresi (Gün)} \quad (2.9)$$

$$\text{Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (\%)} = \left(\frac{\text{Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma (Gün)}}{\text{Öngörülen Proje Süresi (Gün)}} \right) \times 100 \quad (2.10)$$

Şeklinde formülize edilebilir. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde yapılan arşiv çalışmalarında kullanılan süresel sapma tablosunun şablon hali de, tez çalışmasının sonunda yer alan EK-2'de verilmiştir.

Maliyet sapması tablosu ile süresel sapma tablosunun ilk sütunlarında yer alan "tanım no" ifadesi, ilgili tabloların daha kolay anlaşılması, karmaşıklığın giderilmesi ve bazı bilgilerin sürekli tekrarlanmasını ortadan kaldırılmak amacı ile her bir inşaat projesi için farklı olacak şekilde oluşturulmuştur. Tanım no oluşturulurken, projenin ihale edildiği yılın son iki rakamı ile projeye ait sıra numarası ardı ardına yazılmıştır. Örneğin; herhangi bir şehirde 2005 yılında ihale edilen ve ilgili yılın üçüncü sırasında yer alan bir projenin tanım no'su, "05-03" olarak ifade edilmiştir. Bununla birlikte, arşiv çalışması sırasında, aynı oldukları için maliyet sapması tablosu ile süresel sapma tablosuna işlenmeyen bilgiler de bulunmaktadır. Örneğin; ihale onay belgesinden ve/veya sözleşmeden ihale usulü bilgileri elde edilmiş ancak ihale usulleri, 4734 sayılı "Kamu İhale Kanunu" nun 18-a ve 19. maddelerine göre, yani açık ihale usulü oldukları için

ilgili tablolarda tekrar edilmemişlerdir [97]. Yine ihale onay belgesinden ve/veya sözleşmeden sözleşme türü bilgileri incelenmiş ve bütün işlerin sözleşme türleri "anahtar teslimi usulü (götürü bedel)" olduğu için tekrarlanmamışlardır [97]. İncelenen ihale dosyalarından; zemin grubu ve zemin sınıfı bilgileri de temin edilmeye çalışılmış ancak dosyaların birçoğunda zemin etüt raporuna rastlanmamıştır.

Arşiv çalışması yapılan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin bazılarında, her bir yapım işinin ihale dosyasının numaralandırılmış olduğu ve her bir yapım işine ait iki farklı dosya bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu dosyalardan birincisi "M" ile sembolleştirilmiş olan "muhasabe dosyası", diğeri ise "H" ile gösterilen "hakediş dosyası"dır. Bahsi geçen sistemin, ihale dosyalarının birbirleri arasında ve kendi içlerinde karmaşıklığı önleyebilecek yapıda olduğu düşünülmektedir.

Bahsi geçen şehirlerde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşivlerinde yapılan çalışmaların tamamlanması çoğunlukla beş iş günü içerisinde tamamlanmıştır. Ancak çalışmaların ilerlemesi düşünüldüğü kadar kolay olmamıştır. İlgili şehirlerde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri'ne, T.C. Erciyes Üniversitesi Rektörlüğü tarafından, yapılan çalışmanın araştırma amaçlı bir çalışma olduğuna dair resmi yazılar yazılmış olsa da, maalesef bazı şehirlerde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde bazı kaygılar ve sıkıntılar yaşanmıştır. Neticede bu sıkıntılar aşıp arşiv çalışmaları tamamlanmıştır ancak bu defa da veri temini düşünüldüğü kadar pratik şekilde gerçekleştirilememiştir. Çünkü mevcut çalışma için oluşturulan maliyet sapması tablosu ile süresel sapma tablosunda yer alan verilerin sayısının çok olması ve ilgili kurumların bazılarının arşivlerinde pratik bir dosyalama sisteminin olmaması nedeniyle, verilerin elde edilip tablolara işlenmesi sürecinde aksamalar meydana gelmiştir. Ayrıca bazı ihale dosyalarında asansör teklifleri vb. tekliflerin çok fazla yer kapladığı ve bunun da gerekli olan verilere erişimi zorlaştırdığı ifade edilebilir.

Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehrin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından, mevcut kamu ihale kanununa göre ihale edilip 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 826 yapım işi projesinin ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen ihale dosyalarının coğrafi bölgelere göre dağılımı, Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Arşiv çalışmalarında incelenen ihale dosyası sayılarının coğrafi bölgelere göre dağılımı.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Bulunduğu Şehir	İncelenen İhale Dosyası Sayısı
1	Ege	İzmir	198
2	Marmara	Bursa	107
3	İç Anadolu	Ankara	80
4	Güneydoğu Anadolu	Gaziantep	185
5	Doğu Anadolu	Malatya	98
6	Akdeniz	Adana	70
7	Karadeniz	Trabzon	21
8		Samsun	67
TOPLAM			826

Tablo 2.1'e göre; coğrafi bölge bazında en fazla ihale dosyası Ege bölgesinde yer alan İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinde 198 adet olarak incelenirken, en az ihale dosyası Akdeniz bölgesinde yer alan Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinde 70 adet olarak incelenmiştir. Şehir bazında en az ihale dosyası ise Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinde 21 adet olarak incelenmiştir.

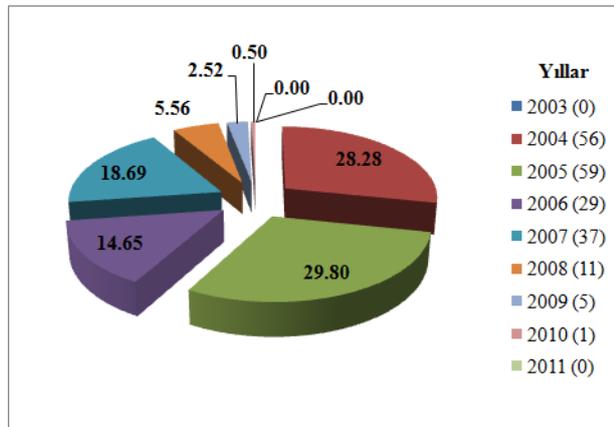
Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehrin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin görünümü ile ilgili kurumların arşivlerden temin edilen verilerle belirlenmiş olan; yapım işlerinin yıllara göre ve kullanım amaçlarına göre dağılımları, Şekil 2.2 ile Şekil 2.25 arasında sıralanmıştır.

İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.2'de verilmiştir [98].

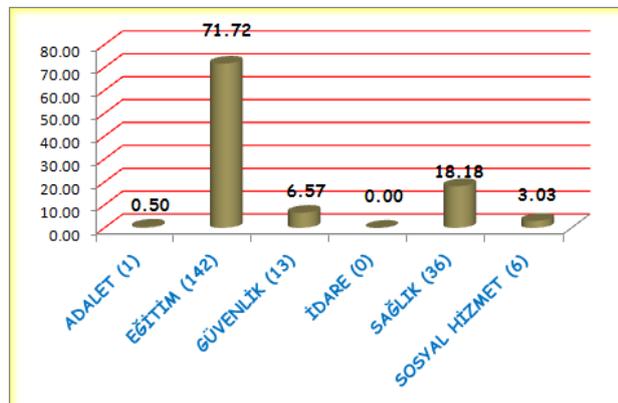


Şekil 2.2. İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2004-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 198 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.3'de verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.3. İzmir'deki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.4. İzmir'deki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

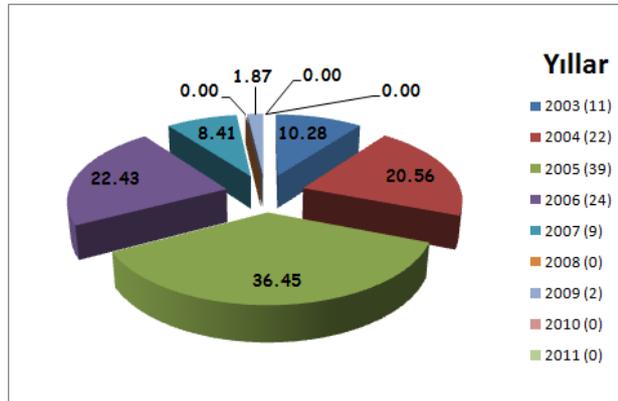
İzmir'de yıllara göre en fazla yapım işi, 2005 yılında 59 adet (%29,80) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %71,72'sinin (142 adet) eğitim amaçlı olduğu (okul, anaokulu, öğrenci yurdu vb.) görülmektedir. İkinci sırada ise sağlık amaçlı (sağlık ocağı, hastane vb.) yapılar, %18,18'lik oran ile yer almaktadır.

Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.5'de verilmiştir [99].

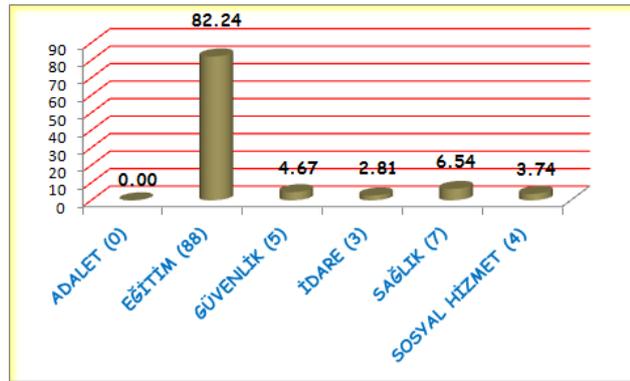


Şekil 2.5. Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2003-2009 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 107 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.6'da verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.6. Bursa'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.7. Bursa'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

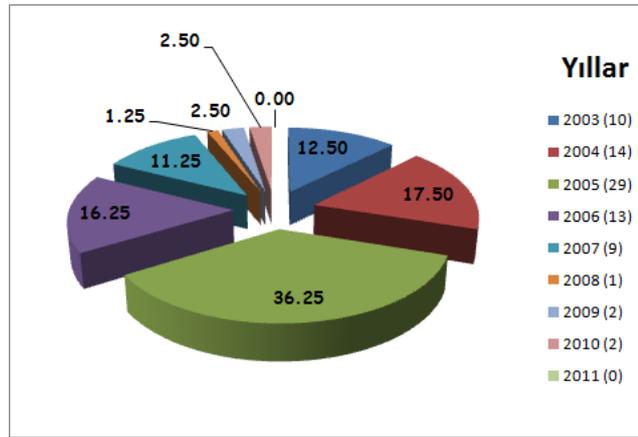
Bursa'da yıllara göre en fazla yapım işi, 2005 yılında 39 adet (%36,45) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %82,24'ünün (88 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. Sağlık amaçlı yapılar, %6,54'lük oran ile ikinci sırada yer almaktadır.

Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.8'de verilmiştir [100].

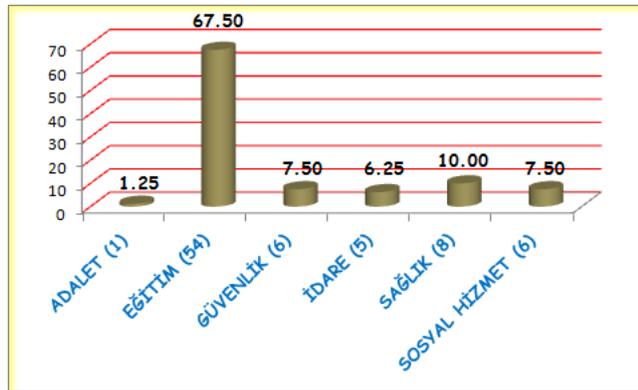


Şekil 2.8. Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 80 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.9'da verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Ankara'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.10. Ankara'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

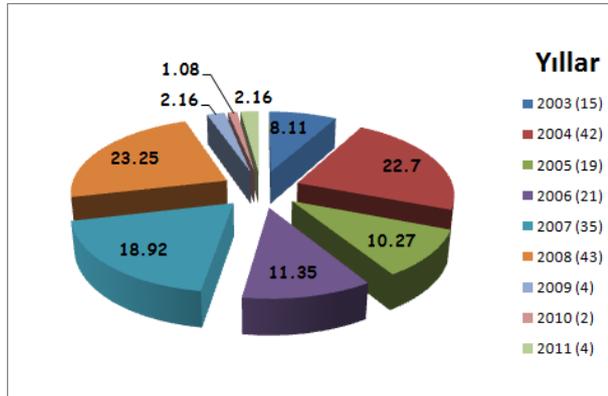
Ankara'da yıllara göre en fazla yapım işi, 2005 yılında 29 adet (%36,25) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %67,50'sinin (54 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. Sağlık amaçlı yapılar, %10,00'lük oran ile ikinci sırada yer almaktadır.

Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.11'de verilmiştir [101].

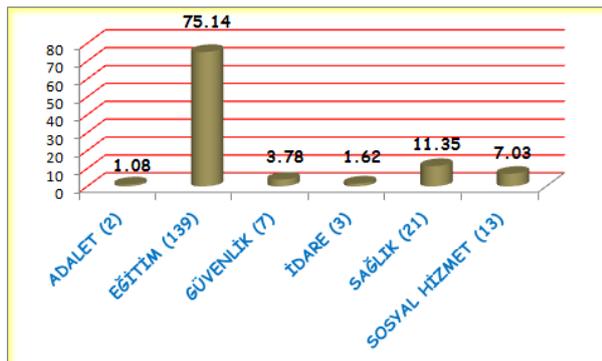


Şekil 2.11. Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 185 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.12'de verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.13'de görülmektedir.



Şekil 2.12. Gaziantep'teki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.13. Gaziantep'teki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

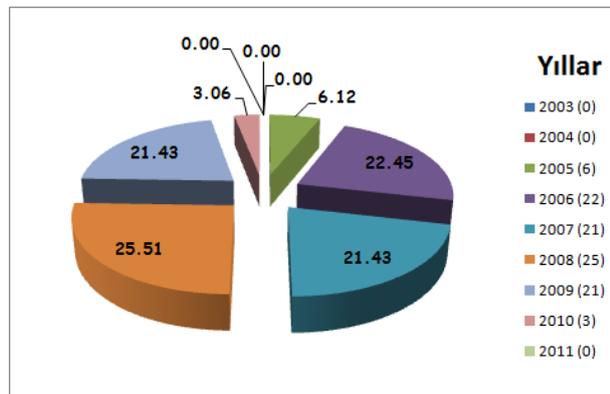
Gaziantep’te yıllara göre en fazla yapım işi, 2008 yılında 43 adet (%23,25) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %75,14’ünün (139 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. Sağlık amaçlı yapılar, %11,35’lik oran ile ikinci sırada yer almaktadır.

Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nün görünümü, Şekil 2.14’de verilmiştir [102].

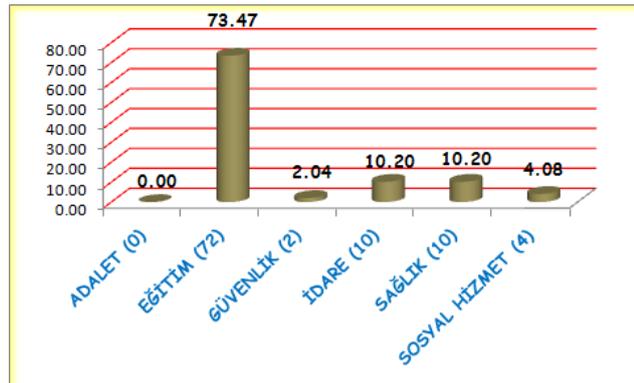


Şekil 2.14. Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden görünüm.

Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nde yapılan arşiv çalışmasında, 2005-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 98 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.15’de verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.16’da görülmektedir.



Şekil 2.15. Malatya’daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.16. Malatya'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

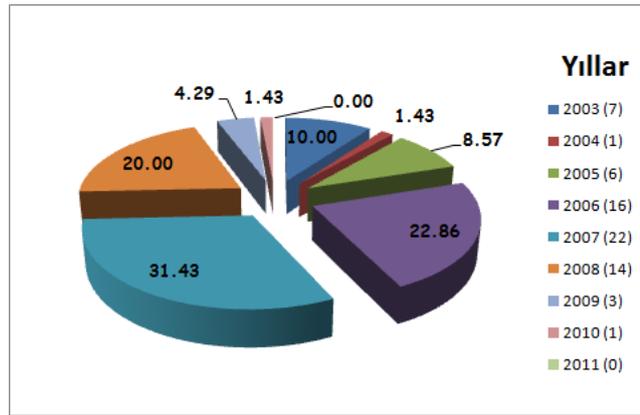
Malatya'da yıllara göre en fazla yapım işi, 2008 yılında 25 adet (%25,51) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %73,47'sinin (72 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. İdari ve sağlık amaçlı yapılar, %10,20'şerlik oran ile ikinci sırayı paylaşmaktadırlar.

Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.17'de verilmiştir [103].

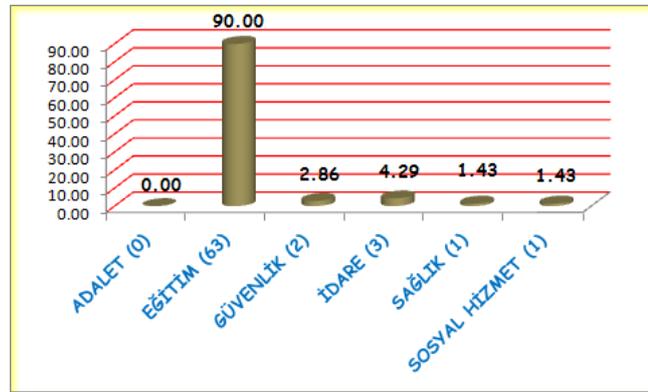


Şekil 2.17. Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 70 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.18'de verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.19'da görülmektedir.



Şekil 2.18. Adana'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.19. Adana'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

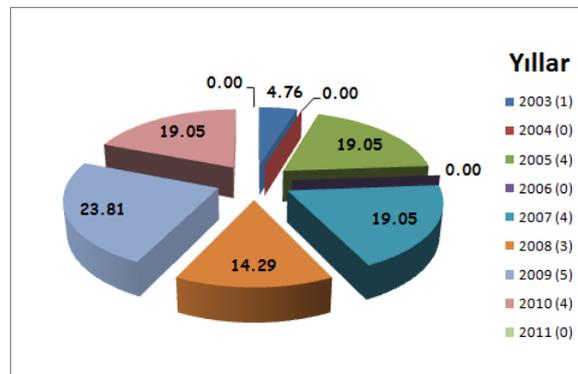
Adana'da yıllara göre en fazla yapım işi, 2008 yılında 22 adet (%31,43) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %90,00'ünün (63 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. İdari amaçlı yapılar, %4,29'luk oran ile ikinci sırada yer almaktadır.

Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.20'de verilmiştir [104].

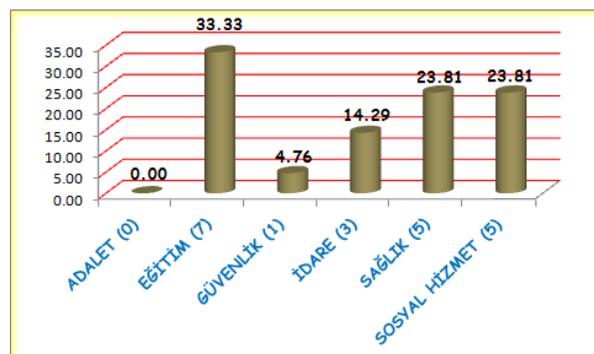


Şekil 2.20. Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 21 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.21'de verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.22'de görülmektedir.



Şekil 2.21. Trabzon'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.22. Trabzon'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

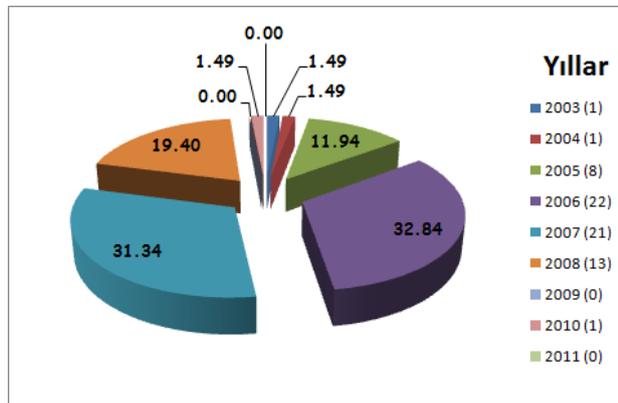
Trabzon'da yıllara göre en fazla yapım işi, 2009 yılında 5 adet (%23,81) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %33,33'ünün (7 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. Sağlık ve sosyal hizmet amaçlı yapılar da, %23,81'erlik oran ile ikinci sırayı paylaşmaktadırlar.

Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün görünümü, Şekil 2.23'de verilmiştir [105].

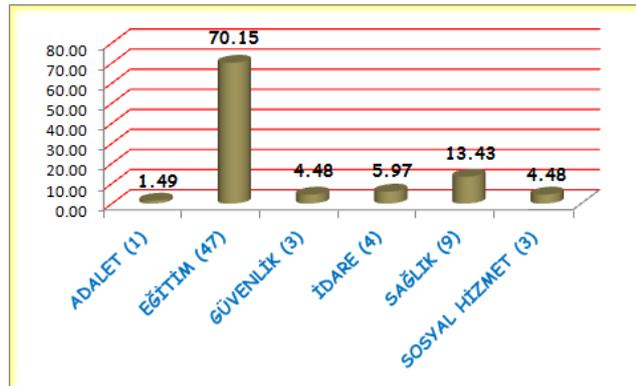


Şekil 2.23. Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden görünüm.

Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasında, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 67 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.24'de verilmiştir. Tamamlanan yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.25'de görülmektedir.



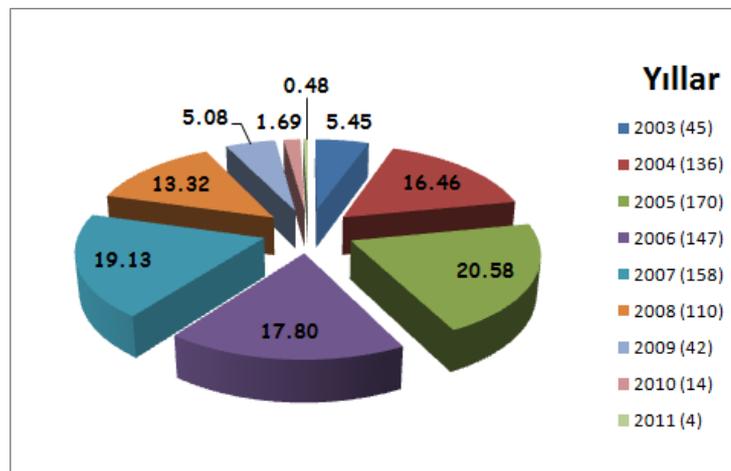
Şekil 2.24. Samsun'daki yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



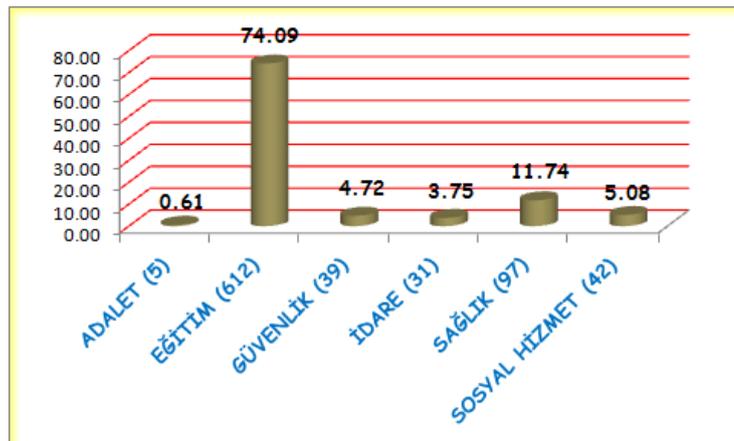
Şekil 2.25. Samsun'daki yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

Samsun'da yıllara göre en fazla yapım işi, 2006 yılında 22 adet (%32,84) ile gerçekleşmiştir. Kullanım amacına göre ise; yapım işlerinin %70,15'inin (47 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. Sağlık amaçlı yapılar da, %13,43'lük oran ile ikinci sırada yer almaktadır.

Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehrin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde yapılan arşiv çalışmaları sonucunda, her şehir için yukarıda ayrı ayrı verilmiş olan yapım işlerinin yıllara ve kullanım amaçlarına göre dağılımları, Türkiye geneli için toplu olarak değerlendirildiğinde ise; 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 826 kamu yapım işine ait ihale dosyasının incelendiği görülmektedir. İncelenen dosyaların yıllara göre dağılımı, Şekil 2.26'da verilmiştir. Yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.27'de görülmektedir.



Şekil 2.26. Türkiye genelinde incelenen yapım işlerinin yıllara göre dağılımı. (%)



Şekil 2.27. Türkiye genelinde incelenen yapım işlerinin kullanım amaçlarına göre dağılımı. (%)

Türkiye genelinde yıllara göre en fazla yapım işi, 2005 yılında 170 adet (%20,58) ile gerçekleşmiştir. 2005 yılını, %19,13 oranı ile 2007 yılı izlemektedir. 2006 ve 2004 yılları da, %17,80 ve %16,46 oranları ile üçüncü ve dördüncü sıralarda yer almışlardır. Buna göre, incelenen yapım işlerinin çoğunluğunu 2004-2007 yılları arasında inşa edilip tamamlanmış olan yapım işlerinin oluşturduğu söylenebilir.

Kullanım amaçlarına göre ise; yapım işlerinin %74,09'unun (612 adet) eğitim amaçlı olduğu görülmektedir. Sağlık amaçlı yapılar %11,74'lük oran ile ikinci sırada, sosyal hizmet amaçlı yapılar %5,08'lik oran ile üçüncü sırada yer almaktadır. Güvenlik amaçlı yapılar ile idari amaçlı yapılar da sahip oldukları %4,72 ve %3,75 ile dördüncü ve beşinci sırada yer almıştır. Altıncı ve son sırada ise %0,61'lik oran ile adalet amaçlı yapılar yer almaktadır.

Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde yapılan arşiv çalışmaları sonucunda, her bir coğrafi bölge için ve son olarak da Türkiye geneli için elde edilen diğer bütün bulgulara ve yapılan analizlerin tamamının sonuçları ile ilgili değerlendirmelere, mevcut tez çalışmasının 4. bölümünde (bulgular ve tartışma) yer verilmiştir.

2.2. Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) ile Yaklaşık Maliyet Hesabı

Gelişmekte olan ülkelerde kamu sektörü, her ne kadar büyüklük açısından hükümet politikasına göre düzensiz değişimler gösterse de inşaat sektörünün en önemli müşterisidir. İnşaat sektöründe yer alan yatırımcılar ve yükleniciler için de, çok basit durumlarda bile erken maliyet tahminleri gerekmektedir [28]. Mevcut tez çalışmasının birinci bölümünde de bahsedildiği üzere, yapım maliyeti tahmini için; istatistik-olasılık analizlerine dayalı yöntemler, benzer proje ile karşılaştırmaya dayalı yöntemler ve yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemler şeklinde sınıflandırmalar mevcut olup, bu yöntemler sürekli olarak yaygınlaştırılmakta ve geliştirilmektedir [21]. Bahsedilen yöntemler, başlangıçtan kullanım sürecine kadar bir dizi maliyet ve değer tekniklerini içermektedirler. Örneğin, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait veri tabanları;

- İnşaat birim fiyat analizleri,
- Yapı yaklaşık maliyetleri,

Olmak üzere, istatistik-olasılık analizleri temeline dayalı iki ana gruba ayrılmaktadır [18,28].

Bilindiği gibi, birim fiyatı oluşturan girdiler; işgücü, makine-teçhizat ve malzemedir [106]. İnşaat birim fiyat analizlerinde de; işgücü (düz işçi, duvar ustası, demir ustası vb.), makine-teçhizat (ekskavatör, buldozer, konkasör vb.) ve malzeme (tuğla, kum, çimento vb.) girdilerinin her biri için bir poz numarası belirlenerek o işin kısa bir tanımı yapılmış, işin birimi ve birim fiyatı tek tek belirlenip liste haline getirilmiştir. Bu liste, her yıl güncellenmekte olan bir veritabanı olarak düşünülebilir. Bahsedilen inşaat birim fiyat analizleri sistemi çerçevesinde; yapılacak iş için gerekli olan girdilerin miktarlarının hesaplanmasının (metraj) ardından, veritabanında yer alan birim fiyatlarla, hesaplanan miktarların çarpılması suretiyle girdilerin yaklaşık maliyetleri hesaplanabilmektedir. İhale öncesinde hesaplanan yaklaşık maliyet değeri üzerinden, isteklilerce yapılan tekliflerin uygun olup olmadığı (aşırı düşük teklif vb.) değerlendirilmektedir. Yapım işlerinin uygulama projesi evresine yönelik olarak hazırlanmış olan inşaat birim fiyat analizlerinin; teknolojik yeniliklere açık olmaması, birim fiyatların imalatın yapılacağı yer vb. faktörler gözetilmeden hazırlanmış olması, bazı yapım işlerinin poz numarasının ilgili veritabanı kapsamında yer almaması ve

güncelleme periyodunun ülkenin ekonomik koşullarına uygun olmaması gibi bazı temel problemlere sahip olduğu bilinmektedir [18].

Yine T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından, yapım işlerinin tasarım öncesi evresinde yapım maliyeti tahminine yönelik oluşturulmuş olan yapı yaklaşık maliyetleri de; yapının toplam inşaat alanı (m^2) ile yapının birim alana bağlı inşaat maliyetinin (TL/m^2) çarpılması suretiyle elde edilmektedir. Burada, birim alana bağlı inşaat maliyetleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek yayımlanan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" ile belirlenmektedir. Ancak sadece inşaat alanının dikkate alındığı ve "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) olarak da bilinen bu yöntem ile yapılan maliyet hesaplamalarında, tasarımları tamamen farklı olan iki bina için aynı maliyet değerleri elde edilebilmektedir. Örneğin; Tablo 2.2'de verilmiş olan iki ofis binasının, BAMY yaklaşımı ele alınarak yapılan maliyet hesapları aynı olabilmektedir [26,28].

Tablo 2.2. Toplam inşaat alanı aynı olan iki farklı ofis binası örneği. [26,28]

	Seçenek I	Seçenek II
Bina tipi	Ofis	Ofis
İnşaat yapılacağı yer	İstanbul	Van
Toplam inşaat alanı	13850 m^2	13850 m^2
Kat sayısı	Bodrum+10 Kat	5 Kat
Dış cephe kaplaması	Granit	Dış cephe boyası

Tablo 2.2'de verilen örneğe dayanılarak; İstanbul'da yapılması planlanan 11 katlı ve dış cephe kaplaması granit olan bir ofis ile Van'da yapılması planlanan 5 katlı ve dış cephe kaplaması boya olan bir ofisin, sadece toplam inşaat alanları aynı olduğu için, söz konusu iki ofisin BAMY yaklaşımı ile hesaplanacak olan yapım maliyetleri aynı olacaktır. Hâlbuki yapım maliyetleri; inşaatın yapıldığı yer ve zaman, zemin ve çevre koşulları, kat sayısı, yapı yüksekliği, yapı taban alanı, yapımda kullanılan malzeme ve teknoloji gibi, detayları tez çalışmasının birinci bölümünde de verilen ve maliyete önemli derecede etki edebilen birçok faktöre bağlıdır [6,26,28]. Bir başka ifadeyle, BAMY yaklaşımının en büyük eksikliği; bu yaklaşımla sadece inşaat alanına bağlı kalınarak yaklaşık yapım maliyetlerinin belirlenmeye çalışılmasıdır. Bununla birlikte,

Türkiye’de yapım maliyeti tahmini için veri üreten ve bu verileri kullanıcılara sunan diğer bir kurumun da Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) olduğu bilinmektedir [18]. "Bina inşaatı maliyet endeksi" verileri, TÜİK tarafından düzenli olarak yayımlanmaktadır. Ancak bahsedilen endeks verileri ile sadece maliyet değerleri güncellenebilmektedir [18]. Ayrıca İller Bankası Genel Müdürlüğü gibi kamu kurumlarının da kendi yapım işleriyle ilgili maliyet veri tabanları bulunmaktadır. Ancak bu veri tabanlarındaki bina inşaat maliyeti bilgileri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın üretmiş olduğu imalatlara dayalı inşaat birim fiyat analizleriyle benzer yapıdadır. Bunun yanısıra; inşaat hacmi (m³), maliyet/yatak sayısı (hastane) ve maliyet/çalışan kişi sayısı (ofis, fabrika) gibi maliyet tahmin yöntemleri de kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemlerin doğruluk oranlarının \pm %20–%30 mertebesinde olduğu ifade edilmektedir. Bu durumda, Türkiye’de tasarım öncesi evrede maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılması için ihtiyaç duyulan hesap yönteminin nasıl olması gerektiği önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır [6,26].

Bu tez çalışmasında da; inşaatın yapıldığı yer ve zaman, çevre koşulları vb. unsurlar dikkate alındığında yanıtıcı sonuçlara ulaşabilen ancak günümüz Türkiye’inde yapı yaklaşık maliyeti tahmini için bir o kadar da sıklıkla kullanılmakta olan BAMY yaklaşımı, öncelikle ele alınmıştır. BAMY yaklaşımının tez çalışmasına dâhil edilmesinin nedeni; ülkemizde sıklıkla kullanılmakta olan BAMY yaklaşımının gerçekçi yaklaşık maliyet tahmini yapıp yapmadığının belirlenmesinin yanında, BAMY yaklaşımından daha etkin ve geçerli bir yapım maliyeti tahmin modelinin geliştirilip geliştirilemeyeceğinin irdelenmesi, olarak gösterilebilir. BAMY yaklaşımının tez çalışması kapsamına uygulanması ile ilgili bilgiler, tez çalışmasının üçüncü bölümü olan "Uygulama" bölümünde verilmiştir.

2.3. Yapay Zekâ (AI) Yöntemleri ile Yapım Maliyeti, Maliyet Sapması ve Süresel Sapmanın Modellenmesi

İnsanoğlu, tarih boyunca hayatını kolaylaştıracak icatlar peşinde koşmuştur. İnsanlık ilerledikçe icatlar gelişmiş, icatlar geliştikçe insanlık ilerlemiştir. Buluşların ve icatların temel çıkış noktasını ise insanoğlunun ihtiyaçları oluşturmaktadır. Bu noktada insanoğlu, bedeninin fiziksel/zihinsel yönden sınırlarını alet, araç, makine vb. teçhizatları geliştirerek sürekli genişletmiştir [107]. Teknolojik gelişmelerin hızla

ilerlemekte olduğu günümüzde ise insanoğlunun, ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik çalışmaları tatminkâr boyutlara ulaşmıştır [108].

İnsanoğlu; karar verme, muhakeme ve idrak etme gibi çok karmaşık işlemleri çok kısa sürede yapabiliyorken, sayısal işlemlerde aynı başarıyı gösterememektedir. Bu nedenle hesap makineleri, insanoğlunun eksik olan bu özelliğine destek olmak üzere geliştirilmiş ilk bilgisayarlar olarak kabul edilmektedir. Günümüz bilgisayarları çok karmaşık matematiksel işlemleri bile saliselerle ölçülebilecek kadar kısa sürelerde yapabilmektedir. Ancak bilgisayarların bu işlem kapasitesi, kullanıcı tarafından verilen talimatları gerçekleştirmekle sınırlıdır. İnsana ait olan; içinde bulunulan durumu idrak etme ve buna göre karar verme işlemlerini, bilgisayarlar ancak daha önceden tanımlanmış sınırlı sayıda durum içinden seçim yapmak suretiyle gerçekleştirebilmektedir. Bu yönü ile bilgisayarlar, insan beyninin çok gerisindedir. Yapay zekâ (artificial intelligence, AI) kavramı, bilgisayarların bu eksikliğini gidermek üzere ortaya atılmış bir kavram olarak kabul edilmektedir. Bu kavramın temelinde, insan gibi düşünebilen, yorum yapabilen ve karar verebilen sistem ve algoritmaların geliştirilmesi vardır [107]. Yapay zekâ kavramının ortaya çıkmasıyla birlikte insanoğlunun en önemli özelliklerinin başında gelen düşünebilme ve öğrenebilme yetenekleri başlıca araştırma konularının başında gelmeye başlamıştır. Özellikle son yıllarda bilgisayar kullanımının hızla artması ve yaygınlaşması sonucunda yapay zekâ çalışmaları da büyük bir ivme kazanmıştır [108]. Yapay zekâ hakkında detaylı bilgi verilmeden önce, zekâ kavramının irdelenmesi doğru olacaktır.

Zekâ (intellectus) kavramının, genel anlamda birçok tanımı yapılmıştır [28]. Zekâ, kısaca; "yeni bir düzeneği veya kuralı keşfetme ya da bir tahmin yürütme ile ilgili faaliyet" olarak tanımlanabilir [28]. Zekâ, bir başka tanıma göre de; "cevap vermede, muhtemel çözümleri inceden inceye aramadaki çabukluk ve bir problemin evreleri arasındaki yeni ilişkileri anlayabilme kapasitesidir". Zekâ tanımı, farklı meslek grupları için farklılaşabilmektedir. Örneğin; biyologlar, zekâyı çevreye uyum kabiliyeti olarak görürken, eğitimciler öğrenme, psikologlar ilişkileri anlama, bilgisayarlılar bilgiyi işleme kabiliyeti şeklinde değerlendirmektedirler [28]. Ancak şuur, bilinçaltı vb. açık uçlu bir ifade olduğu için, zekânın evrensel bir tanımı yapılamamıştır [28,109].

Yapay zekâ ise; bilgi ve davranışa dayalı sistemler oluşturur ve zeki davranışlar üzerine araştırmalar yapar [28]. Yapay zekâ, kısaca, "insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak" olarak tanımlanabilir [28,50]. Bir başka ifadeyle yapay zekâ, programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimidir [82]. Yapay zekâ, daha geniş bir tanıma göre ise "bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekâsına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır" [28,50,109]. Yapay zekâ, özetle, "insanın düşünme, anlama, kavrama, iletişim kurma, yorumlama ve öğrenme yapılarını anlayarak, benzerlerini ortaya çıkaracak yeni yaklaşımların bilgisayar yardımıyla geliştirilmesi ve insanlığın hizmetine sunulabilmesi" olarak tanımlanabilir [82,110].

Yapay zekâ, son yarım yüzyıldır bilim insanlarının dikkatini yoğunlaştırdığı başlıca konulardan birisi haline gelmiştir. Yapay zekânın amacı, insan gibi düşünebilen bilgisayar teknolojisi yaratmaktır [107]. İnsan davranışlarının modellenmesi fikri üzerine kurulu olan yapay zekâ bilimi, bilgisayar programlarına olaylar hakkında bilgi toplama, olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilme ve karar verebilme yeteneği kazandırmıştır [11]. Çözümü aranan problemlerin matematik modeli olmasa dahi, bilgisayar programları tarafından sezgisel yaklaşımlar kullanılarak bu problemlere çözüm getirilebilmektedir [11].

Yapay zekâ yaklaşımının amaçları;

- İnsan beyninin fonksiyonlarını bilgisayar modelleri yardımıyla anlamaya çalışmak,
- İnsanların sahip olduğu zihinsel yetenekleri, bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji, yöntem ve teknikleri araştırmak,
- Bu öğrenme yöntemlerini biçimsel hale getirmek ve bilgisayarlarda bilgi sistemleri halinde uygulamak,
- İnsanların bilgisayar kullanımını kolaylaştıracak insan/bilgisayar arabirimleri geliştirmek,
- Belli bir uzmanlık alanı içindeki bilgileri bir bilgi sistemi (veya uzman sistem) halinde toplamak,

- Geleceğin bilgi toplumunun kurulmasında önemli rol oynayacak genel bilgi sistemleri geliştirmek,
- Yapay zekâ iş yardımcıları ve zeki robot timleri geliştirmek,
- Bilimsel araştırma ve buluşlarda yararlanmak üzere, araştırma yardımcıları geliştirmek,

Şeklinde sıralanabilir [28].

Yapay Zekânın Tarihçesi

Beynin davranışlarını tamamıyla modelleyebilmek amacıyla, fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği tezinden yola çıkılarak, geçmişten günümüze çeşitli yapay zekâ modelleri geliştirilmiştir [111,112]. Yapay zekâ (AI), günümüzde birçok yapay sinir hüresini belirli ölçütlerde bir araya getirip bir işlevin yürütülmesini sağlayan bir bilim dalı haline gelmiştir [111]. Yapay zekâ kavramının tarihsel gelişimine katkı sağladığı düşünülen temel çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Yapay zekâ konusundaki ilk çalışma, McCulloch ve Pitts (1943) tarafından, *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity* adlı bir makale ile gerçekleştirilmiştir [113]. Yapılan bu çalışmanın, ilk dijital bilgisayarlara öncülük ettiği kabul edilmektedir [114]. Çünkü araştırmacılar, bu çalışmaları ile herhangi bir hesaplanabilir fonksiyonun, sinir hücrelerinden oluşan ağlarla hesaplanabileceğini ve mantıksal işlemlerin gerçekleştirilebileceğini göstermişlerdir. Bu ağ yapılarının uygun şekilde tanımlanmaları halinde, öğrenme becerisi kazanabilecekleri de ileri sürülmüştür [113].

Hebb (1949), yapay zekâ yaklaşımlarındaki öğrenme kavramı için başlangıç noktası sayılabilecek bir kural geliştirmiştir. Geliştirilen öğrenme kuralı, sinir hücreleri arasındaki bağlantıların şiddetlerini değiştirme yetisine sahip olup, bu şekilde, öğrenebilen yapay sinir ağları oluşturmak da mümkün olmuştur [28,109,115]. Bahsedilen öğrenme kuralı, bugün geçerli olan öğrenme kurallarından birçoğunun temelini oluşturmaktadır [115].

1951'de, Minsky ve Edmonds tarafından ilk yapay sinir ağı temelli bilgisayar olan "SNARC" geliştirilmiştir [28,109]. Yine 1950'lerde, Shannon ve Turing tarafından, bilgisayarlar için satranç programları yazılmıştır [28,109].

Newel ve Simon (1955), birçok bilim adamı tarafından ilk yapay zekâ programı olarak kabul edilen *Mantık Teorisyeni* adlı programı geliştirmişlerdir [116]. Her bir problemi bir ağaç diyagramı olarak ele alan program, problemi doğru çözümü vermesi en olası dalları seçerek çözüme esasına dayanmaktadır. Mantık teorisyeni, yapay zekâ alanındaki en önemli kilometre taşlarından birisi olarak tarihe geçmiştir [116].

ABD'de bulunan Dartmouth College'da düzenlenen ilk yapay zekâ konferansında (1956), modern yapay zekâ biliminin temelleri atılmıştır [107,109,114]. Konferansta, öğrenmenin ve zekânın herhangi bir özelliğinin simülasyonu yapılmış ve bilgisayarların aktif olarak nasıl kullanılabilceği tartışılmıştır [114]. Bu konferansa katılan bilim insanları, uzun süre yapay zekâ çalışmalarının liderliğini yürütmüşlerdir. Bu konferansı takip eden yedi yıl içerisinde, yapay zekâ çalışmaları büyük bir ivme kazanmıştır [107].

Rosenblatt (1958), geliştirdiği *The Perceptron* (algılayıcı) ile yapay zekâ alanında büyük çıkışa imza atmıştır [117]. Algılayıcı; beyin işlevlerini modelleyebilmek amacıyla yapılan çalışmalar neticesinde ortaya çıkan tek tabakalı, eğitilebilen ve tek çıktıya sahip bir ağ modeli olarak tanımlanmıştır [117].

McCarthy (1958), yapay zekâ tarihinde devrim sayılacak bir çalışmayı, günümüzde hala kullanılmakta olan "LISP" programlamayı tanıtmıştır [107].

Widrow (1959), *Adaptif Lineer Elemanı* (*Adaptive Linear Neuron-Adaline*) kuramını geliştirmiştir. Widrow, aynı zamanda telefon hatları üzerindeki ekoları elimine etmeye yarayan adaptif filtreleri geliştirmek için adaline algoritmasını kullanmıştır ve bu çalışma ile birlikte yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımının ilk defa gerçek bir probleme uygulandığı kabul edilmiştir [114].

Zadeh (1965), bulanık mantık (FL) ile ilgili ilk bilgileri ortaya çıkarmış ve bulanık mantık yaklaşımının öncüsü olarak kabul edilmiştir [118]. Bulanık mantık fikri ilk defa

ortaya atıldığı bu dönemde, batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ve yoğun eleştiri almıştır [119]. Ancak 1970'li yıllarda, özellikle Japonya'da önem verilen bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir [119].

Yapay zekâ için en ilginç gelişmelerden birisi, Minsky ve Papert (1969)'in *Perceptrons (Algılayıcılar)* adlı kitabıdır. Bu kitapta, tek tabakalı yapay sinir ağları algılayıcılarının temel olarak bazı problemler için yeterli olmadığı, meşhur "XOR problemi" ile ispatlanmıştır. Bu iddianın ardından birçok araştırmacı yapay sinir ağları konusunda çalışmaktan vazgeçmiştir. Bu da doğal olarak yapay sinir ağları konusundaki çalışmaların bir süre durma noktasına gelmesine sebebiyet vermiştir [109,120]. Esasen, 1960'lı yıllarda yapay zekâ alanına olan yoğun ilgi ve ortaya koyulan çalışmalar, bu alanda çalışan birçok bilim insanının, yapay zekâ çalışmalarında karşılaştıkları zorlukları tahmin edememelerini de beraberinde getirmiştir [107]. Bu nedenle, birçok bilim insanı, yapay zekânın geleceği ile hayale varan iyimserliğe kapılmış, 1980'li yıllara gelindiğinde yapay zekâ yaratma probleminin tamamen çözülmüş olacağını ve makinelerin, insanların yapabildiği her işi yapabileceğini öngörmüşlerdir [107].

Her sorunu çözecek genel amaçlı program yerine belirli bir uzmanlık alanındaki bilgiyle donatılmış programlar kullanma fikri, yapay zekâ alanında yeniden bir canlanmaya yol açmıştır [28,109]. Kısa sürede, "uzman sistemler" adı verilen bir yöntem bilim gelişmiştir. Fakat burada çok sık rastlanan tipik bir durum; bir otomobilin tamiri için önerilerde bulunan uzman sistem programının otomobilin ne işe yaradığından haberi olmaması, şeklinde ifade edilmiştir [28,109].

Mamdani ve Assilian (1975), yaptıkları gerçek bir kontrol uygulaması ile bulanık kavram ve sistemlerin, dünyanın değişik araştırma merkezlerinin ilgisini çekmesini sağlamışlardır [121]. Çünkü ilk defa bir buhar makinesi kontrolü, bulanık sistem ile modellenerek yapılmıştır [121].

1980'li yıllar, yirmi birinci yüzyılın anahtar bilimi olan yapay zekâ biliminin ve yapay zekâ çeşitlerinin gerçek hayatla bütünleştiği ve günümüze kadar devam eden sürecin başlangıcı kabul edilebilir [107].

Rumelhart *et al.* (1982), yapay sinir ağlarının gelişimi açısından bir dönüm noktası olan *Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron-MLP)* modelini geliştirmişlerdir. Bu model, yapay sinir ağlarının tekrar ilgi çekici bir konu haline gelmesine neden olmuştur. Çünkü bu model ile tek katmanlı algılayıcıların çözemediği problemler de çözülebilir hale gelmiş ve yapay sinir ağlarının başarısız bir metot olduğunu iddia eden bütün ifadeler boşa çıkarılmıştır [120].

Hopfield (1982), moleküler biyolojiden beyin kuramcılığına geçiş yapan bir model geliştirmiştir. Günümüzde kendi adıyla anılan eğrisel bir ağ yapısı mevcuttur ve bu yapı birçok alanda uygulanmıştır. Hopfield tarafından yayınlanan çalışmalar, yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımının geliştirilebileceğini ve çözümü zor problemlere çözüm üretebileceğini göstermiştir [122].

Kohonen (1982), beyindeki oluşumların karşılaştırmalı haritasını çıkarabilmek için farklı bir yaklaşım niteliğindeki *Öz Düzenleyici Haritalar (Self Organizing Maps-SOM)* konusundaki çalışmasını ortaya koymuştur [123].

Sugeno (1985), Takagi ve Sugeno (1985) ile Sugeno ve Kang (1988); genel bulanık sistemdeki bazı sorunları bir dereceye kadar ortadan kaldıran ve *Takagi-Sugeno-Kang (TSK) modeli* adı verilen bir bulanık sistem geliştirmişlerdir [124,125,126]. Bu sistemde; veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonucunda bulunan çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklinde ifade edilmektedir [127].

1987 yılında düzenlenen ilk uluslararası yapay sinir ağları konferansı, yaklaşık 1800 bilim insanının katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu ilk konferans sonrasında, yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımına yönelik uygulamalar artmaya başlamıştır [128].

Broomhead ve Lowe (1988), çok katmanlı algılayıcı (MLP) modeline alternatif olarak *Radyal Tabanlı Fonksiyon (Radial Basis Function-RBF)* modelini geliştirmişler ve özellikle filtreleme problemlerinde oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [129].

1990'lı yıllar ise yapay zekânın günümüzde kazandığı büyük ivmenin başlangıcına vesile olmuştur. Yapay zekâ (AI) yaklaşımları, teknolojik gelişmelere paralel olarak, günümüzde bilimin her alanında kullanım alanı bulmakta ve ortaya atılan yeni yaklaşımlarla da güncelliğini kaybetmemektedir.

Yapay Zekâ Metotları

Yapay zekâ metotları, ağırlıklı olarak geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısında, insan beyni üzerinde yapılmış olan araştırmalara paralel olarak insan beyninin çalışma prensipleri üzerine geliştirilmiş yöntemlerdir. Yapay zekâ metotları;

- Yapay sinir ağları (ANN),
- Bulanık mantık (FL),
- ANN ve FL metotlarının birlikte değerlendirildiği hibrit metotlar (ANFIS),
- Sezgisel algoritmalar (genetik algoritma, tabu arama, karınca algoritması, ısıl işlemler, bağışıklık sistemi vb.) ve
- Uzman sistemler,

Olmak üzere beş gruptan oluşmaktadır [28,82,110,130]. Bazı kaynaklarda, yapay zekâ metotlarının; yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık (FL), genetik algoritma (GA) ve uzman sistemler olmak üzere dört ana başlık altında toplandığına da rastlanmıştır [107].

Bahsedilen yapay zekâ metotlarının, son 25-30 yıl içerisinde, dünya genelinde birçok farklı bilim alanında olduğu gibi, yapı ve proje yönetimi alanındaki kullanılabilirliği de araştırmacılar tarafından bilimsel çalışmalara konu edilmiştir [38,131]. Oluşturulan yapay zekâ modelleri, ANN ve FL sistemleri ile eğitilerek, geliştirilen ANN ve FL sistemlerinin geleneksel yöntemlerden daha küçük hata tahminleri yapması amaçlanmıştır [132]. Bunun yanısıra, inşaat proje yönetiminin alt dalları olan; risk yönetimi, maliyet yönetimi, süre yönetimi, tedarik zinciri yönetimi, sözleşme yönetimi gibi alanlarda da yapay zekâ metotlarına ilişkin muhtelif uygulamalar yapılmıştır [38].

Bu tez çalışmasında da; Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinde tamamlanmış olan kamu yapım işlerinin; kesin hesap tutarlarının, maliyet sapmalarının ve süresel sapmalarının önceden tahmin edilebilmesi amacıyla; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve

süresel sapma modeli olmak üzere üç farklı model önerilmiştir. Önerilen bu modeller, yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF)'un yanısıra, yapay sinir ağları (ANN) ve bulanık mantık (FL) yaklaşımlarının birlikte değerlendirildiği hibrit metotlardan (ANFIS) olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ile analiz edilmiştir. Bahsedilen ANN yaklaşımları ve hibrit ANFIS yaklaşımları ile ilgili detaylı bilgiye, aşağıda yer verilmiştir.

1. Yapay Sinir Ağları (ANN) Yaklaşımı

İnsan beyninin düşünme, hatırlama ve problem çözme özelliğinin bilim adamlarınca bilgisayar ortamında modellenmeye çalışılması, yapay sinir ağları (ANN) kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur [114]. ANN, insan beyninin gizemli ve karmaşık hesap yapabilme özelliğinden yararlanılarak geliştirilmiş, beynin işleyişini taklit eden bir yapay zekâ sistemidir [133].

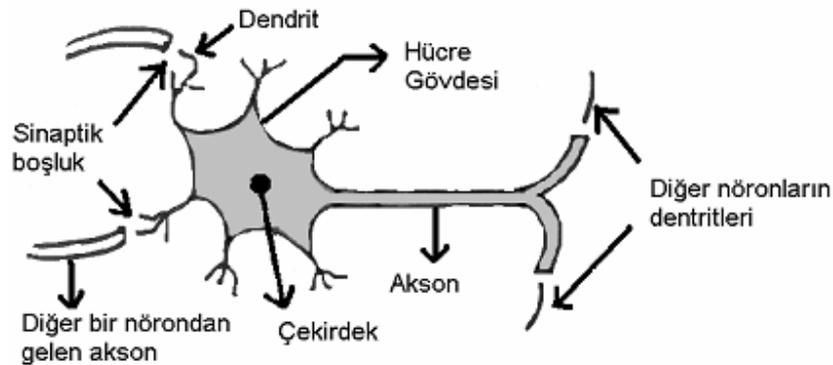
ANN, kısaca, "biyolojik sinir ağlarının karakteristiklerine benzer karakteristiklere sahip bir bilgi işleme sistemi" olarak tanımlanabilir [134]. ANN, "insana özgü düşünce ve öğrenme sisteminin taklit edilerek, mevcut verilerden öğrenen ve daha önce karşılaşılmamış durumlarda uygun çıktılar üretecek şekilde yapılandırılan bir modeldir" [107]. ANN, "farklı ağırlıklarla birbirine bağlanmış çok sayıda işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemler" olarak da tanımlanabilir [135,136]. ANN, "problemin girdi ve çıktıları arasındaki salt teorik modeli göz ardı ederek, bir seri ölçülmüş kaydedilmiş girdi ve çıktı nümerik değerlerini kullanarak, bunları iliştiiren bir kapalı-kutu modelindeki ağırlık katsayılarını bulup, girdi-çıkıtı işlemini öğrenen bir sistem ile çıktı büyüklüklerini girdi büyüklüklerine bağlayan bir modeldir" [133].

ANN, insan beyninden esinlenilerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi uğraşısı sonucu ortaya çıkmıştır [107]. İnsanoğlunun düşünme ve gözlem yapma yeteneğini gerektiren problemlere çözüm üretebiliyor olmasının temel nedeni, insan beyninin sahip olduğu ve kullanabildiği yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir [108]. Bu özellikler bilgisayar ortamında modellenerek ANN yaklaşımına kazandırılmıştır. ANN uygulamaları, ilk olarak beyni oluşturan biyolojik birimler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış, daha

sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine paralel olarak birçok alanda kullanılır hale gelmiştir [107]. ANN'ye kazandırılan öğrenme ve doğrusal olsun ya da olmasın olayların mekanizmasındaki girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi kurabilme yeteneği, onun daha önce görmediği olaylara çözümler üretebilmesini sağlamıştır. Böylece, daha önce hiç görmediği olaylara çözümler üretebiliyor olması, bir başka deyişle tahmin edebilme kapasitesi, ANN yaklaşımının kullanılabilirliğinin temelini oluşturmuştur.

Biyolojik sinir sistemlerinin temel elemanı olan sinir hücreleri (nöronlar), dört bileşenden oluşur [119,137]. Bu bileşenler; dendrit (giriş), çekirdek (gövde), akson (çıkış) ve bağlantılar (sinaps) ve olarak sıralanabilir [137]. Bazı kaynaklarda, biyolojik bir nöronun üç tip bileşeni olduğuna dair ifadeler de rastlanmıştır olup, bileşenler; dendrit, soma ve akson olarak sıralanmıştır [134].

Dendrit olarak bilinen yapı, sinir hücrelerinin ucunda yer alıp, ağaç kökü gibi bir görüntüye sahiptir. Dendritler temel olarak bağlı oldukları nöron veya duyu organlarından aldıkları sinyalleri çekirdeğe iletme görevini gerçekleştirirler. Çekirdek de dendrit vasıtasıyla gelen sinyalleri bir araya toplayıp aksonlara iletir. Toplanan tüm bu sinyaller akson vasıtasıyla işlenerek nöronun diğer ucunda bulunan bağlantılara gönderilir ve bu bağlantılar üretilmiş olan bu yeni sinyalleri bir diğer nörona iletme görevini tamamlamış olur. Şekil 2.28'de, biyolojik bir nöronun yapısı gösterilmiştir [134].



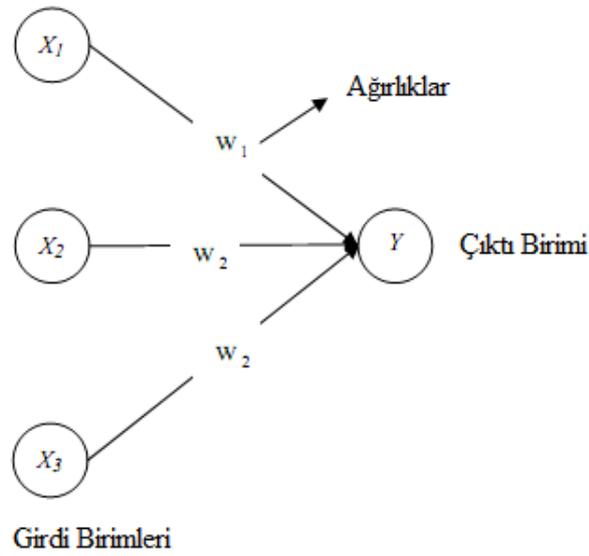
Şekil 2.28. Biyolojik bir nöronun yapısı. [134]

ANN işlem elemanlarının bazı önemli özellikleri, biyolojik nöronların özelliklerini akla getirmektedir. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir [134];

- Her bir işlem elemanının, yani her bir nöronun farklı sinyaller alabilmesi,
- Alınan sinyallerin, sinapstaki ağırlıklar tarafından değiştirilebilmesi,
- İşlem elemanlarının, yani nöronların, ağırlıklı girdileri toplaması,
- Uygun koşullar altında, yani yeterli girdi sağlandığında, işlem elemanının çıkış sinyalini aktarabilmesi,
- Belirli bir nöronun çıkışının, diğer birçok nörona gidebilmesi.

Sinir sisteminde gerçekleşen giriş sinyallerinin alınması, alınan sinyallerin toplanıp işlenmesi ve çıktılarının iletilmesi şeklindeki faaliyetler ANN sisteminde de gerçekleşmektedir [108,137]. ANN sistemini oluşturan yapay sinir hücreleri, tek başlarına ele alındıklarında oldukça basit işlevleri olan işlemci elemanlardır [114]. ANN sisteminde, yapay sinir hücrelerini oluşturan her nöronun bir iç durumu vardır ve bu iç durum aktivasyon (transfer) ya da aktivasyon düzeyi olarak adlandırılır [134]. Bu düzey, alınan giriş değerlerinin bir fonksiyonudur. Herhangi bir nöron, kendi aktivasyonun, genelde sinyal şeklinde diğer nöronlara gönderir. Ama bu sinyal birden fazla nörona aynı anda gönderilebilir.

Örnek olarak, Şekil 2.29'da verilen Y nöronu göz önüne alınırsa; bahsedilen Y nöronu, X_1 , X_2 ve X_3 nöronlarından giriş sinyallerini alır. Bu nöronların aktivasyonları, bir başka ifadeyle çıkış sinyalleri, sırasıyla; x_1 , x_2 ve x_3 'tür. Bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ise X_1 , X_2 ve X_3 nöronlarından Y nöronuna doğru sırasıyla w_1 , w_2 ve w_3 'tür [134].



Şekil 2.29. Basit bir yapay nöron yapısı. [134]

Ağ girişi olan y_{toplam} değeri, X_1 , X_2 ve X_3 'den Y 'ye giden ağırlıklı sinyallerin toplamıdır. y_{toplam} değeri, şu şekilde hesaplanır;

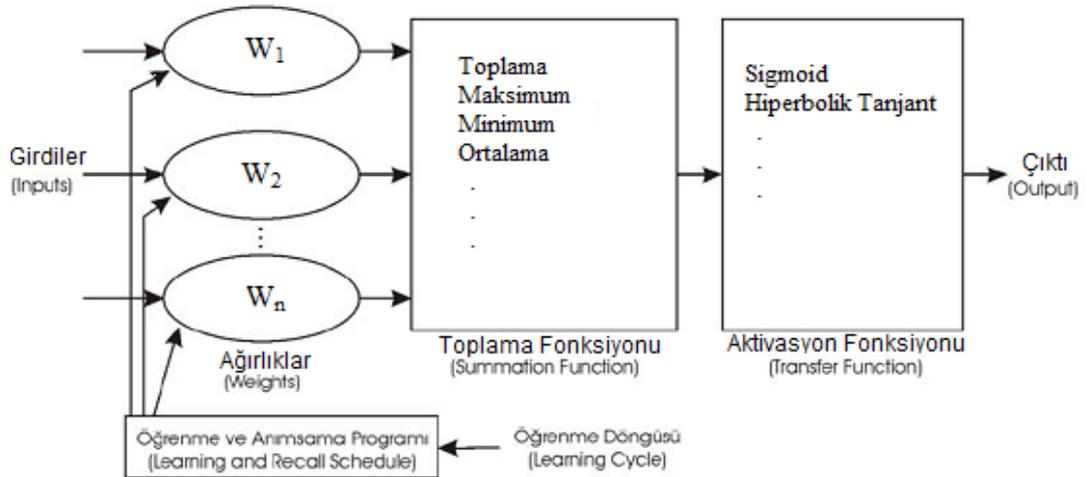
$$y_{toplam} = w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 \quad (2.11)$$

Y nöronunun aktivasyonu olan y ise ağa giriş değerlerinin toplamının bir fonksiyonu olarak;

$$y = f(y_{toplam}) \quad (2.12)$$

Şeklinde tanımlanır [134].

İncelenen basit nöron yapısına dayanılarak, bir yapay nöronun; girdiler (inputs), ağırlıklar, toplama (birleştirme) fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıktı (output) olmak üzere beş bölümden oluştuğu ifade edilebilir [137]. Anlatılanlar ışığında, yapay nöronun detaylı çalışma prensibi de, Şekil 2.30'da verilmiştir.



Şekil 2.30. Yapay nöronun detaylı yapısı. [137]

Detaylı yapay nöron sisteminde, girdiler; ağa dışarıdan verilen bilgilerdir ve nöronlar tarafından alınan bilgileri biyolojik sinir hücrelerinde olduğu gibi bir araya gelebilmek üzere nöron çekirdeğine gönderirler [137]. Ağırlıklar; hücreler arasındaki bağlantıların sayısal değerini belirtmektedir. Bir hücre üzerine gelen bilginin sistem içerisindeki değerini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Yapay sinir hücresine gelen bilgiler, nöronlar üzerinden çekirdeğe ulaşmadan önce sahip oldukları bağlantıların ağırlık değeri ile çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu şekilde girdi verilerinin, elde edilmek istenen çıktı değerine olan etkisi ayarlanabilir. Bu ağırlık değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Ağırlık değeri sıfır olan girdi verilerinin, çıktı üzerinde herhangi bir etkisi olmamaktadır [137]. Toplama fonksiyonu, nöronlara gelen net bilgilerin hesaplanmasını sağlayan fonksiyondur. Bir başka ifadeyle, yapay sinir hücrelerinin, sahip oldukları ağırlıklarla çarpılarak gelen girdilerin toplanmasını sağlayan ve hücrelerin kendilerine ait net girdisini hesaplayan bir fonksiyondur [137]. Toplama fonksiyonundan çıkan net toplamın, sistemden elde edilmek istenen çıktı verilerini oluşturmasından önce de, aktivasyon fonksiyonuna iletilmesi gerekmektedir.

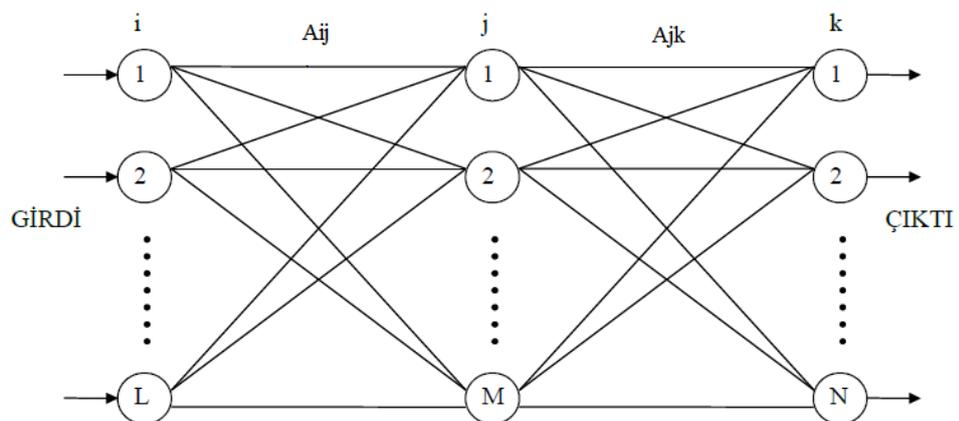
Aktivasyon fonksiyonu, genellikle doğrusal olmayan fonksiyonlar arasından seçilir. ANN sisteminin doğrusal olmama özelliği aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmamasından kaynaklanmaktadır. Doğrusal olan fonksiyonların seçilmemesinin sebebi ise doğrusal fonksiyonlarda çıktının girdi ile doğru orantılı olmasıdır. Bu durum, ilk ANN denemelerinin başarısızlıkla sonuçlanmasına sebep olmuştur [137]. Aktivasyon

fonksiyonları seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ise; seçilen fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olmasıdır [137]. Literatürde tercih edilen aktivasyon fonksiyonları; sigmoid, hiperbolik tanjant vb. fonksiyonlardır. Tez çalışması kapsamında da, detayları tez çalışmasının üçüncü bölümünde verilmiş olan MLP analizi için aktivasyon fonksiyonu olarak; tanjant sigmoid (tansig) ve logaritmik sigmoid (logsig), RBF analizi içinse aktivasyon fonksiyonu olarak radyal tabanlı fonksiyon (radbas) kullanılmıştır. Uygulamada en çok kullanılan sigmoid fonksiyonu, genel anlamda;

$$f(x) = \frac{e^x}{1 + e^x} \quad (2.13)$$

Şeklinde formülize edilmektedir [76,134].

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek, yapay sinir ağlarını (ANN) oluştururlar. Ancak sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Genel olarak hücreler üç ana tabaka halinde olur ve her tabaka içinde paralel olarak bir araya gelerek ANN sistemini oluştururlar. Bu tabakalar; girdi tabakası, ara (gizli) tabaka ve çıktı tabakasıdır. Detaylı yapay nöron sisteminde, aktivasyon fonksiyonundan elde edilen değerler, nöronların çıktı (output) değerini belirtmektedir. Bu değerler, ANN sisteminin genel çıktısı olarak kullanılabilir ya da sistem içerisinde tekrardan başka bir girdi (input) değeri olarak kullanılabilir. Çıktı değerleri bir ya da daha fazla sayıda olabilir [137]. Şekil 2.31, yaygın olarak kullanılan üç tabakalı bir ANN mimarisini göstermektedir.



Şekil 2.31. Üç tabakalı bir ANN mimarisini. [138]

Burada; i girdi tabakası, j ara (gizli) tabaka ve k çıktı tabakası, A_{ij} ve A_{jk} ise hücre tabakaları arasındaki bağlantı ağırlıklarıdır. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitime sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilmekte ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru (Şekil 2.31 için sağdan sola) yayılmaktadır [139].

Yapılan bütün bu açıklamaların ardından, herhangi bir ANN modeli için gereksinim duyulan temel bilgiler;

- Bir veri tabanı,
- Bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi,
- Gerçek yol koşullarını kapsayacak şekilde dikkatli bir model seçimi,
- Kriterlerin belirlenmesi,

Olarak sıralanabilir [114].

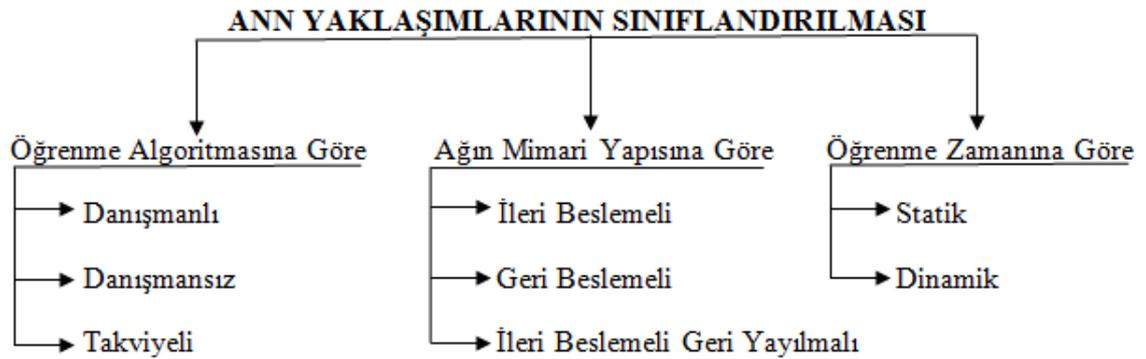
ANN, günümüzde birçok mühendislik problemine çözüm üretebilecek yeteneğe ve kapasiteye sahiptir [135]. Örnek olarak, bir ANN sistemi; öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, tahmin etme, özellik belirleme ve optimizasyon gibi işlemleri gerçekleştirebilecek kapasiteye sahiptir [137]. Ancak ANN sistemi, sahip olduğu özelliklerden dolayı alışlagelmiş bilgi işleme yöntemlerinden farklılık göstermektedir. Bunun yanında, sahip olduğu bazı özellikler bakımından birçok yöntemle göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu özelliklerden bazıları;

- *Paralellik*: Paralel çalışan bir ANN sisteminin, basit işlemler içermesinden ve karmaşık olmayan bir mimari yapıya sahip olmasından dolayı, birçok sorunun çözümlenmesinde geleneksel ve karışık fonksiyonlarla yapılan işlemlerin yerine tercih edilmektedir [119],
- *Hata toleransı*: ANN sisteminin paralel çalışma prensibinden dolayı, herhangi bir birimde oluşan hata tüm sistemde belirgin bir hataya neden olmamaktadır. Sadece hücrenin ağırlıkları oranında bir etkilenme gerçekleşmektedir. ANN yönteminin bu etkileşim yapısından dolayı da genel sistem, yerel hatalardan çok az etkilenmektedir [119],

- *Öğrenilebilirlik:* ANN mimarisi, öğrenme yeteneği tam olarak gerçekleştirilmeyen problemlerin çözülmesine olanak sağlamaktadır [119],
- *Gerçekleme kolaylığı:* Oluşturulan sinir ağı için eldeki verilerin türüne ve istenilen hedefe karar verildikten sonra, beklenen çıktıların girdilerden elde edilmesi için, ağın bilinmeyen bağlantı değerleri, ardışık yaklaşımlarla eğitilerek belirlenmektedir. Eğitime sonucunda hesaplanarak elde edilen ilk çıktılar, beklenen çıktılar ile karşılaştırıldıktan sonra birbirlerine yakın hata sınırları içinde bir yaklaşıklık gösterdiği zaman, ANN sistemi kapsamında oluşturulan modelin eğitilmesine son verilir. Aksi halde eğitime hedeflenen çıktılara yaklaşıncaya kadar devam edilir [140].

Olarak sıralanabilir [140]. ANN sisteminin temel avantajı; çok esnek olması ve girdi-çıkı arasında karmaşık ilişkilerin model yapısı ve bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesiyle belirlenebilmesidir [141]. Bu avantajlarına rağmen, ANN sisteminin en önemli dezavantajı, matematiksel bir denklem kadar açık olmaması olarak gösterilebilir [141]. Bunların yanı sıra, ANN sisteminin olumsuz yönleri olarak; eğitim için uzun zaman gerektirmesi, probleme özgün ağ yapısının belirlenmesi gereği, başlangıç koşullarına bağlı olması ve 'verilere bağlı' bir model olması, sıralanabilir [142].

ANN yaklaşımları, işleyiş olarak birbirlerine benzemelerine rağmen; öğrenme yöntemi, ağın mimarisi ve bağlantı yapıları kriterlerden ötürü farklılıklar gösterebilmektedirler [114,137]. Genel olarak, ANN yaklaşımları; öğrenme algoritmasına göre, ağın mimari yapısına göre ve öğrenme zamanına göre, olmak üzere üç ana kritere göre sınıflandırılmaktadır [114,137]. Bazı kaynaklarda, "öğrenme zamanı" kriterinin yerini "ağın kullanıldığı veri" (kalitatif ve kantitatif) kriterinin aldığına da rastlanmıştır [21,69]. Bazı kaynaklarda ise "öğrenme zamanı" kriterine göre sınıflandırma yer almamış olup, ANN yaklaşımları; öğrenme algoritmalarına göre ve ağın mimari yapısına göre sınıflandırılmıştır [114]. ANN yaklaşımlarının genel sınıflandırılması, Şekil 2.32'de gösterilmiştir.



Şekil 2.32. ANN yaklaşımlarının sınıflandırılması.

ANN yaklaşımlarının öğrenme algoritması kriterine göre sınıflandırılması; danışmanlı (güdümlü, yönlendirmeli, öğretmenli) öğrenme, danışmansız (güdümsüz, yönlendirmesiz, öğretmensiz) öğrenme ve takviyeli (destekleyici, yarı öğretmenli) öğrenme, olmak üzere üç gruba ayrılır [108,114,140]. Bazı kaynaklarda, takviyeli öğrenme grubuna yer verilmemiş olup, ANN yaklaşımları, öğrenme algoritmalarına göre; danışmanlı ve danışmansız olmak üzere iki gruba ayrılmıştır [21,69].

ANN yaklaşımlarında öğrenme; "deneyim, gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda oluşturduğu davranış değişikliği" olarak tanımlanmaktadır [119]. Her bir ANN yönteminin kullandığı öğrenme kuralı değişebilmekle birlikte, ANN yaklaşımları, yukarıda bahsedilen üç algoritmaya göre sınıflandırılır [108].

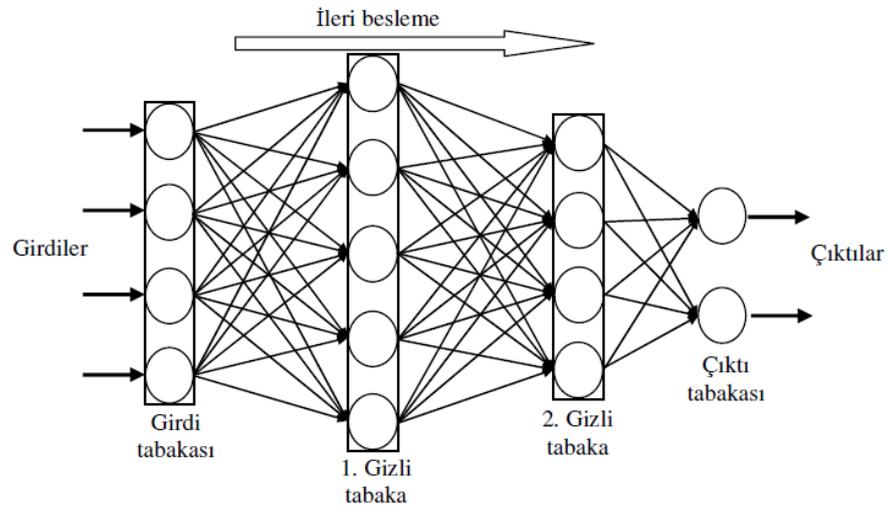
Danışmanlı öğrenme şeklinde; eğitime aşaması sırasında sisteme bir girdi ve hedef çıktı vektörü çifti verilmektedir [114]. Girdi bilgisinden üretilen çıktı değeri ile hedef çıktı değeri kıyaslanarak ağırlıkların değiştirilmesi için gerekli bilgi hesaplanır. Bu kıyaslamadan elde edilen fark, hata olarak belirlenen değerden küçük oluncaya kadar eğitim devam eder. Hata değeri istenen değer altına düştüğünde ağırlık değerleri sabitlenir ve eğitim sona erer [143]. Bu noktada, yani hatanın istenen değer altında olup olmadığı hususunda danışmana ihtiyaç duyulur. Danışmanlı öğrenmede işlem, tamamen öğreticinin kontrolü altındadır. Danışmanlı öğrenmenin en önemli özelliği, öğrenme esnasında gerçek değerlerin kullanılmasıdır [140,144]. Bu tür öğrenmeye örnek olarak; çok katmanlı algılayıcı (MLP) ağ yapısı verilebilir.

Danışmansız öğrenmede ise; kullanılan girdi vektörlerinin hangi sınıfa ait olduğu verilmez ve sistem, girdileri birbirleriyle karşılaştırarak sınıflama işlemini yerine getirir [114]. Bir başka deyişle, bir grup girdi vektörü sisteme verilir, ancak hedef çıktılar belirtilmez. Girdiler içerisinde birbirine en çok benzeyenler gruplanır, her bir grup için farklı bir örüntü (pattern) tanımlanır ve ağ, kendi ağırlıklarını değiştirerek ayarlar [143]. Arzu edilen bilgiler ağa girilmediğinden dolayı da hata dikkate alınmaz [119]. Bundan dolayı bu algoritmalarda, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Danışmansız öğrenme, sınırlı sayıda ANN modeline uygulanabilmektedir [119]. Bu tür öğrenmeye; özdüzenleyici haritalar (SOM) örnek olarak verilebilir.

Takviyeli öğrenmede; ağ yapısına her bir girdi değeri için bir çıkış değeri sunulmaz. Ancak, ağdan elde edilen çıktı verilerinin girdi verilerine uygunluğunu belirlemek amacıyla ağa danışman yerine "kriter" konulur [114]. Konulan bu kritere göre de analiz sonuçlarının kabul edilebilir veya edilemez olduğu (var-yok, doğru-yanlış vb.) yönünde bir sonuca varılır [114,140]. Takviyeli öğrenme, danışmanlı öğrenmeye yakın bir yöntem olarak kabul edilmektedir [140]. Bu tür öğrenmeye örnek olarak genetik algoritma (GA) verilebilir [114].

ANN yaklaşımlarının ağın mimari yapısı kriterine göre sınıflandırılması; ileri beslemeli (feed forward), geri beslemeli (recurrent) ve ileri beslemeli geri yayımlı (feed-forward backpropagation), şeklinde olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır [108,119].

İleri beslemeli ağ yapısında, hücreler tabakalar halinde gruplandırılır. İleri beslemeli ağlar, en genel halde girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakası olmak üzere üç tabakalı bir yapıya sahiptirler. Girdi tabakasından çıktı tabakasına doğru sinyaller tek yönlü bağlantılarla iletilir. Tüm hücreler bir sonraki tabaka ile bağlantılı olup, aynı tabaka içerisinde bağlantıları bulunmamaktadır [140]. Dört tabakalı ve ileri beslemeli bir sinir ağının tipik mimarisi, Şekil 2.33'de görülmektedir.

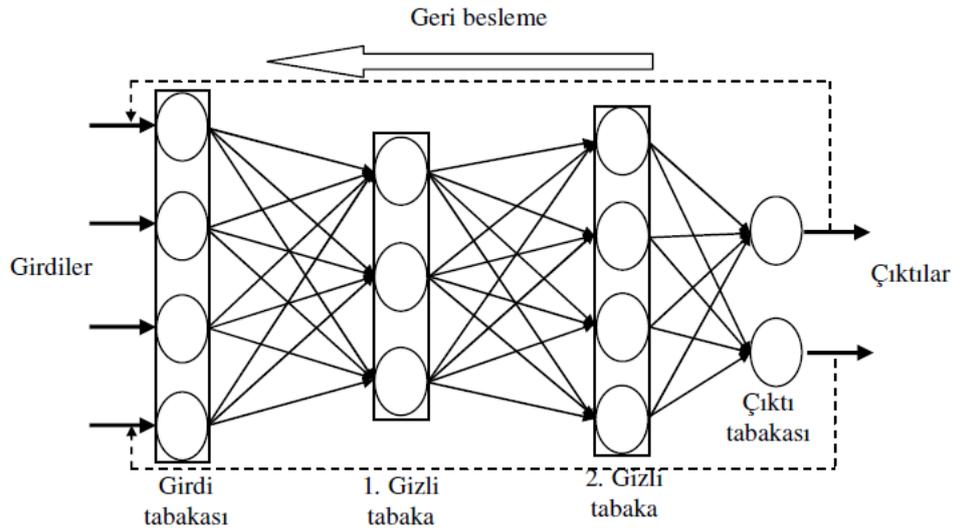


Şekil 2.33. İleri beslemeli ve dört tabakalı bir ANN mimarisi. [119]

İleri beslemeli bir ağ yapısının öğrenme aşamasında; girdi tabakası, dış ortamdan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan ara (gizli) tabakadaki hücrelere iletir. Birinci gizli tabakadaki nöronlar, çıktılarını hesaplayarak o çıktıları bir sonraki gizli tabakaya girdi değeri olarak gönderirler. Sırasıyla her bir tabaka aynı işlemi yapar. En uç tabakanın çıktı değerleri de işlemi sonuçlandırır. İleri beslemeli ağlar, bu şekilde girdi verilerine karşılık hızlı bir şekilde çıktı verileri üretebilmektedir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. İleri beslemeli ağlara; Rumelhart ve McClelland ağları örnek olarak verilebilir [114,140].

Geri beslemeli ağ yapısının temeli; ilk olarak bir doktora tezinde (Werbos, 1974) atılmış, daha sonra teknik bir raporda (Parker, 1985) pekiştirilmiş ve Rumelhart *et al.* (1989) tarafından geliştirilerek uygulanabilir hale dönüştürülmüştür [145]. Geri beslemeli öğrenme algoritması, anlaşılması kolay ve matematiksel olarak ispatlanabilir olmasından dolayı tercih edilen bir algoritma olmuştur [111]. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı "geri yayılım" ismi ile de anılmaktadır. Geri beslemeli ağların ileri beslemeli ağlardan farkı, bu ağlarda en az bir tane geri besleme döngüsünün bulunmasıdır [143]. Geri beslemeli ağlarda, bağlantılar döngü içerir ve hatta her seferinde yeni veri kullanır. Bu ağlar, döngü sebebiyle girdinin karşılığını yavaş bir şekilde oluşturur. Bu yüzden, bu tür ağların eğitime süreci daha uzun olur [108]. Tipik bir geri beslemeli ağ, daima; bir girdi tabakasına, en az bir gizli tabakaya ve bir çıktı tabakasına sahiptir. Gizli tabakaların sayısında teorik olarak bir

sınırlama yoktur. Fakat genel olarak ağ mimarisinde bir veya iki tane gizli tabaka bulunduğu literatürde belirtilmektedir [108]. Şekil 2.34’de, geri beslemeli bir ağ mimarisi görülmektedir.

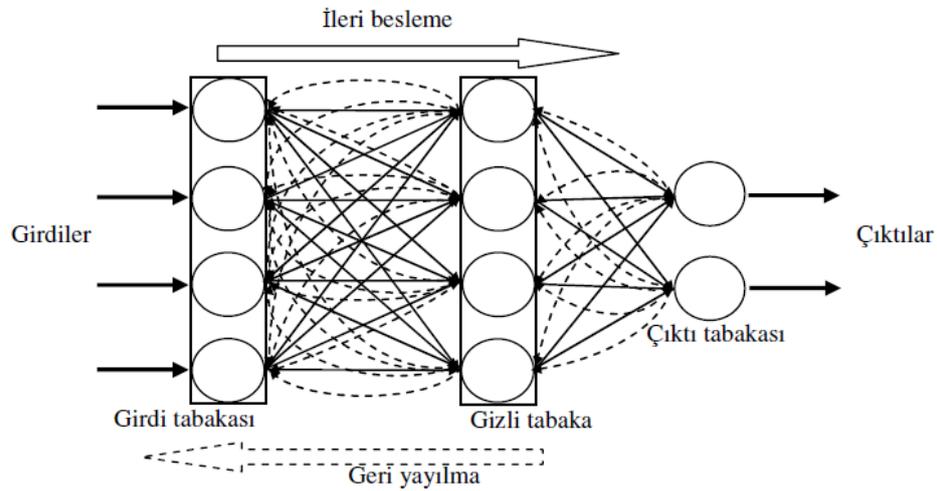


Şekil 2.34. Geri beslemeli ve dört tabakalı bir ANN mimarisi. [119]

Geri beslemeli sinir ağı, çıktı tabakası ile gizli tabakalardaki çıktıların, girdi tabakasına veya önceki gizli tabakalara geri beslendiği bir ağ yapısına sahiptir. Böylece girdiler, hem ileri yönde hem de geri yönde sinyallerle aktarılmış olmaktadır. Geri beslemeli sinir ağlarına örnek olarak; Hopfield ağları verilebilir [119].

İleri beslemeli geri yayımlı (yayımlı) ağlar, en çok bilinen geriye yayılma (backpropagation) öğrenme algoritmasının, ileri beslemeli ağ yapısında etkin olarak kullanıldığı ve 1970’li yıllarda geliştirilen bir ağ yapısıdır. ANN sisteminin mimarisi kadar ağın eğitilmesinde, yani ağın öğrenmesinde kullanılacak yöntem de çok önemli olmakta ve bu aşamada ağın girdilere karşılık üretilmesi gereken çıktıları öğrenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda birçok yapay sinir ağı algoritması geliştirilmesine karşın uygulamalarda en çok kullanılan algoritmalar ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı algoritmalarıdır [119]. Bu algoritma, geriye yayılma algoritması olarak da bilinir [142]. Algoritmanın bu ismi almasının temel sebebi ise algoritmanın işleyişinin ileriye doğru hesaplama ve geriye doğru hesaplama olmak üzere iki aşamada gerçekleşmesidir [146]. İleri beslemeli geri yayımlı ağların en büyük özelliği; doğrusal olmayan yapı

içeren problemlerde etkili olarak uygulanabilmesidir [119]. İleri beslemeli geri yayımlı bir sinir ağının tipik mimarisi, Şekil 2.35’de görülmektedir.



Şekil 2.35. İleri beslemeli geri yayımlı ve üç tabakalı bir ANN mimarisi. [119]

İleri beslemeli geri yayımlı ağların ileri doğru hesaplama aşamasına, girdi tabakasındaki girdilerin ağa sunulması ile başlanmaktadır. Gizli tabakadaki her hücre girdi tabakasından gelen girdileri bağlantı ağırlıkları ile almakta ve gizli tabakadaki hürelere gelen net girdiler hesaplanmaktadır. Bu net girdi değerlerinin belirlenen bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle gizli tabaka elemanlarının çıktıları hesaplanabilmektedir. Bu işlem tüm gizli tabaka ve çıktı tabakası elemanları için tekrarlanmakta; çıktı tabakasının tüm çıktıları belirlendiğinde ileri hesaplama aşaması tamamlanmaktadır [146]. İleri beslemeli geri yayımlı ağlara örnek olarak; çok katmanlı algılayıcı (MLP), Elman ve Jordan ağları verilebilir [108].

ANN yaklaşımlarının öğrenme zamanı kriterine göre sınıflandırılması; statik öğrenme ve dinamik öğrenme olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır [137]. Statik öğrenme kuralı ile çalışan ANN sistemlerinde, ağ kullanılmadan önce eğitimi gerçekleştirilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra ağ istenildiği gibi kullanılabilir. Ancak kullanım sırasında ağ üzerindeki ağırlık atamalarında herhangi bir değişiklik yapılamaz [137]. Dinamik öğrenme kuralı ise sistemin çalışmakta olduğu süre boyunca öğrenmesini öngörerek tasarlanmış olduğu öğrenme şeklidir. ANN mimarisinde, eğitim aşaması

bittikten sonra da, daha sonraki kullanımlarda elde edilen çıktı verilerinin onaylanmasına göre ağırlıklar değiştirilerek çalışmalar devam ettirilir [137].

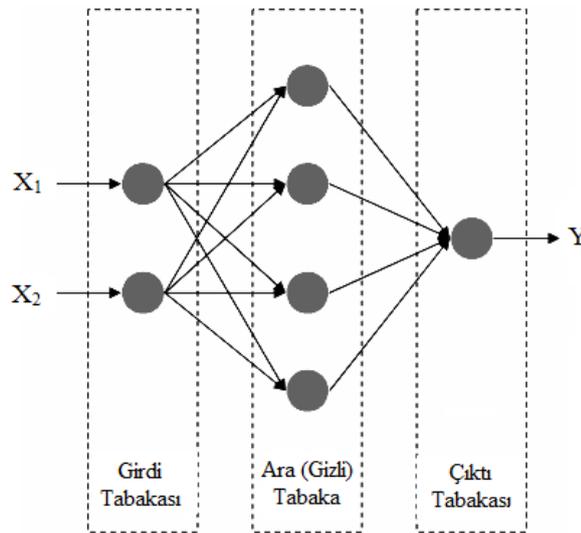
Günümüzde, belirli amaçlarla ve değişik alanlarda kullanılmaya uygun birçok ANN modeli geliştirilmiştir [147]. En çok bilinen ve kullanılan ANN yaklaşımları; çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (RBF), Hopfield, Kohonen, Elman ve Jordan olarak sıralanabilir [21,69,108]. ANN yaklaşımları ile ilgili çok fazla çeşit ve yoğun bir literatür olması nedeniyle, bu tez çalışmasında bütün ANN yaklaşımları hakkında detaylı bilgi verilememiştir. Sadece tez çalışması kapsamında aktif olarak kullanılan; çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ile ilgili özet bilgiler sunulmuştur.

ANN yaklaşımları içerisinde en yaygın kullanım alanı bulanlar; MLP ve RBF ağlarıdır [147].

MLP ağı; günümüzde en çok bilinen ve kullanılan sinir ağı sınıflandırma yöntemi olup, bu yöntem geniş biçimde analiz edilmiş ve bu yöntem için çeşitli öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir [75,142,148,149]. MLP ağı, özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan ANN yaklaşımı olmuştur [111]. Birçok öğrenme algoritmasının bu ağı eğitmede kullanıyor olması, bu yaklaşımın yaygın kullanılmasının nedeni olarak düşünülebilir.

MLP ağları; çoklu tabakalar halinde organize edilmiş olan nöronlardan oluşur ve doğrusal olmayan (nonlinear) yapıdadır [142]. MLP ağı, hemen her fonksiyonu tahmin etme/yaklaşım özelliğine sahiptir. MLP ağının bu üstünlüğü de, nöronlarla doğrusal olmayan bir ilişki kurabilme yeteneğinden ve iteratif (yinelemeli) özelliğinden kaynaklanmaktadır [142]. Bir MLP modeli; bir girdi, bir veya daha fazla ara (gizli) tabaka ve bir de çıktı tabakasından oluşur [90]. Bir tabakadaki bütün işlem elemanları, bir üst tabakadaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Girdi tabakasında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Girdi tabakası, girdi vektörünü gizli tabakaya ulaştırmakla yükümlüdür [145]. Buradaki işlem elemanı sayısı, tamamen ağa uygulanan problemin girdi sayısına bağlıdır [90]. Ara tabaka sayısı ve ara tabakadaki işlem elemanı (hücre) sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur [90]. MLP ağlarında birden fazla ara tabaka

bulunabilir [147]. Ancak birçok problemin çözümünde bir ara tabaka yeterli olabilmektedir [90]. Çıktı tabakasındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir [145]. Ara tabakadaki nöronlar, genellikle doğrusal olmayan ve türevi kolayca hesaplanabilen bir aktivasyon fonksiyona sahip olurlar [137,150,151]. Çıktı tabakasinda ise doğrusal aktivasyon fonksiyonu yer alır. Böylece, ara tabaka, çıktıyı dar bir aralıkta tutar ve doğrusal fonksiyona sahip olan çıktı tabakasinda çıktı parametresi tahmin edilebilir [150,151].



Şekil 2.36. 2-4-1 düzeneğine sahip üç tabakalı bir MLP sistemi. [145]

Şekil 2.36'da, bir MLP sisteminin mimari ağ yapısı görülmektedir. Buna göre, MLP sistemi; girdi tabakasinda iki girdi parametresinden (X_1 ve X_2), bir ara tabakadan, bu ara tabakada yer alan dört ara tabaka hücre sayısından ve bir çıktı parametresinden (Y) oluşmaktadır. Ağ üzerindeki tabakaların (k) indisiyle sıralandığı ve (L) adet ara tabaka olduğu varsayılırsa; Şekil 2.36'daki ağ için; $L=1$ olacaktır. $k=0$ girdi tabakasına, $k=1$ ara tabakaya ve $k=(L+1)$ de çıktı tabakasına karşılık gelir. Eğer ($k+1$)'inci tabakanın (i)'inci yapay sinir hücresi, (k)'inci tabakanın (j)'inci yapay sinir hücresi çıkışı (y_{kj}) ile gösterilirse, ($k+1$)'inci tabakadaki (i)'inci sinir hücresinin net toplamı [$v_{(k+1)i}$] ve çıkış değeri [$y_{(k+1)i}$], şu şekilde hesaplanır [108];

$$v_{(k+1)i} = \sum_{j=1}^{n_k} w_{(k+1)ij} y_{kj} \quad (2.14)$$

$$y_{(k+1)i} = \varphi(v_{(k+1)}) \quad (2.15)$$

Denklemlerde görülen (n_k) değişkeni, (k) 'inci tabakadaki yapay hücre sayısını simgelemektedir.

MLP yaklaşımının amacı; karmaşık yapıdaki girdi/çıkı ilişkilerini eldeki verileri kullanarak çözmek ve temsil etmektedir. Böylece model, yeni girdi verileri ile çıktı verisini üretebilmek için kullanılabilir [75,152]. MLP ağı, öğrenme algoritması açısından danışmanlı öğrenme sürecini kullanır [75,152]. Çünkü öğrenebilmek için çıktı verileri gerektirir. Danışmanlı öğrenme algoritmalarında, ağın eğitimi için, ağa örnek olarak girdi ve çıktı değerlerinden oluşan bir örnek veri seti verilir. Verilen hedef çıktı değerleri, ANN literatüründe "danışman" ya da "öğretmen" olarak adlandırılır. Danışmanlı öğrenme algoritmalarında, öğrenme aşamasındaki ağırlıklar, formül (2.16)'da verilen hata fonksiyonunun minimize edilmesiyle düzenlenir [147].

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y_k - t_k)^2 \quad (2.16)$$

Eşitlikte y_k ağın ürettiği çıktıyı, t_k ise gerçek çıktı değerini göstermektedir. Bahsedilen sistemde, hatayı en aza indirmek için bağlantı ağırlıkları yeniden düzenlenerek güncellenir. Böylece ağın gerçek çıktı değerlerine en yakın çıktı değerlerini üretmesi amaçlanır [147].

MLP ağı, mimari yapı açısından öğrenme (eğitme) aşamasını, anlaşılması kolay ve matematiksel olarak ispatlanabilir olmasından dolayı, geriye yayılma (genelleştirilmiş delta) algoritmasını kullanarak gerçekleştirmektedir [75,142,147,152]. Geriye yayılma algoritması, ağ içindeki her bir ağırlığın ilgili hata fonksiyonunun duyarlılığını hesaplamakta ve ağırlığı bu duyarlılığa göre güncelleştirmektedir. Dolayısıyla hata yüzeyinin global minimum değeri arandığından, yalnızca yerel bilgiyi kullanmakta ve hesaplanması kolay bir yöntem olmaktadır. Ancak; geriye yayılma algoritması; uzun sürede çözüme ulaşma gibi bir dezavantaja da sahiptir [142]. Geriye yayılım

algoritmasının en büyük dezavantajı ise kimi zaman yerel minimum değerine ulaşması (yakalanması, yakınsaması) olarak gösterilmektedir.

Bilindiği üzere, sinir ağlarının öğrenme işlemi, hata fonksiyonunun minimum yapılması esasına dayanmaktadır. En küçük hata değerine sahip noktaya ilişkin ağırlıklar, optimum ağırlıklardır. Muhtemel olan en düşük hata değerine sahip teorik çözüm de "global minimum" değeridir. Geri yayılma kuralı, çözüm vektör uzayında hata yüzeyinin basamaklı kesitleri boyunca global minimum değerine ulaşmak için gradyen iniş tekniği uygular. Hata yüzeyinin çoğu kez düzensiz ve karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle, sinir ağı en uygun çözüm olmayan "yerel minimum" değerine yakınsayabilir [153]. Ağ ağırlıkları istenen ve gerçekleşen ağ sonuçları arasındaki fark ölçüsüne dayanan bir hata değerini minimum yapacak şekilde dengelenmektedir. Öte yandan, yaygın olarak kullanılmakta olan bu algoritma uzun zaman gerektirmektedir. Bu nedenle algoritmanın çözümünü hızlandırmak için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Ayrıca ağırlık güncellemelerini ardışık biçimde ve yerel (lokal) olarak hesaplandığı için yerel minimuma yakalanma riski vardır [142].

Özet olarak; MLP ağında eğitime işlemi iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada; eğitime aşaması için ayrılan veri setinden rastgele seçilmiş olan girdi verisi, girdi tabakasına gönderilir. Aktive edilen nöronların çıktıları, ileri besleme algoritmasını kullanılarak önce ara tabakaya/tabakalara, daha sonra da çıktı tabakasına iletilir. İkinci aşamada da, geriye yayılma algoritması; Levenberg-Marquardt (LM), gradient descent (dereceli azaltma yöntemi, GD) ve Fletcher-Reeves Conjugate Gradient (Fletcher-Reeves eşleştirmeli gradient, FRCG) gibi öğrenme algoritmalarından birisini kullanarak hatayı hesaplar ve hatanın, sırasıyla çıktı tabakasının ve ara tabakanın/tabakaların her bir nöronu için geriye doğru yayılımını gerçekleştirir. İkinci aşamanın sonunda, ağırlıklar ve bias (sabit terim) değerleri tekrar hesaplanır. Bahsedilen iki aşama, sinir ağının toplam hatası, önceden tanımlanmış olan hedeflenen hata değerinin altına düşüncüye ya da maksimum iterasyon (epoch) sayısına ulaşıncaya kadar tekrarlanır [90].

ANN literatüründe yer alan uygulamalar incelendiğinde, öğrenme algoritması olarak çoğunlukla ileri beslemeli geriye yayılmalı algoritmanın kullanıldığı göze çarpmaktadır

[154]. Ancak bu algoritmanın hızlı bir şekilde programlanabilmesi gibi olumlu özelliğinin yanında, yerel minimuma takılması ve negatif tahminler üretilebilmesi gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır [155]. Bu nedenle, son zamanlarda inşaat mühendisliği alanında alternatif olarak geliştirilmiş olan ileri beslemeli radyal tabanlı fonksiyon (RBF) gibi algoritmaların uygulamalarına da rastlanmaktadır [156,157].

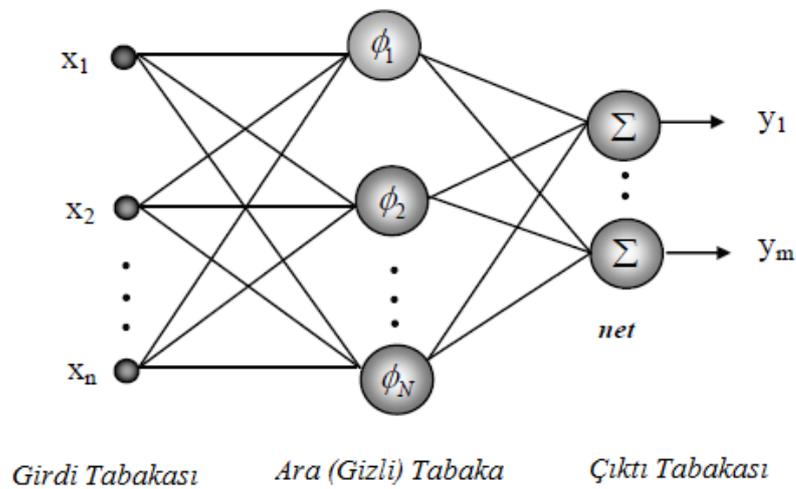
RBF ağı; biyolojik sinir hücrelerinde görülen etki-tepki davranışlarından esinlenilerek, MLP ağına alternatif olarak geliştirilmiş olan ileri beslemeli bir ANN yaklaşımı olup, çok boyutlu problemler için en uyumlu sonucu veren ANN tekniklerinden birisi olarak da bilinmektedir [129,158]. İlk olarak çok değişkenli interpolasyon problemlerinin çözümünde kullanılan (Powel, 1987) radyal tabanlı fonksiyonların yapay sinir ağlarında kullanımı, Broomhead and Lowe tarafından 1988 yılında gerçekleştirilmiştir [159,160]. MLP ağına oranla daha kısa zamanda eğitilmesi (Moody and Darken, 1989) ve lokal minimumlara takılmaksızın en iyi çözüme yakınsamaları (Park ve Sandberg 1991) gibi özelliklerinden dolayı RBF ağları tahmin, eğri uydurma ve fonksiyon yaklaştırma gibi problemlerin çözümünü içeren uygulamalarda MLP ağlarına alternatif bir sinir ağı olarak kullanılmaya başlanmıştır [161,162,163,164]. Literatürde, RBF ağının özellikle sınıflandırma ve tahminleme problemlerinde kullanıldığına dair ifadeler de rastlanmıştır [107].

RBF ağı, doğrusal olmayan bir fonksiyonun doğrusal bir fonksiyon ile kombinasyonudur. RBF ağında temel fikir, bir grup radyal tabanlı işlevi istenen işleve yaklaşacak şekilde ağırlık atayarak toplamaktır [165]. RBF ağının öğrenmesini, çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımı olarak görmek de mümkündür [166]. Bu nedenle RBF ağının öğrenme performansı, çıktı vektör uzayındaki verilere en uygun yüzeyi bulma ve dolayısıyla bir enterpolasyon problemine dönüşmektedir [154]. RBF ağı da, MLP ağı gibi ileri beslemeli ANN yapılarına benzer şekilde; bir girdi tabakası, bir ara (gizli) tabaka ve bir çıktı tabakası olmak üzere üç tabakalı bir mimariden oluşmaktadır [111,147]. RBF ağında birçok uzaklık ölçüsü tanımlanmasına rağmen, uzaklık ölçüsü olarak genelde öklid uzaklığı kullanılır [147]. Bunun yanısıra, RBF ağının aktivasyon fonksiyonu için, ağa ismini veren radyal fonksiyonların kullanıldığı doğrusal olmayan bir analiz kullanılmaktadır [154]. Başka bir deyişle; RBF ağında aktivasyon fonksiyonu sigmoid vb. değildir. RBF ağının ara tabakasında kullanılmak

üzere çok sayıda radyal tabanlı fonksiyon (gaussian, multi-quadric, generalized multi-quadric, thin plate spline vb.) önerilmesine karşın, uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonunun gaussian olduğu bilinmektedir [111,147]. Literatürde, RBF ağında kullanılacak olan radyal tabanlı fonksiyonun seçiminin, ağın performansı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı da ifade edilmiştir [164]. Bir RBF ağına çalışma ilkesi; girdi verisine bağlı olarak gizli tabakada, en uygun merkez (c) ve spread (r) parametrelerine sahip olan RBF ağlarının belirlenerek, çıktı tabakasında bu fonksiyonların ürettiği çıktılarının uygun ağırlık değerleriyle doğrusal birleşimlerinin oluşturulup, girdi-çıkıtı arasındaki ilişkinin belirlenme süreci olarak açıklanabilir [147]. Herhangi bir RBF ağında, merkez (c) ve spread (r) olmak üzere iki parametre ile belirlenir [107]. c ; fonksiyonun en büyük ya da en küçük değerini aldığı noktayı gösterirken, yarıçap adıyla da anılan r ; bu noktaya olan uzaklıkları ölçeklendiren parametredir. Buradan hareketle, belirli bir c değerinden uzaklığın r değerine oranının radyal tabanlı fonksiyonu;

$$h = \phi\left(\frac{x-c}{r}\right) \quad (2.17)$$

Olarak ifade edilir [107]. Standart bir RBF ağına mimari yapısı, Şekil 2.37'de gösterilmiştir.



Şekil 2.37. n-N-m düzeneğine sahip bir RBF sistemi. [154]

RBF ağıının girdi tabakasındaki veriler, MLP ağından farklı olarak, ağırlık değerleri ile çarpılmadan direkt olarak ara tabakaya iletilirler [147]. Diğer bir ifadeyle, girdi tabakası ile ara tabaka arasındaki tüm bağlantı ağırlıklarının "1" olduğu söylenebilir [107]. RBF ağında asıl eğitim, ara tabaka ile çıktı tabakası arasında gerçekleştirilir [154]. Ara tabakada yer alan radyal tabanlı fonksiyonların (çekirdek fonksiyonların) merkezlerini gösteren referans vektörleri ile girdi vektörü arasındaki uzaklık değerine bağlı olarak, ara tabaka çıkışında, formül (2.18)'de gösterilen ϕ_j değeri üretilir;

$$\phi_j = e^{-\left[\frac{\|X_i - U_j\|^2}{\sigma_j^2} \right]} \quad (2.18)$$

Ağın ürettiği çıktı (y) ise;

$$y_i = \sum_{k=1}^N w_{ik} \phi_k(x, c_k) = \sum_{k=1}^N w_{ik} \phi_k(\|x - c_k\|_2), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.19)$$

Denklemlerle hesaplanır [154]. Burada; $x \in R^{n \times 1}$ ağın girdi vektörünü; $\phi_k(\cdot) \in R^+$ radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonunu; $c_k \in R^{n \times 1}$ girdi vektör uzayının bir alt setinden seçilen radyal tabanlı merkezleri; $\|\cdot\|_2$ girdi vektörünün merkezden ne kadar uzak olduğunun bir ölçütü olan öklid normunu; w_{ik} çıktı tabakasındaki ağırlıkları; N ise ara tabakada bulunan hücre sayısını göstermektedir [154].

RBF ağı, öğrenme sürecinde "danışmansız danışmanlı öğrenme" olmak üzere karma strateji kullanır ve böylece öğrenme süreci iki aşamaya ayrılır [107,114,167]. Danışmansız öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ilk aşama, ara tabaka nöronlarında yer alan radyal tabanlı fonksiyonların merkez (c) ve spread (r) parametrelerinin belirlenmesi aşamasıdır [107]. Bu aşamanın genellikle danışmansız öğrenme kapsamında değerlendirilmesinin nedeni, bu aşamada önerilen yöntemlerde genellikle gözlenen çıktı değerlerinin kullanılmamasıdır. Bu aşamada girdi uzayı, çıktı değerlerinden bağımsız olarak birbirine benzeyen girdi değerlerinin kümелendiği bölgelerin ve bu bölgelerin genişliklerinin belirlenmesi sürecidir [107]. Bir doğrusal regresyon problemi gibi çözülebilen ve danışmanlı öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen

ikinci aşama ise, ara tabakadan elde edilen çıktılara doğrusal dönüşüm uygulanarak ağ çıktıları ile gözlenen çıktılar arasındaki hatayı en küçük yapan ağırlıkların belirlenmesi sürecidir [107,114,167].

RBF ağının yineleme (iterasyon) yapabilme özelliği yoktur. Bir başka deyişle, bu yöntem, eğitme verilerinin oluşturduğu eğrinin dışına çıkamamaktadır. İnterpolasyon özelliğinin çok iyi olması nedeniyle RBF ağı, eğitim için kullanılan verilerin arasında ve yakın civarında arama yapmak için uygundur. Bu nedenle en iyileme (optimizasyon) çalışmalarında genellikle tercih edilmektedir [167]. RBF ağı, klasik istatistik yöntemlere göre daha az varsayıma sahip olması nedeniyle gerçek hayat problemlerine daha kolay uyum sağlamaktadır [107]. Diğer taraftan, her yöntemde olduğu gibi RBF yönteminde de karşılaşılan sorunlar ve eksiklikler vardır. Bu sorunların en önemlilerinden biri, ara tabakadaki hücre sayısının deneme yanılma yolu ile belirlenmesidir. Ayrıca ara tabaka hücrelerinde kullanılan radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonlarının merkez (c) ve spread (r) parametrelerinin öğrenilmesi, oldukça zaman ve işlem yükü getiren algoritmalarla gerçekleştirilmektedir. Bu zaman ve işlem yükünün göze alındığı durumlarda bile daha iyi bir parametre kombinasyonunun var olmadığı garanti değildir. Diğer taraftan ağırlık değerlerinin doğrusal regresyon ile öğrenilmesi aşamasında sıklıkla tekillik sorunu ortaya çıkmaktadır [107].

Özetle; bahsedilen MLP ağının ve RBF ağının her ikisinin yapısı da evrensel fonksiyon yakınsayıcı (herhangi bir fonksiyon için uygun bir doğruluk düzeyinde tahmin yapabilen model) özellikte olduğundan dolayı, her zaman MLP ağı kullanılarak çözülen bir probleme yakın sonuç verebilecek bir RBF ağı bulunmaktadır [112]. Ayrıca, her iki ağ yapısının benzer olmasından mütevellit, RBF ağları, tek bir ara tabakası bulunan ve ara tabakasında radyal tabanlı fonksiyonlar kullanan bir tür MLP ağı olarak değerlendirilebilir [107].

Yukarıda sözü edilen benzerliklerinin yanında, bahsedilen ANN yaklaşımları arasında büyük farklılıklar da vardır. Bu farklılıkların maddeler halinde verilmesi daha uygun görülmüştür [107];

- MLP ağı, öğrenme algoritması açısından "danışmanlı öğrenme" sürecini kullanırken, RBF ağı "danışmansız danışmanlı öğrenme" olmak üzere karma strateji kullanır.
- MLP ağı, mimari yapı açısından öğrenme aşamasını, ileri beslemeli geriye yayılma algoritmasını kullanarak gerçekleştirirken, RBF ağı ileri beslemeli algoritma kullanır.
- MLP ağı iteratif (yinelemeli) özellikte iken, RBF ağının yineleme (iterasyon) yapabilme özelliği yoktur.
- RBF ağında tek bir ara (gizli) tabaka bulunurken, MLP ağında bir veya daha fazla ara tabaka bulunabilir.
- MLP ağının ara tabakasında sigmoid vb. aktivasyon fonksiyonları kullanılırken, RBF ağında gaussian vb. radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonları kullanılır.
- MLP ağında ara tabaka nöronlarında ve çıktı tabakası nöronlarında yapılan hesaplamalar birbirine benzer iken, RBF ağında ara tabaka nöronlarının ve çıktı tabakası nöronlarının işlemleri tamamen birbirinden farklıdır.
- Herhangi bir tahmin modeli için, kullanıcı tarafından keyfi denemelerle belirlenen, deneme-yanılma yolu ile iyileştirilebilen parametrelerinin az oluşu, ilgili modelin kullanılışlılığı açısından olumlu bir işarettir. Bu bakımdan, RBF ağının MLP ağına göre daha kullanışlı olduğu söylenebilir. Bunun nedeni, eldeki problemin çözümüne uygun RBF ağının oluşturulması aşamasında, ağ mimarisine ilişkin verilecek tek kararın, ara tabakada bulunacak nöron (hücre) sayısının belirlenmesi olmasıdır.
- Yukarıdaki maddede bahsedilen; deneme-yanılma yolu ile iyileştirilebilen parametrelerin az olmasına bağlı olarak, RBF ağının eğitime aşaması, MLP ağının eğitime aşamasından daha kısa sürmektedir.

- MLP ağı ile RBF ağı arasındaki en önemli fark, problemlere çözüm üretme yöntemleridir. MLP ağı girdi-çıkışı arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi bir bütün olarak ele alıp genel bir yaklaşım ortaya koymaktayken, RBF ağı bu ilişkiyi, girdi kümesinin farklı alt uzaylarında tanımlanmış farklı ilişkiler olarak değerlendirerek daha yerel çözümler üretir.

2. Bulanık Mantık (FL) Yaklaşımı

Bulanık küme teorisinden türetilmiş olan yapay zekâ metodlarından birisi olan bulanık mantık (FL) metodu, ilk olarak Azeri matematikçi Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya konmuştur [118]. Zadeh, sadece iki olasılığa sahip olan "Aristo Mantığı"nın yerine bulanık mantık kavramını geliştirmiştir. Bulanık küme teorisi, sözel olarak bilgilerle ilgili sistematik hesapları sağlamaktadır. Bulanık yaklaşım, üyelik fonksiyonlarıyla uyarılmış sözel etiketleri kullanarak sayısal hesap yapar. Bu yüzden Zadeh, doğal veya yapay dildeki cümlelerin değerlerini değişkenler gibi sözel değişkenlerle tanımlamıştır.

Önceleri bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığı ve hatta bilime karşı geldiği ileri sürülmesine rağmen, 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan bir kontrol uygulaması, bulanık kavram ve bulanık sistemlerin dikkat çekmesine neden olmuştur [121]. Bulanık modelleme, örnek bir veri seti ile tanımlanan ve içeriği kesin olarak bilinmeyen bir sistemin davranışını tahmin etmekte ve açıklamaktadır. Klasik matematiğe dayanan sistem modellemesi, eksik tanımlanmış ve belirsiz sistemler için pek uygun değildir. Bunun aksine, bulanık mantık (FL) sistemi, hassas nicel analizler kullanmadan insan bilgisinin ve yaklaşım süreçlerinin nitel taraflarını modelleyebilmektedir [137]. FL teorisi, gerçek hayatta karşılaştığımız beklenmedik durumlar ve belirsizlik içeren problemlere bir çözüm oluşturmayı hedeflemektedir. FL metodu; çözümde hassasiyet eksikliği, yeterince açık ve kesin olmayan kıstas veya matematiksel modellerin eksikliğinden doğan problemlerin çözümüne imkân tanımaktadır [37].

Son yıllarda, popüler konular arasında ön sıralarda yer alan bulanık küme, mantık ve

sistemler; karar verme gibi çok geniş bir alanda kullanıldıkları için hemen her mühendislik dalında uygulanır hale gelmişlerdir [107,168]. FL metodunda amaç; belirsizlik ifade eden, tanımlanması güç veya anlamı zor kavramlara üyelik derecesi atayarak onlara belirlilik kazandırmaktır [107]. FL metodunun en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması halinde kişilerin görüş ve yargılarına yer vermesidir. İkincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir [169]. Metodun diğer bir önemli özelliği de, diğer tahmin metotları kadar çok sayıda veriye ihtiyaç gerektirmemesidir. Bu bağlamda FL metodu, az veya eksik veri kümesinin mevcut olduğu durumlar için uygun bir yöntemdir [37]. FL metodunun başlıca özellikleri;

- "Doğru", "çok doğru", "az çok doğru" vb. sözel olarak ifade edilen (linguistik-dilsel-değişkenli) doğruluk derecelerine sahip olması,
- Geçerliliği kesin değil fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip olması,
- Her kavramın bir derecesinin olması,
- Her mantıksal sistemin bulanıklaştırılabilmesi,
- Bulanık mantıkta bilginin, bulanık kısıtlara ait değişkenlerin esnekliği veya denkliliğiyle yorumlanabilmesi,

Şeklinde sıralanabilir [137].

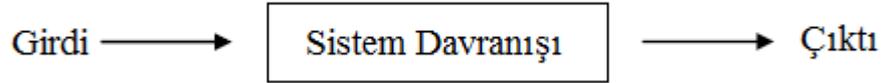
FL yaklaşımı; makinelere, insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsözlerinden yararlanarak çalışabilme yeteneğini verir [82]. Bu yeteneği kazandırırken, sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanır. Bu sembolik ifadelerin makinelere aktarılması matematiksel bir temele dayanır. Bu matematiksel temel bulanık mantık kümeler kuramı ve buna dayanan bulanık mantıktır [82]. FL yaklaşımında ana fikir, tamamıyla tek bir kümeye ait olma yerine, herhangi bir evrensel küme nesnelere, farklı alt kümelerine ait olmalarına kısmen izin verilmesidir. Zadeh'e göre FL yaklaşımı, çoklu değerliliklidir (multi-variable). Klasik mantığın (0,1) gibi iki önermesine karşılık bulanık kümeler kuramı, üç veya daha fazla sayıda önerme oluşturur [169]. Bulanık kümeler kuramına göre, kümedeki her bir eleman, klasik küme kuramında olduğu gibi "kümeyle ait" ya da "kümeyle ait değil" olarak, bir başka deyişle 0

veya 1 şeklinde değil, bir dereceye kadar üye olarak görülür [170]. Örneğin; U bir evrensel küme olsun. U evrensel kümesinin bir alt kümesi olan \tilde{A} bulanık kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu;

$$\mu_{\tilde{A}}(x):U \rightarrow [0,1], x \in U \quad (2.20)$$

Şeklinde tanımlanır [170]. Burada; $\mu_{\tilde{A}}(x)$: üyelik fonksiyonu, $[0,1]$ ise \tilde{A} bulanık kümesindeki x 'in üyelik fonksiyonu derecesidir [82,171].

Klasik mantık olarak bilinen matematiksel ve kavramsal sistemlerin hemen hepsi, Şekil 2.38'de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar; girdi, bu girdiyi çıktıya dönüştüren ve "sistem davranışı" olarak isimlendirilen bir kutu ve çıktı kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde çıktı veya işlemler yapılmaktadır [169].



Şekil 2.38. Klasik mantık sistemlerinin çalışma prensibi. [169]

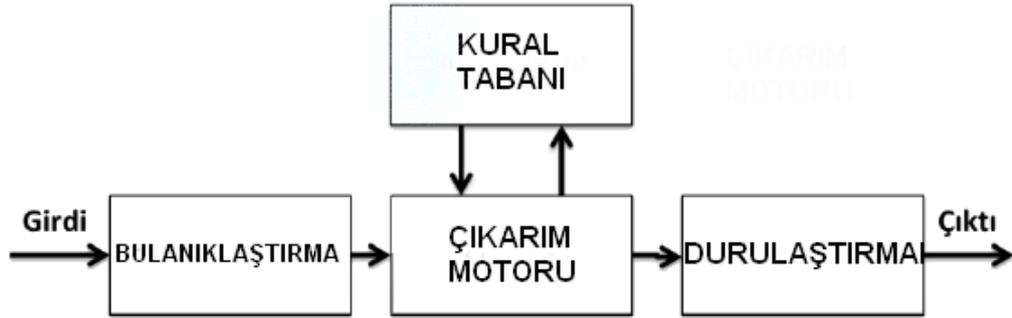
Bulanık küme teorisinin en önemli getirilerinden birisi de bulanık çıkarım sistemleridir [172]. Bulanık çıkarım sistemleri; girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiyi, bulanık küme işlemleri yardımıyla tanımlamakta ve girdi-çıktı veri çiftlerinin mevcut olması durumunda matematiksel optimizasyon yöntemleri ile model parametrelerini eniyileyebilmektedir [172]. Bulanık sistemlerin bahsedilen klasik tasarımdan farkı da, sistem davranışı kısmının dört alt birime ayrılması ve bu alt birimlerin kendi aralarında bağlantılı olmasıdır. Genel bir bulanık çıkarım sisteminin bahsedilen dört bileşeni;

- Bulanık kural tabanı,
- Bulanıklaştırma,
- Bulanık çıkarım motoru ve
- Durulaştırma

Olarak sıralanabilir [38,173]. Bulanık çıkarım sisteminin, bazı kaynaklarda beş bileşen olarak ele alındığına da rastlanmıştır [82]. Bu bileşenler; bulanık kural tabanı,

veritabanı, bulanıklaştırma ara yüzeyi, karar verme ünitesi ve durulaştırma ara yüzeyi, olarak sıralanmıştır [82].

FL metodunun çalışma sistemi, Şekil 2.39'da gösterilmiştir.



Şekil 2.39. Bulanık mantık (FL) metodunun çalışma sistemi. [38]

Girdi Birimi (Genel veri tabanı); problemin girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel veri tabanı olarak da adlandırılmasının nedeni, buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir [137]. Bulanık kural tabanı birimi; veritabanındaki girdileri çıktı değişkenlerine bağlayan mantıksal ve "eğer-ise" türünde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek bütün aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi, uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. Bu bağlamların tümü de kural tabanını oluşturur [137]. Bulanıklaştırma birimi; bulanık kural tabanında girdi ve çıktı bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıktılı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu birim, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdileri altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar [137]. Bulanık çıkarım motoru birimi; transfer edilen kümedeki girdilerden doğru sonucu çıkarmak için bulanık tabanı ve öğrenmelerdeki tüm bulanık kuralları hesaba katmaktadır. Temel olarak; "azaltma" (min) ve "sonuç" (prod) şeklinde iki tür sonuç çıkarma operatörü vardır. Durulaştırma birimi; bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürüldüğü birimdir [137]. Ağırlıkların ortalaması, ağırlıkların toplamı vb. birçok durulaştırma

metodu vardır. Çıktı birimi; bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir [169].

Bulanık çıkarım sisteminin her bir girdi ve çıktı değişkenleri için üyelik işlevi tanımlanmalıdır. Üyelik işlevinin sayısı, sistemin davranışına bağlı olmakla birlikte, aynı zamanda tasarımcının seçimine de bağlıdır [174]. Bunun yanısıra, geçmişten günümüze kadar yapılan bilimsel çalışmalarda, birçok bulanık sonuç çıkarma (bulanık çıkarım) sistemi tipi önerilmiştir [82]. Mamdani modeli (1975), Sugeno ve arkadaşlarının önerdiği Sugeno modeli (1983) ve Tsukamoto modeli (1979), bunlardan başlıcalarıdır [121,124,125,126,175,176]. Bahsedilen bulanık çıkarım sistemi modelleri; tip 1, tip 2 ve tip 3 olarak da bilinmektedir [82]. Fakat teorik olarak, hangi tip bulanık çıkarım sistemi tipinin diğerlerinden daha iyi olduğu konusunda bir kanıt bulunmamaktadır. Bir tipin seçimi temelde kullanıcının tercihine ve uygulamaya bağlıdır [177,178].

Özetlemek gerekirse; bulanık mantık (FL) kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması, en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. FL yaklaşımı, matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler başarılı uygulama alanlarıdır. FL yaklaşımında işaretlerin bir ön işleme tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin, az sayıda üyelik değerlerine indirgenmeleri uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlamaktadır. Ancak; sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı, bulanık mantığın temel dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır. En önemli dezavantajı ise; üyelik işlevlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması ve öğrenme yeteneğinin olmaması olarak gösterilmektedir [82,174].

3. Hibrit Metotlar (ANFIS) Yaklaşımı

Karmaşık bir yapıya sahip olan doğrusal olmayan sistemlerin çözümlenebilmesi için yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımından istifade edilerek gerçekleştirilen çalışmalardan başarılı sonuçlar alınmıştır [179]. Bulanık mantık (FL) yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen modelleme ve denetim uygulamaları da literatürde geniş yer tutmaktadır [180]. ANN ve FL yaklaşımlarının her birinin kendisine özgü yetenekleri nedeniyle,

bazı durumlarda birbirlerini tamamlar nitelikte oldukları fikrinden yola çıkılarak, yakın zamanda ANN ve FL yaklaşımlarının birlikte kullanıldığı hibrit teknikler ortaya çıkmıştır [38]. Bir başka ifadeyle, hibrit yapay zekâ yaklaşımları; ANN yaklaşımının öğrenme ve tanıma konusundaki avantajları ile FL yaklaşımının karar verme konusundaki avantajlarının birleştirilmesinin daha başarılı sonuçlar vereceği fikri üzerine kurulmuştur. Günümüz sistemlerinde, ANN ve FL yaklaşımları, hem ayrı ayrı hem de birleşik bir hibrit yaklaşım olarak kullanılabilir. Kullanılan hibrit yaklaşımlardan birisi de, işleyişi adaptif ağ yapısı içerisinde gerçekleşen ve bulanık bir model olan "adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi" (ANFIS) olarak bilinmektedir.

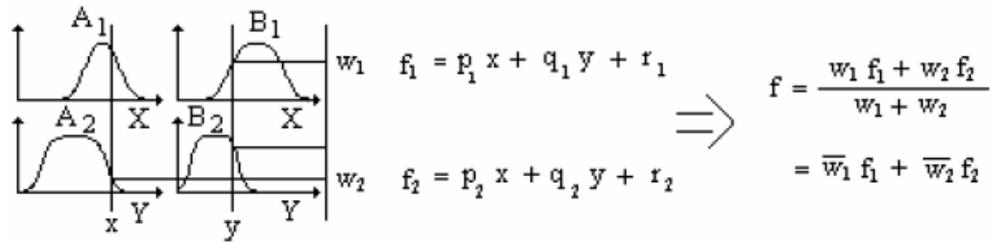
ANFIS; "uyarlamalı sinir ağlarının fonksiyonel olarak bulanık çıkarım sistemlerine eşdeğer olduğu hibrit yapı" olarak tanımlanmaktadır [82,177]. ANFIS yapısı, esasen, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir. Bu ağ, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere, tabakalar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur [181]. ANFIS, temel olarak bulanık mantık tabanlı bir öğrenme algoritması olarak kabul görmekte olup, özellikle dinamik sistemlerde iyi sonuçlar vermektedir [182]. ANFIS algoritması, hibrit öğrenme yapısı ile eldeki verilerden bulanık mantık sisteminin kurallarını ve üyelik fonksiyonlarını başarılı bir şekilde elde edebilmektedir. Bu sayede doğrusal olmayan dinamik sistemlerin kontrolünde büyük kolaylık sağlamaktadır [182]. Literatürde yer alan bazı kaynaklarda ise ANFIS, bulanık mantık (FL) yaklaşımı olarak ifade edilmiştir [119].

ANFIS modelleme tekniğinin basitleştirilerek ifade edilmesi adına, bulanık çıkarım sistemi; iki girdi (x ve y) parametresi ile tek bir çıktı (z) parametresine bağlı olarak değerlendirilirse, İki tane bulanık "eğer-ise" kuralı bulunan, birinci dereceden Sugeno bulanık modeli için tipik kural kümesi;

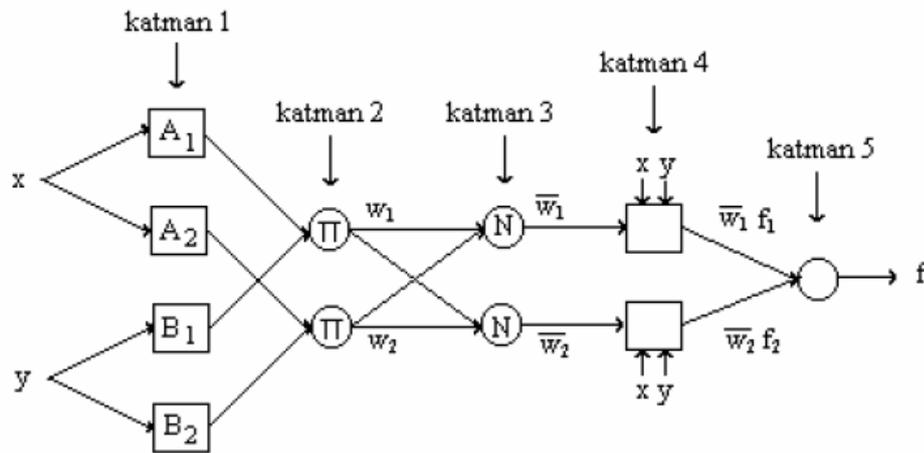
$$\text{Kural 1: Eğer } x, A_1 \text{ ise ve } y, B_1 \text{ ise o halde; } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2.21)$$

$$\text{Kural 2: Eğer } x, A_2 \text{ ise ve } y, B_2 \text{ ise o halde; } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (2.22)$$

Şeklinde ifade edilir [82,183]. Şekil 2.40.(a)'da, bahsedilen Sugeno bulanık modeli için bulanık akıl yürütme mekanizması gösterilmiştir. Bu yapıya karşılık gelen, eşdeğer ANFIS mimarisi de Şekil 2.40.(b)'de gösterildiği gibidir [183].



(a)



(b)

Şekil 2.40. (a) Birinci dereceden iki girişli ve iki kurallı "Sugeno Bulanık Modeli";
(b) Eşdeğer ANFIS yapısı.

Böylece, Şekil 2.40.(b)'de beş tabakalı olarak ifade edilen ve tamamıyla Sugeno bulanık modelinin işleyişine sahip olan ANFIS yapısı inşa edilmiş olur [177].

İki aşamalı bir öğrenme algoritması olan hibrit öğrenme algoritmasında, ANFIS ağ yapısına ait parametreler, girdi ve çıktı parametreleri olarak iki kısımda ele alınır [183]. Toplam parametre kümesi; $S=S_1+S_2$ şeklinde ifade edilecek olursa, S_1 girdi parametrelerine, S_2 de çıktı parametrelerine karşılık gelir. Hibrit algoritmanın ilk aşaması (ileri yön geçişi) ile ANFIS ağına ait girdi parametreleri, ikinci aşamada (geri

yön geçişi) ise ağıın çıktı parametreleri güncellenir. Hibrit öğrenme algoritmasının ileri yön geçişini oluşturan ve en küçük kareler tahmini (LSE) yöntemi kullanılmak suretiyle gerçekleştirilen kısmında, ağıın girişindeki üyelik fonksiyonlarına ait parametreler ya da kısaca S_1 ile belirtilen girdi parametreleri sabit tutulur. Böylece ağıın çıkışı, S_2 , parametre kümesi içinde bulunan çıktı parametrelerinin, doğrusal bir kombinasyonu haline gelir. Modelleneyecek sisteme ait P tane girdi-çıkıtı verisi ya da eğitim verisi ile S_1 girdi parametrelerinin verilen değerleri kullanılarak, ağıın çıkıtısı, matrisel formda;

$$A\theta = B \quad (2.23)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Matrisel eşitlikte yer alan θ vektörü, S_2 çıktı parametrelerinin elemanlarından oluşan, bilinmeyen vektördür. Bu denklem, standart doğrusal LSE problemini gösterir ve θ için en iyi çözüm, $\|A\theta - B\|^2$ nin minimum değeri olan, θ^* olarak tanımlanır.

$$\theta^* = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (2.24)$$

Burada; A^T , A matrisinin transpozunu ise ve eğer $(A^T A)$ tekil değilse, $(A^T A)^{-1} A^T$ ifadesi, A 'nın sahte inversidir. Bunun yerine, yinelemeli olarak LSE formülü de kullanılabilir. Özel olarak denklem (2.23)'deki A matrisinin i . satırını a_i^T ile B matrisinin i . elemanı b_i^T ile gösterilsin. Bu taktirde θ vektörü, iteratif olarak şu şekilde hesaplanabilir;

$$\begin{aligned} q_{i+1} &= q_i + S_{i+1} a_{i+1} (b_{i+1}^T - a_{i+1}^T q_i) \\ S_{i+1} &= S_i - \frac{S_i a_{i+1} a_{i+1}^T S_i}{1 + a_{i+1}^T S_i a_{i+1}}, \quad i = 0, 1, \dots, P-1 \end{aligned} \quad (2.25)$$

Burada; en küçük kareler tahmini θ^* , θ_P 'ye eşittir. Denklem (2.25)'de ihtiyaç duyulan başlangıç şartları;

- ✓ $\theta_0 = 0$
- ✓ $S_0 = \gamma I$

Olarak sıralanabilir. Burada; γ , pozitif büyük bir sayı, I ise $M \times M$ boyutunda birim matristir. Hibrit öğrenme algoritmasının geri yön geçişinde, S_2 çıktı parametreleri sabit tutulur ve ağıın çıkıtısındaki hata sinyali geriye doğru yayılarak, "eğim düşümü" (gradient

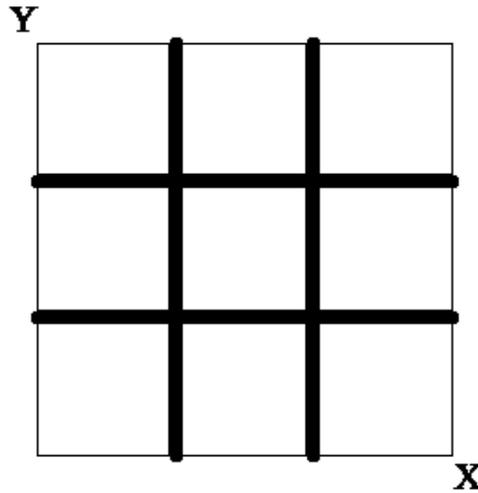
descent) yöntemiyle girdi parametreleri güncellenir. Geri yön geçişinde, girdi parametreleri için güncelleme formülü;

$$\Delta\alpha = -\eta \frac{\partial E}{\partial \alpha} \quad (2.26)$$

Burada; α herhangi bir girdi parametresini, η öğrenme oranını, E ise ağıın çıkışındaki hata değerini göstermektedir [184].

Ağ bölüştürme algoritması (GPA) ile eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA); ANN yaklaşımının öğrenme gücü ile FL yaklaşımının kural tabanlı sonuç çıkarma mekanizmalarının avantajlarını içeren ve hibrit öğrenme algoritmasının uygulandığı yapay zekâ algoritmalarından birisi olan ANFIS'in uygulandığı yapay zekâ yaklaşımlarıdır [82,84]. Literatürde, ANFIS yaklaşımının nümerik gruplandırma ve kural koyma gibi gelişmiş veri analiz metotlarını barındırmasından ötürü tahmin kapasitesinin ANN yaklaşımından daha iyi olduğuna dair sonuçlara rastlanmıştır [82]. ANFIS mimarisinin temel ve en güçlü özelliği; adaptif denetim yapısı ile doğrusal olmayan karmaşık sistemleri tanımlayabilmesidir [82]. Bu nedenle mevcut tez çalışmasında, çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) yaklaşımlarına ek olarak; ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) yaklaşımları da ele alınmıştır.

Bilindiği üzere bulanık sistemler; kural tabanı, üyelik fonksiyonları ve çıkarım mekanizması olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur. GPA yaklaşımı da; ağıın her bir girdi parametresi için küçük üyelik fonksiyonu sayısı gerektiren hibrit bir yaklaşım olarak bilinir [175]. Bulanık sistemlerde, daha önce bahsedilen bulanıklaştırma bloğu, üyelik fonksiyonlarını kullanarak girdi değerlerini bulanık değerlere dönüştürür. Belli bir kural tabanı dâhilinde sisteme kurallar konularak, çıkarım motorunda işlenir ve durulaştırma işlemi neticesinde sistem çıktıları elde edilir. GPA yaklaşımı da, bahsedilen işlemleri, ağ bölüştürme tekniği ile gerçekleştirir. GPA yaklaşımı kapsamında, iki boyutlu girdi uzayında yapılan tipik ağ bölüştürme, Şekil 2.41'de verilmiştir.



Şekil 2.41. Ağ bölüştürme algoritması (GPA) yaklaşımında ağ bölüştürme stili. [175]

GPA ile modellemede; bulanık küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğri olan üyelik fonksiyonunun sayısı, üyelik fonksiyonu türleri, iterasyon sayısı gibi değişkenler bulunur ve bu yapı, çoğunlukla girdi parametresi sayısının altıdan fazla olması durumunda tercih edilmemektedir [84]. GPA yaklaşımı; MATLAB, Version 7.9.0 yazılımı kapsamında da tanımlanmış olan ve Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini kullanan *genfis1* fonksiyonunun, veri üzerindeki ağırları bölerek çıktı olarak tekil bir bulanık çıkarım sistemi oluşturması esasına dayanır. *genfis1* fonksiyonu;

$$\text{fismat} = \text{genfis1}(\text{data}, \text{numMFs}, \text{inMFTType}, \text{outMFTType}) \quad (2.27)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada, numMFs; üyelik fonksiyonu sayısını, inMFTType; girdi üyelik fonksiyonu türünü, outMFTType; çıktı üyelik fonksiyonu türünü, ifade etmektedir.

GPA yaklaşımında; her bir değişken için üyelik fonksiyonu sayısı, genellikle 2 ya da 3 olarak seçilir. Kural sayısı = Üyelik fonksiyonu sayısı^{girdi sayısı} olduğu düşünülürse, 5 girdiden oluşan bir GPA modelinde, 2 üyelik fonksiyonu için; Kural sayısı = $2^5 = 32$, olarak elde edilir. 32 adet kural, 32 adet denklem demektir. Her denklemde 6 adet parametrenin olduğu göz önüne alınırsa (5 adet girdi parametresi ve 1 adet bağımsız parametre), bu sistemin toplam parametre sayısı; $32 \times 6 = 192$ olarak elde edilir. Benzer şekilde, 3 üyelik fonksiyonu için; kural sayısı = $3^5 = 243$ olarak elde edilir. 243 adet

kural, 243 adet denklem demektir. Bu sistemin toplam parametre sayısı da; $243 \times 6 = 1458$ olarak elde edilir.

Girdi üyelik fonksiyonu türü; sistemdeki her bir girdi verisi ile ilişkili üyelik fonksiyonu türünü belirten bir dizidir. ANFIS yaklaşımlarında kullanılan girdi üyelik fonksiyonları, literatürde yer alan bazı kaynaklarda fonksiyon biçimleri şeklinde ele alınırken, bazı kaynaklarda da geometrik şekil benzerlikleri yönü ile ele alınmışlardır [185]. İlgili duruma ilişkin şekil açısından birçok farklı üyelik fonksiyonu çeşidi olmakla birlikte, pratikte en yaygın kullanılanları; üçgen, yamuk ve gaussal üyelik fonksiyonlarıdır. Aşağıda, tez çalışması kapsamında kullanılan üçgen ve gaussal üyelik fonksiyonları ile ilgili kısa bilgilere yer verilmiştir.

Üçgen üyelik fonksiyonları a_1 , a_2 ve a_3 olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. a_2 ; fonksiyonun özünü oluştururken a_1 ve a_3 arasındaki değerler desteği oluşturur. $\mu_A(x)$ üçgensel üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir [185];

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2.28)$$

Formül (2.28)'e göre küme; $A=(a_1, a_2, a_3)$ olmalıdır. Burada a_2 ; normal değerli üyelik olarak tanımlanabilir. FL yaklaşımı da bu noktada, bir α katsayısına bağlı olarak a_2 'ye yakın değerlerin, bu değere yüklenen anlam ile temsil edileceğini varsaymaktadır. Diğer bir deyişle a_2 'deki belirsizlik, varsayılacak ya da dağılıma göre bulunabilecek bir α katsayısı ile tolere edilebilir. Söz konusu komşuluk, Şekil 2.42.(a)'da gösterilmiştir [175].

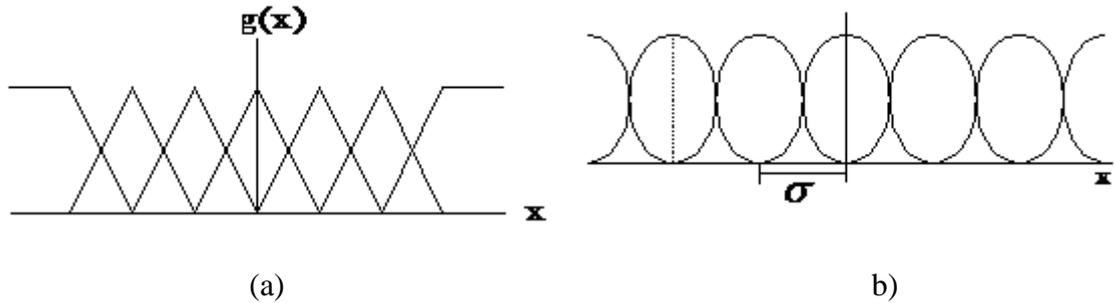
İstatistik bilminde kullanılan ihtimal yoğunluk fonksiyonlarının tepe noktasının 1'e eşit olması söz konusu değildir ve bu fonksiyonun altındaki alanın 1'e eşit olması gereklidir [185]. İhtimal yoğunluk fonksiyonları dışbükey oldukları için tepe noktası değerinin 1'e eşitlenmesi şartı ile üyelik fonksiyonu olarak da kullanılabilirler. Bu da normalizasyon formülünde bahsedildiği gibi tüm değerlerin tepe noktası değerine bölünmesi ile yerine

getirilmiş olur. İhtimal yoğunluk fonksiyonları arasında üyelik fonksiyonu olarak en sık kullanılamı ise gauss eğrisidir [186].

Gaussal üyelik fonksiyonu, formül (2.29)'da verilen m ve σ parametreleri ile ifade edilebilir ve Şekil 2.42.(b)'deki gibi gösterilir [186];

$$m_A(x; m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.29)$$

Burada; m ; fonksiyona ait dağılımın merkezini ve σ ; merkez etrafında fonksiyonun dağılımını, yani genişliğini ve şeklini belirler. σ küçüldükçe üyelik fonksiyonu daha sivri ve ince olurken, bu değer büyüdükçe üyelik fonksiyonu gittikçe yayvanlaşacaktır [187].



Şekil 2.42. (a) Üçgensel üyelik fonksiyonu; (b) Gaussal üyelik fonksiyonu. [175]

Çıktı üyelik fonksiyonu türü; çıktı verisi ile ilişkili üyelik fonksiyonu türünü belirten bir dizidir. GPA yaklaşımında kullanılan Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemlerinde tek çıktı verisi olduğu unutulmamalıdır. Çıktı üyelik fonksiyonu türü; doğrusal 'linear' ya da sabit 'constant' olabilir. Doğrusal üyelik fonksiyonunda denklemlerle işlem yapılırken, sabit üyelik fonksiyonunda katsayılarla işlem yapılmaktadır. Bu nedenle, sabit tipinde işlemler daha kısa sürmektedir. Ancak MATLAB yazılımının geçerli (default) olarak doğrusal üyelik fonksiyonu ile çalıştığı da gözardı edilmemelidir. Çıktı verisi ile ilişkili üyelik fonksiyonu sayısı ise genfis1 fonksiyonu tarafından belirlenen kural sayısına eşittir.

Bunların yanısıra, GPA yaklaşımında kullanılan iterasyon sayısı, iteratif ANN yaklaşımlarının avantajlarını içerir ve deneme-yanılma yolu ile bulunur. Girdi ve çıktı parametrelerinin üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkinin anlaşılabilmesi içinse, bir kural tabanının oluşturulması gerekmektedir. Bulanık mantık kural tabanının oluşturulabilmesi için ya deneysel verilerden ya da kazanılmış tecrübelerden yararlanılır. Daha önce de bahsedildiği üzere, üyelik fonksiyonları arasında "eğer-ise" şeklinde bir ilişki kurularak bulanık mantık kural tabanı elde edilir. Örneğin; tez çalışması kapsamında oluşturulan maliyet modelinin girdi parametrelerinden olan toplam inşaat alanı için üyelik fonksiyonları; (çok küçük, küçük, orta, büyük, çok büyük) şeklinde, çıktı parametresi olan kesin hesap tutarı için üyelik fonksiyonları; (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) şeklinde oluşturulabilir.

GPA yaklaşımında, model oluşturmak ve optimize etmek için geri yayımlı ve hybrid öğrenme algoritmaları kullanılabilir. Başka bir ifadeyle, eğitmede hata yayılımı; geri yayılım ve hybrid olmak üzere iki şekilde olur.

Sonuç olarak; GPA yaklaşımı ile yapılan analizlerden; girdi üyelik fonksiyonlarına karşılık hatayı gösteren çıktı üyelik fonksiyonu olan hatanın pozisyonu, sayısı ve çeşidi elde edilir.

Yapım işlerinin; kesin hesap tutarlarının, maliyet sapmalarının ve süresel sapmalarının tahmin edilmesi gibi nispeten karmaşık sistemlerin modellenmesinde, sadece GPA yaklaşımının kullanılmasının, hibrit yapay zekâ yaklaşımlarının performansları açısından geçerli sonuçlar verememe ihtimali göz önüne alınarak, ANFIS algoritmasında eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) da kullanılmıştır. Bahsedilen SCA yaklaşımından, bazı kaynaklarda "eksiltmeli sınıflandırma yöntemi" olarak bahsedildiği de görülmüştür [82]. SCA yaklaşımı, "bulanık eksiltmeli gruplandırma" olarak da bilinmektedir.

SCA yaklaşımında girdi-çıkı çiftleri kullanılarak, gruplandırma (kümeleme, clustering) işlemi ile bulanık sistemin oluşturulması hedeflenir [188]. SCA yaklaşımının en önemli avantajı; bulanık sistemde verilen parametreye/parametrelere göre en uygun üyelik fonksiyonu sayısını ve kuralları belirleyebilmesi olarak gösterilmektedir [82]. SCA

sistemindeki kural sayısı, girdi parametresi sayısına eşittir. Örneğin; beş girdi verisinden oluşan bir SCA sisteminin kural sayısı beş olur. Bunun yanında, SCA yaklaşımı oldukça karmaşık bir algoritma olarak da bilinir. Çünkü özellikle kompleks sistemlerde kural sayısının çokluğu istenmeyen bir problem olarak ortaya çıkar [188]. SCA yaklaşımında üyelik fonksiyonu türü olarak yalnızca, detayları yukarıda verilen gaussal kullanılabilir.

SCA yaklaşımı kapsamında kullanılan ve MATLAB, Version 7.9.0 yazılımı kapsamında da tanımlanmış olan ve Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini kullanan *genfis2* fonksiyonu, gruplandırma (clustering) algoritmasını kullanarak bulanık çıkarım sistemini oluşturur.

$$\text{fismat} = \text{genfis2}(X_{in}, X_{out}, \text{radii}) \quad (2.30)$$

Burada; X_{in} ; her bir satırı girdi verilerini içeren matrisi, X_{out} ; her bir satırı çıktı verilerini içeren matrisi, radii (yarıçap); her bir veri grubu için gruplandırma merkezinin etki aralığını tanımlayan bir veri grubu yarıçapı vektörünü, ifade etmektedir. Örneğin; veri boyutu 3 olsun (X_{in} iki sütuna, X_{out} tek sütuna sahip olsun). radii = [0.5 0.4 0.3] ifadesi; birinci, ikinci ve üçüncü veri gruplarının etki aralıklarının (X_{in} matrisinin birinci sütunu, X_{in} matrisinin ikinci sütunu ve X_{out} matrisinin sütunu), sırasıyla; 0.5, 0.4 ve 0.3 olduğunu ifade eder. SCA yaklaşımında, bahsedilen optimum veri grubu yarıçapı, deneme-yanılma yoluyla bulunur. Yarıçapın değeri azaldıkça, üyelik fonksiyonu sayısının artacağı öngörülmektedir. Ayrıca SCA yaklaşımında da GPA yaklaşımındaki gibi; model oluşturmak ve optimize etmek için geri yayımlı ve hybrid öğrenme algoritmaları kullanılabilir. Aynı şekilde, SCA yaklaşımında kullanılan iterasyon sayısı da, GPA yaklaşımında olduğu gibi iteratif ANN yaklaşımlarının avantajlarını içerir ve deneme-yanılma yolu ile bulunur.

SCA yaklaşımının analizleri, genel olarak dört adımda tamamlanır [188]. Bu adımlar, aşağıda sıralanmıştır.

Birinci adımda; ilk girdi-çıkı çifti için gruplandırma merkezleri ve veri grubu yarıçapı (r , radii) belirlenir. $A^1(l) = y_o^l$ ve $B^1(l) = 1$, ilk değerleri atanır. $A^1(k)$ k girdi/çıkı için

l 'nci kümedeki çıktıların toplamı, $B^l(k)$ ise k girdi/çıkıtı için l 'nci kümedeki girdi/çıkıtı sayısıdır.

İkinci adımda; k 'nci girdi/çıkıtı çifti için x_o^k 'nin gruplandırma (cluster) merkezine olan uzaklığı hesaplanır. Eğer $|x_o^k - x_c^k| > r$ ise x_o^k yeni cluster merkezi olarak atanır.

Üçüncü adımda; eğer $x_o(k)$ yeni bir küme oluşturmuyor ise k girdi/çıkıtı çifti $(x_o^j; y_o^j)$, $j=1,2,3, \dots,k$ için formül (2.31)'de verilen bulanık sistem tasarlanır;

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M A^l(k) \exp\left(-\left(\frac{x - x_c^{-l}}{s}\right)^2\right)}{\sum_{l=1}^M B^l(k) \exp\left(-\left(\frac{x - x_c^{-l}}{s}\right)^2\right)} \quad (2.31)$$

Dördüncü adımda; $k=k+1$ için ikinci adıma geri dönülüp, işlemler tekrarlanır [188].

4. Sezgisel Algoritmalar Yaklaşımı

Bilimin farklı alanlarında çalışmalar yapan araştırmacılar, doğanın zor problemlerde kullandığı çözümlerden esinlenerek birçok fikir elde etmişlerdir. Bu alanlardan birisi de, optimizasyon problemlerinin çözüm yöntemlerini araştıran sezgisel algoritmalarıdır [189].

Sezgisel algoritmalar yaklaşımı; kurulması zor olan matematiksel modellere ihtiyaç duymamasının ve hesaplama gücünün iyi, dönüşümlerinin kolay olmasının yanında, farklı tipte karar değişkenlerinin, amaç ve sınırlayıcıların olması durumunda problem formülasyonlarına uygulanabilecek genel çözüm stratejileri sunması gibi avantajlarından dolayı; mühendislik bilimi, yönetim bilimi, bilgisayar vb. birçok farklı alanda yoğun olarak kullanılmakta ve bu yaklaşım kapsamında sürekli yeni teknikler geliştirilmektedir [189].

Sezgisel algoritmalar, konusuna göre; biyolojik tabanlı, fizik tabanlı, sosyal tabanlı, kimya tabanlı ve müzik tabanlı olmak üzere farklı gruplara ayrılmaktadır [189]. Genetik algoritma (GA), diferansiyel gelişim algoritması, karınca koloni algoritmaları, arı koloni algoritmaları ve yapay bağışıklık sistemleri gibi algoritmalar biyolojik tabanlı; ısıl işlem

ve elektromanyetizma algoritması gibi algoritmalar fizik tabanlı; tabu arama, emperyalist yarışmacı algoritma gibi algoritmalar sosyal tabanlı; yapay kimyasal reaksiyon algoritması kimya tabanlı ve armonik algoritma ise müzik tabanlı algoritmalara örnek olarak verilebilir [190].

Tez çalışmasının kapsamı dışında olduğundan dolayı, sezgisel algoritmalar yaklaşımı ile ilgili detaylı bilgiye, mevcut tez çalışması kapsamında yer verilmemiştir.

5. Uzman Sistemler Yaklaşımı

Her sorunu çözebilecek genel amaçlı programlar yerine belirli bir uzmanlık alanına ait programlar kullanma fikri, yapay zekâ alanında yeni bir çığır açmış ve kısa sürede "uzman sistemler" adı verilen bir yaklaşım ortaya çıkmıştır [191].

Uzman sistemler; herhangi bir karmaşık sistemde, uzman bir kişinin düşünce biçimini taklit ederek o kişinin yaptığı işleri yapan bir bilgisayar yazılımı, olarak düşünülebilir. Bu yazılımlar genellikle; ara yüz, veri tabanı, kural tabanı vb. birden fazla programdan oluştuklarından dolayı, sistem olarak adlandırılırlar [191]. Uzman sistemler, özel bir alanda uzmanlık gerektiren problemleri çözebildiklerinden ve bu bilgiyi belli bir formatta temsil edip, saklayabildiklerinden dolayı, "bilgiye dayalı sistemler" olarak da adlandırılırlar [192]. Uzman sistemler; veri tabanı ve karar verme mekanizması olmak üzere iki tipik öğeden oluşur [193].

Uzman sistemler hazırlanırken, hemen hemen bütün programlama dilleri kullanılabilir. Örneğin; "quick basic" programlama dili kullanılarak, CNC tezgahları için ideal simülasyon programları hazırlanabilir [194]. Bunun yanısıra; Prolog, lisp, OPS5 gibi programlama dilleri de uzman sistemler kapsamında kullanılabilir [193].

Tez çalışmasının kapsamı dışında olduğundan dolayı, uzman sistemler yaklaşımı ile ilgili detaylı bilgiye, mevcut tez çalışması kapsamında yer verilmemiştir. Aslında uzman sistemler yaklaşımının; ANN, FL gibi yapay zekâ yaklaşımlarından ayrı olarak düşünülmesi de doğru değildir. Çünkü yapay zekâ yaklaşımları, uzman sistemler ile bir bütündür ve uzman sistemlerden ayrı değerlendirilmesi mümkün değildir. Örneğin; tez çalışması kapsamında kullanılan ANN yaklaşımlarının ve hibrit yapay zekâ

yaklaşımlarının analizleri, MATLAB, Version 7.9.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [92]. MATLAB, Version 7.9.0 yazılımının da; C, C++, Java ve Fortran programlama dillerini içerdiği bilinmektedir [92].

2.4. Regresyon Analizi (RA) Yöntemi ile Yapım Maliyeti, Maliyet Sapması ve Süresel Sapmanın Modellenmesi

Bilimin temel amaçlarından birisi, değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmaktır [195]. Hem değişkenler arasındaki ilişkilerin derecelerinin, hem de bu ilişkilerin fonksiyonel şekillerinin belirlenmesinde de istatistik bilimi önemli yer tutmaktadır [195].

İstatistik biliminin amacı; ana kütlede çekilen örnek kütlelerden elde edilen bilgilere dayanarak tahminde bulunmaktır. İstatistiksel araştırma ise ortak bir kanıya veya bir kurama dayanan hipotezlerin kanıtlanma sürecinden oluşmaktadır. Ana kütle temsil yeteneğine sahip bir örnek kütleyle dayanılarak ana kütle hakkında bir tahminde bulunulabilir. Ancak bunun doğru olduğunun kanıtlanması gerekmektedir. Bu nedenle, ana kütlede örnek kütle seçilerek tahminde bulunulabilmesi için hipotez testleri yapılır [196]. Hipotez testi; doğruluğu bir araştırma ya da deneyle test edilmeye çalışılan hipotezlerin (öngörülerin), düşünülen/bilinen durum ile farklı olup olmadığını araştıran yöntemdir [86].

Hipotez testlerinde iki hipotez mevcuttur. Birinci hipotez, bir veya birden çok ana kütleyle ilgili bir görüş olup, yanlışlığı kanıtlanana kadar doğru olduğu kabul edilen "sıfır hipotezi" (null hipotez) olarak adlandırılır ve H_0 ile simgelenir. İkinci hipotez ise ana kütle temsil yeteneğine sahip örnek kütle istatistik değerlerine dayanan ve H_0 'a karşı olan "karşıt hipotez"dir ve H_1 ile simgelenir. İstatistiksel araştırmanın son aşaması, H_0 'ın reddedilmesi veya reddedilememesi (kabul edilmesi) olarak ifade edilebilir. Bu durumda dört farklı sonuç ortaya çıkar [197];

- 1) H_0 doğrudur ve kabul edilir,
- 2) H_0 doğrudur ve reddedilir (I. tip hata),
- 3) H_0 yanlıştır ve kabul edilir (II. tip hata),
- 4) H_0 yanlıştır ve reddedilir.

Verilen sonuçlar incelendiğinde, birinci ve dördüncü sonuçların mantığa uygun olduğu görülmektedir. Ancak ikinci ve üçüncü sonuçlarda mantık hatası olduğu göze çarpmaktadır.

Hipotez testlerinde, H_0 'ın yanlışlıkla reddedilmesi ya da kabul edilmesi sonucu işlenen hataya "yorumlama (çıkarsama) hatası" adı verilir [198]. Yukarıda bahsedilmek istenen mantık hataları da esasen yorumlama hatalarıdır. Yukarıda verilen sonuçlardan ikincisine "I. tip hata" adı verilir. Üçüncü sonuca ise "II. tip hata" denir. Hipotez testlerinde istenen, test sonucunda H_0 hipotezinin kabul edilmesi olmalıdır. Özet olarak; istatistik sadece tahminde bulunur ve H_0 her zaman kanıtlanmayı bekler [196].

Hipotez testleri altı ana aşamada yapılır [196];

1. *Hipotezlerin belirlenmesi*: H_0 ile H_1 belirlenir. H_0 ; ana kütle parametreleri ile istatistiksel değerler arasında fark olmadığını öne sürerken, H_1 ; ana kütle parametreleri ile istatistiksel değerler arasında fark olduğu öne sürer.
2. *Önem (anlamlılık) düzeyinin belirlenmesi*: Önem düzeyi (α), doğru olduğu halde H_0 'ın reddedilme olasılığı olup I. tip hata işlemenin maksimum olasılığı olarak tanımlanabilir [198]. Bir başka deyişle, yukarıda yer alan dört farklı sonucun ikincisidir. Önem düzeyi, hipotez testindeki yanılma riskinin ifadesidir [86]. Güven aralığı ($1-\alpha$) ise gerçekte doğru olan H_0 'ın kabul edilme olasılığı olup yukarıda yer alan dört farklı sonucun birincisidir. (β) ise II. tip hata olarak ifade edilir ve yanlış H_0 'ın kabul edilmesi demektir. Bir başka deyişle, yukarıda yer alan dört farklı sonucun üçüncüsüdür. Testin gücü ($1-\beta$) ise yanlış H_0 'ın reddedilmesi anlamına gelir ve yukarıda yer alan dört farklı sonucun dördüncüsüdür.
3. *İstatistiksel test tekniğinin belirlenmesi*: Test için uygulanacak olan istatistiksel teknik, kurulan hipotezlerde hangi parametrelerin yer aldığına bağlı olarak seçilir. Hipotez testlerinde; merkezi eğilim ölçüleri, yüzdeler, parametrik test teknikleri ve parametrik olmayan test teknikleri kullanılmaktadır. Bu tekniklere detaylarına aşağıda yer verilmiştir. İstatistiksel test tekniğinin belirlenmesi aşamasında, genel olarak; örneklemin parametrik olup olmama durumu göz

önüne alınır [86]. Eğer örneklem parametrik ise parametrik bir test tekniği kullanımı öngörülür ve örneklem büyüklüğüne bakılır. Örneklem büyüklüğü 30'a eşit ya da 30'dan küçükse, genellikle t-testi tercih edilir. Örneklem büyüklüğü 30'dan büyükse tercihen z-testi kullanılır [86].

4. *Ret bölgesinin belirlenmesi:* Ret bölgesi, örneklem dağılımında, doğru olan H_0 'ın reddedilme olasılığına eşit olan oransal alan olarak tanımlanır [198]. Ret bölgesi, H_0 doğru olduğunda, beklenmeyen örneklem istatistiği değerlerini temsil eder. Ret bölgesinin büyüklüğü, önem düzeyinin belirlenmesi ile ortaya çıkar ve (α) ile gösterilir. Ret bölgesinin dışında kalan bölge ise $(1-\alpha)$ ile gösterilir. Ret bölgesi, tek yönlü veya iki yönlü olabilir. Kritik bölge, yalnız bir yönde test istatistiğinin uç değerlerine bağlı ise (ret bölgesi eğrinin bir ucunda ise) test tek yönlüdür. Ancak; $H_0: \mu_1=\mu_2$, $H_1: \mu_1>\mu_2$ ise ret bölgesi eğrinin sağ ucunda (tek yönlü üst kuyruk), $H_0: \mu_1=\mu_2$, $H_1: \mu_1<\mu_2$ ise ret bölgesi eğrinin sol ucundadır (tek yönlü alt kuyruk). Test iki yönlü ise; $H_0: \mu_1=\mu_2$, $H_1: \mu_1\neq\mu_2$ olup, ret bölgesi eğrinin iki ucundadır. H_0 'ın reddedileceği bölge ile reddedilemeyeceği bölge arasında kalan bölgeye de "kritik değer" adı verilir.
5. *Test istatistiğinin hesaplanması:* Test istatistiği, örnek kütleden elde edilen ve H_0 'ın reddedilmesinde veya reddedilmemesinde kullanılan değerdir. Test istatistiği, araştırma sonucu elde edilen verilerin test istatistik formülünde yerine konularak işlem yapılmasıyla elde edilir. Bilgisayar yazılımlarında ise test istatistiği değeri, otomatik olarak hesaplanabilmektedir.
6. *Karar ve yorum:* Çizelgeden elde edilen kritik değer, örnek kütleden elde edilen test istatistiği ile karşılaştırılması sonunda, çözümle ilgili bir sonuca varmayı ve bu sonucu değerlendirmeyi içerir. Karşılaştırma sonucunda; istatistik değer \leq kritik değer ise H_0 kabul edilir, istatistik değer $>$ kritik değer ise H_0 reddedilir.

Hipotez test teknikleri, ilgilenilen değişkenlerin ölçülmesinde benimsenen ölçüte bağlı olarak;

- Parametrik test teknikleri,
- Parametrik olmayan (non-parametrik) test teknikleri,

Olmak üzere ikiye ayrılır [86,196]. Parametrik test teknikleri; değişkenlerin nicel (sayısal) olması durumunda uygulanabilen tekniklerdir [86]. Parametrik test teknikleri, örneklem sayısının tek ya da iki oluşuna ve iki örneklemin varlığında, bu örneklemelerin bağımlı ya da bağımsız oluşlarına bağlı olarak sınıflandırılırlar ve normal dağılımlı örneklemelerin karşılaştırılmasında kullanılırlar [86,198]. Parametrik test teknikleri; z-testi, t-testi, F-testi (ANOVA), regresyon analizi ve korelasyon (ilgileşim) test teknikleri olarak gruplandırılabilir [196]. Parametrik olmayan test teknikleri ise; değişkenlerin belirli nitel özelliklerine odaklanmayı esas alan tekniklerdir [86]. Parametrik olmayan test teknikleri, değişkenlerinin ölçülmesinde sınırlayıcı ya da sıralayıcı ölçeğin kullanıldığı test teknikleridir [198]. Parametrik olmayan testler, ana kütle dağılımı nasıl olursa olsun uygulanabilen testlerdir. Bu testlerde, parametrelerle ilgilenilmeyip, hipotezler, ilgili değişkenin belirli bir nitel özelliğine göre oluşturulur [198]. Parametrik olmayan testler, örneklemin normal dağılıma uygun olmadığı durumlarda kullanılır [86]. Parametrik olmayan test teknikleri; Ki-kare, İşaret, Wilcoxon, Mann-Whitney ve Kruskal Walls test teknikleri olarak gruplandırılabilir [196].

Hipotez testleri;

- Oranlar,
- Ortancalar,
- Ortalamalar,

Olmak üzere üç tip parametre ile ilişkilidir [196]. Oranların karşılaştırılmasında; veriler bağımlı ise ve iki veri grubu varsa McNemar test tekniği, veri grubu ikiden fazlaysa Cochran Q test tekniği kullanılır. Veri grupları bağımsız değilse ve iki veri grubu varsa Ki-kare ve Fischer test teknikleri, veri grupları ikiden fazlaysa Ki-kare test tekniği kullanılır. Ortancaların karşılaştırılmasında; iki veri grubu olması halinde bu veriler bağımlı ise Wilcoxon test tekniği, değilse Mann-Whitney U test tekniği kullanılır. İki

veri grubu olması halinde bu veriler bağımlı ise Varyans çözümleme tekniği, bağımsızsa Kruskal-Wallis varyans test tekniği kullanılır. Ortalamaların karşılaştırılmasında ise; dağılımın normal olması halinde parametrik test teknikleri, aksi halde parametrik olmayan test teknikleri kullanılır.

Tez çalışmasının bu bölümünde, bütün istatistiksel yaklaşımların detaylarına yer verilmeyecek olup, çalışmanın uygulama ve analiz bölümünde yararlanılacak olan parametrik testlerden; t-testi, F-testi (ANOVA) ve regresyon analizi (RA) tekniklerinin detaylarına yer verilecektir.

t-testi

t-testi, iki grubun aritmetik ortalamalarının karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal veya istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını test etmede kullanılır [199]. t-testi, genellikle, örneklem büyüklüğü, $n \leq 30$ olması veya ana kütle varyansının bilinmemesi durumunda tercih edilir [86,200]. $n > 30$ olması ve ana kütle varyansının bilinmesi durumunda ise genellikle z-testi kullanılır [200].

t-testinde, H_0 'ın kabul edilip edilmeyeceğine ilişkin yorum yapabilmek için, öncelikle örneklemin t değeri ($t_{\text{örneklem}}$) hesaplanmalıdır [86]. Buna göre;

$$t_{\text{örneklem}} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (2.32)$$

Formülü kullanılır [86]. Burada; \bar{x} : örneklemin ortalaması, μ : ana kütle (popülasyonun) ortalaması, σ : ana kütle standart sapması ve n : örneklemin büyüklüğü, şeklinde tanımlanabilir [86].

Eğer formül (2.32)'deki σ ifadesi bilinmiyorsa, onun yerine örneklemin standart sapması (s) kullanılabilir [86]. Bu durumda, formül (2.32)'deki ifade;

$$t_{\text{örneklem}} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (2.33)$$

Şekline dönüşecektir [86]. Böyle bir durumda da, $n > 30$ olsa bile t-testi tercih edilir [86].

$t_{\text{örneklem}}$ değeri hesaplandıktan sonra, mevcut tez çalışmasında EK-3 olarak verilen "t dağılım çizelgesi"nden, önem düzeyi (α) değerine karşılık gelen kritik değer (t_{kritik}) değerinin elde edilebilmesi için, örneklemin serbestlik derecesi (d_f) hesaplanmalıdır [86]. d_f değeri; örneklem büyüklüğü n olan bir örnekleme, $(n-1)$ sayıda verinin olma olasılığı biliniyorsa, "n. değer de olma olasılığının bilindiği" anlamına gelmektedir [86]. Serbestlik derecesi;

$$d_f = n - 1 \quad (2.34)$$

Formülü ile hesaplanır [86]. Burada; n :örneklem büyüklüğüdür. d_f değeri de hesaplandıktan sonra, t dağılım çizelgesinden α ve d_f değerlerine karşılık gelen t_{kritik} değeri bulunur. t dağılım çizelgesinde α değeri; tek kuyruk sınaması için ve çift kuyruk sınaması için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bununla birlikte, çift kuyruk sınaması için verilen α değeri, tek kuyruk sınaması için verilen α değerinin iki katı olarak aynı sütunlarda tanımlanmıştır. t dağılım çizelgesinde, α 'nın; tek kuyruk sınaması için %10, %5, %2,5, %1, %0,5 ve %0,05, çift kuyruk sınaması için de %20, %10, %5, %2, %1 ve %0,1 değerleri ile d_f 'nin 1,2,..., 120, ∞ değerlerine karşılık gelen t_{kritik} değerleri yer almaktadır. Çizelgenin satırlarını d_f değerleri, sütunlarını ise α değerleri oluşturmaktadır. Mevcut olan d_f ile α değerlerinin çizelgede kesiştiği noktadaki değer, t_{kritik} değeridir. Mevcut d_f değeri, çizelgede tam olarak tanımlanmamış olabilir. Bu durumda, d_f değerinin bir üstündeki ve bir altındaki değerler seçilir ve seçilen iki değer arasında enterpolasyon yapılarak tam değer hesaplanması doğru olur. Son olarak da; önceki aşamada hesaplanmış olan $t_{\text{örneklem}}$ değeri ile t dağılım çizelgesinden elde edilen t_{kritik} değeri karşılaştırılır. Sonuç olarak; $\|t_{\text{örneklem}} \leq t_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 kabul edilir. Aksi halde, yani $\|t_{\text{örneklem}} > t_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 reddedilir [86].

t-testi, üç farklı örneklem türü için gerçekleştirilebilir. Bu örneklem türleri şu şekilde sıralanır;

- 1) Bir örnek kütleli (tek örneklem) t-testi: Bir örneklem üzerinden herhangi bir hipotezin doğruluk derecesini test etmek için kullanılan t-testidir [86]. Örneğin; "Bir grubun bir niteliğe ait ölçümlerinin ortalaması önceden bilinen bir değerden farklı mıdır?" sorusunun cevabı bu test ile aranabilir [199].
- 2) Bağımsız örnek kütleler (bağımsız iki örneklem) t-testi: Farklı ana kütlelerden, yani birbirleri ile alakası olmayan ana kütlelerden elde edilen örneklemelerin karşılaştırılmasında kullanılan t-testidir [86]. Örneğin; "İki ayrı grubun aynı niteliğe ait ölçümlerinin ortalamaları farklı mıdır?" sorusunun cevabı bu test ile aranabilir [199].
- 3) Eşli örnek kütleler (eşleştirilmiş örneklem) t-testi: Özellikle kontrollü ve deneysel çalışmalarda, aynı örneklemelerin farklı durumlarının karşılaştırılmasında kullanılan t-testidir [86]. Örneğin; "Bir grubun iki ayrı niteliğe ait ölçümlerinin ortalamaları farklı mıdır?" sorusunun cevabı bu test ile aranabilir [199]. Eşli örnek kütleler t-testi;
 - a) Bir örneklemin, iki farklı değişkene ilişkin ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla,
 - b) Bir örneklemin, belli bir uygulama öncesi ve sonrasında, belli bir değişkenine ait ölçümlerin karşılaştırılarak, bu ölçümler arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek amacıyla,
 - c) Aynı örneklem grubunun kullanılmasının imkânsız olduğu araştırmalarda, özellikleri birbirine benzeyen iki farklı örneklemin tek bir örneklem gibi varsayılarak iki ölçüme ilişkin ortalamaların karşılaştırılması amacıyla,

Olmak üzere üç durum için kullanılır [86].

F-testi (ANOVA)

t-testi, sadece iki grup arasındaki farklılıkları incelemek için kullanılabilir. Grup sayısı ikiden fazla ise F-testi (ANOVA) uygulanır [86]. Bazı kaynaklar, ANOVA testini, bağımsız örnek kütleler (bağımsız iki örneklem) t-testinin daha gelişmiş olarak ifade ederler [201]. F-testi (ANOVA), bazı kaynaklarda varyans analizi olarak da ifade edilmiştir. ANOVA kelimesi, "ANalysis Of VAriance" ifadesinin kısaltması olarak

literatüre geçmiştir [201]. ANOVA, Sir Ronald Aylmer Fischer tarafından ortaya konulmuş bir yöntem olup, temelde, beklenen ve gözlenen değerlerin uyumunu test etmeye yarayan Ki-kare dağılımından türetilmiş bir dağılımdır.

Regresyon analizinde ANOVA, bağımsız değişkenlerin kendi aralarında nasıl etkileşime girdiklerini ve bu etkileşimlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılır [200]. Bir başka deyişle, bağımlı değişkenin (y), bağımsız değişkenlerin (x_1, x_2, \dots, x_n) hepsi ile doğrusal olarak bağımlı olup olmadığı, ANOVA ile belirlenebilir. Ancak ilişki varsa ANOVA ile ilişkinin hangi değişken nedeniyle meydana geldiği belirlenemez [200].

ANOVA'nın yapılabilmesi için;

- Örneklemelerin ana kütleleri normal dağılımlıdır,
- Örneklemelerin ana kütle varyansları eşittir,
- Örneklemeler birbirlerinden bağımsızdır,

Şartlarının sağlanması gereklidir.

Modeldeki değişkenler arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için, hipotezler;

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0 \\ H_1 : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \dots \neq \beta_n \neq 0 \end{aligned} \quad (2.35)$$

Şeklinde formüle edilir [200].

H_0 (yokluk hipotezi), bütün parametrelerin sıfır olduğunu, dolayısı ile bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından açıklanamadığını, yani modelin istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ifade eder [202]. H_1 (varlık hipotezi) ise bu parametrelerden en az ikisinin sıfırdan farklı olduğunu, dolayısıyla modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ifade eder [202].

Korelasyon katsayısının, yani (R)'nin karesi olarak ifade edilen determinasyon katsayısı (R^2) yardımıyla yapılan F-testi için $F_{\text{örneklem}}$ formülü;

$$F_{\text{örneklem}} = \frac{R^2 / (k-1)}{1 - R^2 / (n-k)} = \frac{R^2}{(1-R^2)} \times \frac{(n-k)}{(k-1)} \quad (2.36)$$

Şeklinde ifade edilebilir [203]. Burada; k : kestirilecek parametre sayısı, $(k-1)$: bağımsız değişken sayısı ve n : gözlem sayısı, olarak ifade edilebilir [203].

Belli bir α önem düzeyinde, tez çalışmasında EK-4 olarak verilen "F dağılım çizelgesi"nden, $F_{(k-1, n-k)}$ değerine karşılık gelen kritik değer elde edilir. F dağılım çizelgesinde; sütunda yer alan D_{f1} değeri, $(k-1)$, yani bağımsız değişken sayısını, satırda yer alan D_{f2} değeri ise $(n-k)$, yani gözlem sayısı ile kestirilecek parametre sayısının farkını ifade etmektedir. D_{f1} ve D_{f2} değerlerinin kesiştiği noktadaki değer, yani F_{kritik} elde edildikten sonra, Formül (2.36) ile hesaplanan $F_{\text{örneklem}}$ ile karşılaştırılır. Eğer α önem düzeyinde; $\|F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 reddedilir ve modeldeki bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıkladığına ve aralarındaki korelasyonun sıfırdan farklı olduğuna, yani modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu karar verilir [200]. Aksi halde, yani $\|F_{\text{örneklem}} \leq F_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 kabul edilir ve korelasyonun sıfır, dolayısıyla modelin istatistiksel olarak anlamsız olduğu ortaya çıkar.

F-testi, üç ana alt grup altında yapılır;

- 1) İlişkisiz örneklem için tek yönlü (faktörlü) ANOVA: ANOVA testi sonuçları, sadece gruplar arasında herhangi bir fark olup olmadığını gösterir. Bu farklılığa sebep olan örneklemle/örneklemlerle ilgili bilgi vermez. Bu bilgiyi, ilişkisiz örneklem için tek yönlü (faktörlü) ANOVA verir [86]. Tek yönlü ANOVA testinin uygulanabilmesi için, bir bağımlı ve bir bağımsız değişken olması ve bağımsız değişkenin iki ya da daha fazla gruptan oluşması gereklidir. Tek yönlü ANOVA'da, iki temel varsayım vardır [86];
 - a) Her bir grup, normal dağılımdan gelir,
 - b) Grupların varyansları homojendir.

Örneğin; "Grupların ortalamaları birbirinden farklı mıdır?" sorusunun cevabı bu test ile aranabilir [199].

2) İlişkisiz örneklemeler için çift yönlü (faktörlü) ANOVA: Tek yönlü ANOVA'da tek etken ve tek değişken söz konusu iken, çift yönlü ANOVA'da iki etken ve yine tek değişken söz konusudur. Çift yönlü ANOVA'da dört temel varsayım vardır;

- a) Bağımlı değişken en az aralık ölçeğindedir,
- b) Bağımlı değişkene ait puanlar her bir alt grupta normal dağılım gösterirler,
- c) Grupların aynı zamanda elde edilen puanlarının varyansları eşittir,
- d) Ölçüm setlerinin ikili kombinasyonları için grupların kovaryansları eşittir. (Kovaryans, iki rastgele değişkenin birlikte değişimlerini inceleyen bir istatistik olup, iki değişkenin birlikte değişimlerinin ölçüsüdür.)

Örneğin; "Birden fazla niteliklerin tek tek veya birlikte ortalamalara etkisi var mıdır?" sorusunun cevabı bu test ile aranabilir [199].

3) İlişkili örneklemeler için tek yönlü (faktörlü) ANOVA: Tek bir gruba ait üç ya da daha fazla puanın farklılaşıp farklılaşmadığını tekrarlı ölçümlerle test eder [199].
Örneğin; "Bir kişinin üç ayrı puan türü arasında fark var mıdır?" sorusunun cevabı bu test ile aranabilir [199].

Regresyon Analizi (RA)

Regresyon; sözcük anlamı olarak, bir şeyi başka bir şeye bağlama işi ve biçimidir [195]. Regresyon terimi, bilimsel olarak, değişkenler arasındaki ilişki ve bağıntıların incelenmesini kapsayan bir kavram olarak tanımlanabilir [204]. İlk kez, 1897 yılında Galton'un kalıtım kuramı ile ilgili çalışmalarında adı geçen bu kavram, günümüzde birçok farklı alanda kullanılabilir [204].

Regresyon analizi (RA), iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur [52]. RA, bir başka tanıma göre, bir bağımlı değişken ile bir bağımsız (basit) veya birden fazla bağımsız (çoklu) değişken arasındaki ilişkilerin

bir matematiksel eşitlik ile açıklanması süreci olarak tanımlanmaktadır [205]. RA, aralarında sebep-sonuç bağlantısı bulunan bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin modelini saptamakta ve bu model kullanılarak gelecekle ilgili tahminler yapılmasına imkân tanımaktadır [206]. RA ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun gücü hakkında bilgi edinilebilir [207]. Bir başka ifade ile RA, bağımsız değişkenlerden bağımlı değişkenleri hesaplayabilmenin yanında, yapılan işlemlerin sonucunda sistemin hata payını ölçmek ve değişkenler arasındaki ilişkinin güçlülük derecesini ölçmek amacıyla da gerçekleştirilebilir [34]. RA yönteminin temel amaçları, şu şekilde sıralanabilir [55];

- Değişkenler arasında ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek,
- Varsa ilişkiyi matematiksel denklem ile ifade edebilmek,
- Regresyon denklemi ile gerçekleştirilen tahminin doğruluğunu değerlendirmek,
- Bağımsız değişkenin/değişkenlerin, bağımlı değişken üzerindeki rölatif önemini terimsel olarak ifade edebilmek.

RA yönteminde, tahmin edilen değer ile gözlenen değer arasındaki farkın karesini minimum yapmaya çalışan en küçük kareler (LSE) metodu ile ilişki kurulmaya çalışılır [43]. Buna göre; mevcut verilere dayanılarak, veri setindeki bütün verilerin uzaklığının, ortalaması minimum olan doğru denklemi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi verir [86]. LSE tahmin edicisi, regresyon modellerinin tahmininde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [208]. LSE tahmin edicisinin kullanımına yönelim, çoğunlukla yansız oluşundan ve yansız tahmin ediciler arasında en küçük varyansa sahip oluşundan kaynaklanmaktadır [208].

RA yaklaşımı, detaylı olarak incelenebilmesi açısından, kendi içerisinde sınıflandırmalara tabi tutulmuştur. Bu sınıflandırmalar; bağımsız değişken sayısına göre, fonksiyon tipine göre ve verilerin kaynağına göre olmak üzere üç grup altında ifade edilebilir.

Birinci sınıflandırma, bağımsız değişken sayısına göre yapılmıştır. RA, bağımsız değişken sayısına göre;

- 1.1. Tek değişkenli (basit) regresyon analizi,
- 1.2. Çok değişkenli (çoklu) regresyon analizi,

Olmak üzere ikiye ayrılabilir [209]. RA, eğer tek bir değişken kullanılarak yapılıyorsa buna tek değişkenli (basit) regresyon analizi, birden çok değişken kullanılarak yapılıyorsa çok değişkenli (çoklu) regresyon analizi olarak isimlendirilir [52].

İkinci sınıflandırma, fonksiyon tipine göre yapılmıştır. RA, fonksiyon tipine göre;

- 2.1. Doğrusal regresyon analizi.
- 2.2. Doğrusal olmayan (eğrisel) regresyon analizi,

Olmak üzere ikiye ayrılabilir [209]. Doğrusal regresyon analizi, tanımlanan x ve y veri setleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir [82]. Eğer tanımlanan veri setleri arasındaki ilişki doğrusal ise, veriler grafik üzerinde gösterildiğinde kesişme noktalarından geçen çizgi de doğrusal olur. Bu ilişki;

$$y = a + bx \quad (2.37)$$

Şeklinde ifade edilmektedir [85,86]. Bu eşitlikteki a ve b , sırasıyla, y eksenindeki kesişim sabitini ve doğrusal çizginin eğimini ifade etmektedir [85]. Tanımlanan bir veri seti içerisinde (x_i, y_i) , n adet veri noktasında a ve b katsayıları aşağıdaki eşitliklerle ifade edilebilmektedir [82,85,86];

$$a = \frac{\sum_i^n y - m \cdot \sum_i^n x}{n} \quad (2.38)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_i^n (x \cdot y) - \sum_i^n x \cdot \sum_i^n y}{n \cdot \sum_i^n (x^2) - (\sum_i^n x)^2} \quad (2.39)$$

Temel fikri doğrusal regresyon analizi ile aynı olan doğrusal olmayan regresyon analizinde amaç; bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal olmayan bir ilişki kurmaktır [138]. Doğrusal olmayan regresyon analizi için farklı model denklemler kullanılabilir. Bunlardan en çok kullanılanları; lojistik, üstel ve polinom denklemleridir [138]. Bu model denklemlerde, üzerinde ilişki kurulan değişken ve bağımlı parametreler kullanılarak bulunması gereken bir kaç bilinmeyen parametre mevcuttur. Doğrusal olmayan regresyon analizinin genel denklemi;

$$y = ax_1^{\theta_1} x_2^{\theta_2} x_3^{\theta_3} \dots x_n^{\theta_n} \quad (2.40)$$

Şeklinde ifade edilebilir [138]. Burada; y : bağımlı değişken, a : çarpımsal hata terimi, x_i : bağımsız değişkenler, n : değişken sayısı, θ_i : i 'inci model parametresini, belirtmektedir [138].

Üçüncü ve son sınıflandırma da, verilerin kaynağına göre yapılmıştır. RA, verilerin kaynağına göre;

- 3.1. Ana kütle verileri ile regresyon analizi,
- 3.2. Örnek verileri ile regresyon analizi,
- 3.3. Zaman serilerinde (eşleştirilmiş zaman serileri) regresyon analizi,

Olmak üzere üçe ayrılabilir [209].

Yukarıda verilen birinci ve ikinci sınıflandırmaların harmanlanması ile daha detaylı regresyon analizleri ortaya çıkmıştır. Bu analizler; tek değişkenli (basit) doğrusal regresyon analizi, çok değişkenli (çoklu) doğrusal regresyon analizi, tek değişkenli (basit) doğrusal olmayan regresyon analizi, çok değişkenli (çoklu) doğrusal olmayan regresyon analizi şeklinde sıralanabilir.

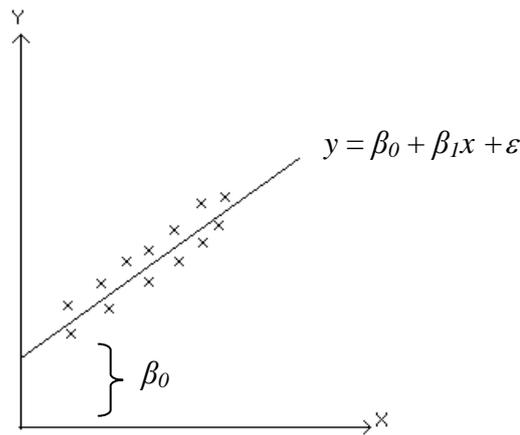
Literatürde, doğrusal modele dayalı maliyet tahmininde en çok tercih edilen tahmin yönteminin RA yöntemi olduğu ifade edilmektedir [210]. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında da, yapay zekâ yaklaşımlarına ek olarak, analiz detayları üçüncü bölümde

verilecek olan "çok değişkenli (çoklu) doğrusal regresyon analizi" üzerinde durulacaktır.

Basit doğrusal regresyon (SLR) analizi, tek bir bağımsız değişken (x) ile tek bağımlı değişkeni (y) tahmin edilebilmektedir. Çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizinde ise benzer hesap yöntemleri ile birden fazla bağımsız değişkenin (x_1, \dots, x_n) tek bağımsız değişken (y) ile olan doğrusal ilişkisi tespit edilebilmektedir [82]. SLR modeli birçok durum için elverişli olabilmektedir. Ancak gerçek hayatta birçok modelin açıklaması için iki veya daha fazla açıklayıcı değişkene gerek duyulmaktadır. SLR denkleminin formülize edilmiş biçimi, Formül (2.41)'de verilmiştir. SLR model denklemini aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [205];

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2.41)$$

Burada; (x) ifadesi bağımsız değişkeni, (y) ifadesi de bağımlı değişkeni sembolize etmektedir. (β_0) ifadesi dikey eksendeki kesişim sabitini, (β_1) ifadesi bağımsız değişkene (x) ait katsayı parametresini, ε ise hata terimini ifade etmektedir [205]. ε terimi, modelin stokastik olduğunu ifade eder ve modele dahil edilmeyen değişkenleri içerir [195]. SLR doğrusu, Şekil 2.43'de gösterilmiştir.



Şekil 2.43. Basit doğrusal regresyon (SLR) doğrusu. [209]

Şekil 2.43'de yer alan basit regresyon doğrusunun eğiminin pozitif olduğu görülmektedir. β_1 'in işareti, iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü göstermektedir.

Her iki değişken birlikte artıyor veya azalıyorsa β_l 'in işareti pozitif (+), değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyorsa β_l 'in işareti negatif (-) olacaktır. β_l 'in sıfır (0) olması ise iki değişkenin arasında bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bir başka ifade ile; sıfırdan farklılık, iki değişken arasındaki ilişkinin varlığını ifade etmektedir [209].

Birden çok açıklayıcı değişkenli modeller, MLR modeli olarak adlandırılmaktadır [211]. MLR analizi, genel olarak; doğrusal bir sistem ya da süreç içerisindeki girdi ve çıktı parametreleri arasındaki nicel ilişkiyi kuran ve bu ilişkide hangi parametrelerin daha etkili olduğunu belirlemeye yardımcı olan çoklu bir istatistiksel analiz metodudur. MLR analizi, özellikle deneysel çalışmaların değerlendirilmesi ve ampirik model ya da modeller şeklinde ifade edilmesine imkan tanıyan bir metottur [82]. MLR; çok sayıda faktöre bağlı olarak değişim gösteren sosyal, psikolojik ve ekonomik olayların gerisindeki sebep-sonuç ilişkisini ortaya çıkarabilmek için kullanılan istatistiksel yaklaşımlardan birisi olarak da tanımlanabilir [204]. Özet olarak, MLR analizi; SLR yönteminin tek bağımsız değişken yerine n adet bağımsız değişkene genellenmesidir [212]. SLR analizindeki benzer hesap yöntemleri, her bir bağımsız değişken için uygulanmaktadır. Bu yöntemde birden fazla bağımsız değişkenin olması, regresyon doğrusunun iki boyutlu düzlemsel bir grafikte gösterilememesine neden olmaktadır [212].

MLR analizine ait genel analitik ifade;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_j x_j + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (2.42)$$

Şeklindedir. Burada; (x_n) ifadeleri her bir bağımsız değişkeni, (y) ifadesi de tek bir bağımlı değişkeni sembolize etmektedir. Eşitlikteki bağımsız değişkenlere (x_n) ait katsayıların $(\beta_1, \dots, \beta_p)$ aldığı pozitif veya negatif değerler, bağımlı değişkenin (y) , o bağımsız değişken (x_n) ile arasındaki ilişkinin arttıkça-artan veya arttıkça-azalan yapıda olduğunu göstermektedir [136]. Bir başka deyişle, eşitlikte her bir bağımsız değişken (x_n) , bağımlı değişken (y) ile belirli bir doğrusal korelasyona sahiptir. Bu tür korelasyon, kısmi korelasyon olarak adlandırılmaktadır [82]. Eşitlikteki ε ise hata terimidir [136].

MLR analizleri, bazı varsayımlara dayanmaktadır. MLR analizlerinde göz önüne alınan varsayımlar, şu şekilde sıralanabilir [107,200,209,211];

- Hata terimleri normal dağılıma sahiptir,
- Hata terimlerinin varyansı sabittir,
- Hata terimlerinin aritmetik ortalamaları sıfırdır,
- Hata terimleri rastlantısal ve birbirlerinden bağımsızdır,
- Hata terimleri arasında ilişki yoktur,
- Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal ilişki vardır.

Bazı kaynaklarda, bu varsayımlar, "stokastik varsayımlar" ve "diğer varsayımlar" olmak üzere iki grupta toplanmıştır [209].

MLR analizinde, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir [82]. Regresyon eşitliklerindeki bağımsız değişkenlere ait katsayıların aldıkları negatif ve pozitif değerler, ilgili bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin bir ifadesidir. Eğer MLR eşitliğindeki herhangi bir değişkene ait katsayı negatif ise, bağımlı değişken ile arasında negatif bir ilişkiden bahsedilebilmektedir [82].

MLR analizi için verilen temel varsayımlardan birisi de, hata terimleri arasında ilişki olmamasıdır. Aksi düşünülecek olursa; hata terimleri arasında ilişki olması, otokorelasyonun varlığını ortaya çıkarır [213]. Otokorelasyon durumunda da parametrelerin en küçük kareler tahmincileri sapmasız ve tutarlı olurlar. Hata teriminin varyansının tahmincisi sapmalıdır ve bu yüzden parametrelerin varyansları da sapmalı olur. Pozitif otokorelasyon varsa sapma negatif olacaktır. Yani varyanslar olduğundan küçük bulunacaktır. Bunun sonucunda da t-testi istatistiği değeri büyük olacaktır. Böylece, anlamsız bir katsayının anlamlı olma olasılığı artacak ve R^2 değeri büyüyecektir. Dolayısıyla F değeri olduğundan büyük elde edilecek ve sonuç olarak; t-testi ve ANOVA, güvenilirliğini yitirip yanıltıcı sonuçlar vereceklerdir [195]. Bu nedenle, MLR analizinde hata terimleri arasında ilişkinin ve otokorelasyonun olmaması varsayımları ile hareket edilmektedir.

MLR modelleri, iki temel amaç için kullanılmaktadır. Bunlardan ilki; modelin eldeki verilere uyumunu optimal şekilde sağlamak (tahmin), diğeri ise bu modeli bağımlı değişkenin henüz gerçekleşmemiş veya gözlemlenememiş değerlerine adapte etmek (kestirim) şeklinde açıklanabilir [208]. Kestirim, eldeki verileri kullanarak yanıt değişkeninin gözlemlenememiş değerlerini tahmin etme işlemi olarak tanımlanmaktadır [208]. Birçok alanda, gelecek zamana ait verileri kestirmek/öngörmek büyük önem taşır çünkü öngörü, gelecekteki potansiyel olaylar ve onların sonuçları hakkında belli bilgiler ortaya koymaktadır [208].

Regresyon analizinde x ve y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki belirlenirken, ölçülen değerler ve bu değerler arasından geçirilen doğru arasındaki değişime "fark değeri" adı verilmektedir. Eğer x ve y değişkenleri arasında herhangi bir doğrusal ilişki yok ise orijinal varyansın fark değeri varyansına oranı birdir. Eğer bu ilişki çok iyi bir şekilde tanımlanmışsa varyans oranı sıfır olarak ifade edilmektedir. Çoğu zaman verilerin varyans oranı, -1 ile +1 değerleri arasında bulunmaktadır. Bir sayısından varyans oranının çıkartılması ile de determinasyon katsayısı (R^2) elde edilmektedir. Eğer R^2 , bir değerine ne kadar yakınsa, değişken varyansının büyük bir kısmının MLR modeli ile ifade edilebildiği ortaya çıkmaktadır [82]. Regresyon analizinde R^2 değerinin karekökü de korelasyon katsayısı (R) olarak adlandırılır. R , -1 ile +1 değerleri arasında değerlendirilmektedir. Eğer değer negatif ise, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişki de negatiftir. Bu önermenin tersi de doğrudur. R değeri sıfır ya da sıfıra yakın bir değer ise değişkenler arasında güçlü ilişkiden bahsetmek de mümkün olmayacaktır [82].

Ampirik çalışmalarda, değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için en sık kullanılan yöntem MLR modelidir [208]. Bunun başlıca sebepleri; basit yapıda olması ve çoğu zaman, bu basit yapıya rağmen, gerçek dünyadaki verileri modellemede oldukça başarılı olmasıdır [208]. Tez çalışması kapsamında da, yapay zekâ yöntemlerinin performanslarının birbirleriyle kıyaslanmasının yanında, sonuçların farklı bir parametrik tahmin metodu ile de kıyaslanabilmesinin, çalışmanın hedeflerine katkı sağlayacağı düşünülmüştür. Bu amaçla araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir istatistiksel metot olan MLR tahmin modeli geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında geliştirilen MLR modelinin detaylarına üçüncü bölümde yer verilmiştir.

Sonuç olarak; tez çalışmasının ikinci bölümü olan "materyal ve yöntem" adlı bu bölümünde, alt bölümler halinde genel özellikleri verilmiş olan; birim alan maliyeti yöntemi (BAMY), çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (RBF), ağ bölüştürme algoritması (GPA), eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) metotlarının analizlerinden elde edilen sonuçlar kıyaslamalı olarak ele alınacak ve kullanılan her bir yöntemin üstünlükleri ve eksiklikleri, tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde değerlendirilecektir.

3. BÖLÜM

UYGULAMA

Tez çalışması kapsamında kullanılan yöntemlerin kısa değerlendirmesi yapılacak olursa; birim alan maliyeti yöntemi (BAMY), yapıların yaklaşık maliyetlerini belirlemek için kullanılan ve her yıl güncellenip yayımlanan bir tebliğ ile o yılın yapı birim alan maliyetlerinin yer aldığı ve pratik olduğu için Türkiye’de yapı yaklaşık maliyeti hesabında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Tez çalışmasının uygulama aşamasında, öncelikle; incelenen her bir kamu yapım işinin yaklaşık maliyeti BAMY ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar, tez çalışması kapsamında öneri niteliğinde oluşturulan "maliyet modeli" analizlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Türkiye’de yapım işlerinin yaklaşık maliyeti; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek resmi gazetede yayımlanan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" kapsamında belirlenen birim alan maliyetleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ve sadece inşaat alanının dikkate alındığı bu yaklaşım, "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) olarak da bilinmektedir. Tez çalışması kapsamında BAMY yaklaşımı ile yapılacak olan yaklaşık maliyet hesaplamaları, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları ile ve kullanılan diğer yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılarak, BAMY yaklaşımının gerçekçilik düzeyi belirlenmiş olacaktır.

Uygulamanın sonraki aşamasında, genel özellikleri bir önceki bölümde verilen; çok katmanlı algılayıcı (MLP), radyal tabanlı fonksiyon (RBF), ağ bölüştürme algoritması (GPA), eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ve çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemleri; Türkiye’nin her bir coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için oluşturulan; "maliyet modeli", "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" analizleri için kullanılmıştır. Yapay zekâ (AI) yöntemleri, inşaat mühendisliği alanının özellikle

hidrolik ve hidroloji konulu çalışmalarında yaygın olarak kullanılan tahmin yöntemleridir. AI yöntemleri, inşaat yönetimi konulu çalışmalarda, çok da uzak olmayan bir geçmişe sahip olup, AI yöntemlerinin en çok bilinen ve kullanılan yöntemi, yapay sinir ağları (ANN) yöntemi olarak gösterilebilir. En az bilinen AI yaklaşımının ise, hibrit (karma) özellikli yöntemler, bir başka deyişle ANN ve bulanık mantık (FL) yaklaşımlarının avantajlarını içeren yöntemler olduğu ifade edilebilir. AI yaklaşımlarının performanslarının daha net yorumlanabilmesi adına tez çalışmasının kapsamına dâhil edilen çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi ise, kullanımının kolay olması nedeniyle hemen her bilim dalında tahmin yapmak için akla gelen ilk istatistiksel yöntem olarak göze çarpmaktadır. Sonuç olarak; tez çalışmasında kullanılan yöntemler arasında en yaygın kullanım alanı bulanların ANN ve MLR olduğu söylenebilir.

ANN, verilen girdilere karşılık olarak çıktılar üretebilen, akıllı bir kara kutu modeli veya doğrusal olmayan bir regresyon modeli gibi düşünülmektedir [146]. Bununla birlikte, ANN yaklaşımlarının klasik istatistiksel yöntemlere nazaran daha olumlu sonuçlar verebildiği göze çarpmaktadır [146]. Bahsedilen yargının, yani ANN yaklaşımlarından MLP ve RBF yöntemlerinin istatistiksel MLR yöntemine göre olumlu sonuçlar verip vermedikleri tez çalışması kapsamında irdelenmiş olacaktır. Bunun yanı sıra, literatürde, hibrit yapay zekâ yaklaşımı olan ANFIS yaklaşımı kapsamında kabul gören GPA ve SCA yöntemlerinin; nümerik gruplandırma ve kural koyma gibi gelişmiş veri analiz metotlarını barındırmasından ötürü, tahmin kapasitelerinin ANN yaklaşımından daha iyi olduğuna dair sonuçlara rastlanmıştır [82]. Tez çalışması kapsamında, bahsedilen bu yargının doğru olup olmadığı da irdelenmiş olacaktır.

3.1. Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) ile Hesaplama

BAMY uygulamasında, öncelikle, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek Resmi Gazete'de yayımlanan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ"de yer alan sınıflandırmaya göre, mevcut tez çalışmasına konu olan her bir yapının mimarlık hizmetlerine esas olan sınıfı belirlenmiştir. 2003-2013 yılları arasında yayımlanmış olan bütün tebliğler incelenmiş ve tebliğlerde yer alan yapı sınıfları esas

alınarak, her bir yapının birim alan maliyeti tespit edilmiştir. Daha sonra da Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesindeki sekiz şehirde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde gerçekleştirilen arşiv çalışmalarından temin edilen toplam inşaat alanları ile ilgili tebliğler incelenerek tespit edilmiş olan birim alan maliyetleri çarpılarak, her bir kamu yapım işinin yaklaşık maliyeti elde edilmiştir. Elde edilen yaklaşık maliyet tutarlarına, inşaat genel giderleri ve yüklenici kârı dâhildir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2003-2013 yılları arasında yayımlanmış olan tebliğlerde ilan edilen ve yapı sınıflarına göre belirlenen birim alan maliyetleri, Tablo 3.1'de verilmiştir.

Mevcut tez çalışmasının hazırlandığı tarih itibarıyla, son olarak; 16/7/1985 tarihli ve 85/9707 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe giren Mimarlık ve Mühendislik Hizmetleri Şartnamesi'nin 3.2 maddesi gereğince mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2013 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 24 Nisan 2013 Çarşamba günü 28627 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır [214].

"Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ"e göre, yapı sınıfları I ile V arasında, yapı grupları ise A ile D arasında değişmektedir. Her bir yıl kapsamında yapı sınıflarına göre birim alan maliyetleri incelenecek olursa, yapı sınıfı ve grubu arttıkça birim alan maliyetlerinin de arttığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle, I.A grubunda yer alan yapılar; basit tarım yapıları, gölgelik-çardak vb. basit yapılar olarak belirlenmişken, V.D grubunda yer alan yapılar; tiyatro yapıları, konser salonları vb. daha komplike yapılardan oluşmaktadır.

Tablo 3.1. 2003-2013 yılları arasında yayımlanan birim alan maliyetleri.
(Türk Lirası, TL)

YAPI SINIFI	2003 (TL)	2004 (TL)	2005 (TL)	2006 (TL)	2007 (TL)	2008 (TL)	2009 (TL)	2010 (TL)	2011 (TL)	2012 (TL)	2013 (TL)
I.A	43,00	46,00	51,00	54,00	61,00	65,00	71,00	73,00	80,00	80,00	85,00
I.B	75,00	80,00	89,00	94,00	105,00	112,00	123,00	127,00	137,00	140,00	145,00
II.A	118,00	127,00	141,00	149,00	167,00	178,00	195,00	201,00	216,00	225,00	235,00
II.B	161,00	173,00	193,00	205,00	230,00	245,00	268,00	276,00	297,00	305,00	320,00
II.C	-	-	-	-	-	-	-	-	343,00	360,00	370,00
III.A	264,00	283,00	315,00	334,00	375,00	399,00	437,00	448,00	482,00	475,00	490,00
III.B	300,00	322,00	359,00	381,00	427,00	455,00	498,00	511,00	565,00	560,00	585,00
IV.A	339,00	364,00	406,00	430,00	482,00	513,00	561,00	577,00	625,00	615,00	650,00
IV.B	375,00	402,00	448,00	475,00	533,00	568,00	622,00	640,00	701,00	695,00	730,00
IV.C	450,00	483,00	539,00	571,00	640,00	682,00	746,00	761,00	819,00	800,00	840,00
V.A	558,00	599,00	668,00	708,00	794,00	846,00	926,00	945,00	1.035,00	1.015,00	1.040,00
V.B	676,00	725,00	809,00	858,00	962,00	1.025,00	1.122,00	1.144,00	1.235,00	1.240,00	1.270,00
V.C	772,00	828,00	924,00	979,00	1.098,00	1.169,00	1.279,00	1.279,00	1.415,00	1.400,00	1.450,00
V.D	922,00	989,00	1.103,00	1.169,00	1.311,00	1.396,00	1.528,00	1.559,00	1.710,00	1.690,00	1.750,00

Tablo 3.1’de dikkat çeken diğer bir husus, II.C yapı grubuna ait birim alan maliyetlerinin, 2011 yılında belirlenmeye başlamış olmasıdır. II.C yapı grubunun yer almadığı 2010 yılı yapı yaklaşık birim maliyetlerinde; II. Sınıf yapılar; A grubu ve B grubu olmak üzere ikiye ayrılmıştır [215]. II.A grubu yapılar; kuleler, ayaklı su depoları, palplanj ve ankrajlı perde ve istinat duvarları, kayıkthane ve bu gruptakilere benzer yapılar olarak tanımlanmıştır [215]. II.B grubu yapılar; pnömatik ve şişirme yapılar, hangar yapıları (uçak bakım ve onarım amaçlı), tek katlı ofisler, dükkan ve basit atölyeler, semt sahaları, küçük semt parkları, çocuk oyun alanları ve müştemilatları, tarım, endüstri ve sanayi yapıları (tek katlı, bodrum ve asma katı da olabilen prefabrik beton ve çelik depo ve atölyeler, tesisat ağırlıklı ağıllar, fidan yetiştirme ve bekletme tesisleri), yat bakım ve onarım atölyeleri, çekek yerleri, jeoloji, botanik ve tema parkları, mezbahalar ve bu gruptakilere benzer yapılar olarak tanımlanmıştır [215]. II.C yapı grubunun yer aldığı, en son yayımlanan 2013 yılı yapı yaklaşık birim maliyetlerinde ise II.A grubu yapılar; 2010 yılında yayımlanan tebliğdeki II.A grubu ile aynı şekilde tanımlanmış olup, II.B grubu yapılar; pnömatik ve şişirme yapılar, tek katlı ofisler, dükkân ve basit atölyeler, semt sahaları, küçük semt parkları, çocuk oyun alanları ve müştemilatları, tarımsal endüstri yapıları (tek katlı, prefabrik beton ve çelik depo ve atölyeler, tesisat ağırlıklı ağıllar, fidan yetiştirme ve bekletme tesisleri), yat bakım ve onarım atölyeleri, çekek yerleri, jeoloji, botanik ve tema parkları, mezbahalar ve bu gruptakilere benzer yapılar olarak tanımlanmıştır [214]. II.C grubu yapılar ise; hangar yapıları (uçak bakım ve onarım amaçlı), sanayi yapıları (tek katlı, bodrum ve asma katı da olabilen prefabrik beton ve çelik yapılar) ve bu gruptakilere benzer yapılar olarak tanımlanmıştır [214]. Kısacası; 2011 yılına kadar yayımlanmış olan tebliğlerde yer alan II.B grubu yapılar, 2011 ve sonraki yıllarda yayımlanmış olan tebliğlerde; II.B grubu ve II.C grubu olmak üzere ikiye ayrılmıştır. 2011 yılına kadar II.B grubunda değerlendirilen hangar yapıları ve sanayi yapıları da, 2011 yılından itibaren tanımlanmış olan II.C grubu kapsamına alınmıştır.

Tablo 3.2. BAMY yaklaşımı ile yapılan yaklaşık maliyet hesaplama örnekleri.

Projenin Adı	Sıra No	Kullanım Amacı	Toplam İnşaat Alanı (a) (m ²)	İşin Fiilen Başlangıç Yılı	İşin Fiilen Bitiş Yılı	Birim Fiyata Esas Olan Yıl	Yapının Mimarlık Hizmetlerine Esas Olan Sınıfı	Tebliğe Göre Birim Fiyatı (b) (TL)	BAMY ile Hesaplanan Yaklaşık Maliyet (c=a*b) (TL)
İzmir Kemalpaşa Merkez Sağlık Ocağı İnşaatı	1	Sağlık	623	2004	2005	2004	3B	322,00	200.606,00
Bursa İznik İlçe Jandarma Karakol Binası ve Tesisleri İnşaatı	2	Güvenlik	1031	2007	2008	2007	3B	427,00	440.237,00
Ankara Etimesgut 24 Derslikli Güzelkent Genel Lisesi İnşaatı	3	Eğitim	6435	2007	2008	2007	3B	427,00	2.747.745,00
Gaziantep Araban Dağdancık 9 Derslikli İlköğretim Okulu İnşaatı	4	Eğitim	1389	2005	2005	2005	3B	359,00	498.651,00
Malatya Yeşiltepe Mahallesi 112 Acil Sağlık Hizmetleri Komuta Kontrol Merkezi İnşaatı	5	Sağlık	2600	2009	2011	2009	4A	561,00	1.458.600,00
Adana Aladağ Hükümet Konağı İnşaatı	6	İdare	4650	2010	2012	2010	3B	511,00	2.376.150,00
Trabzon Araklı Gençlik Merkezi İnşaatı	7	Sosyal Hizmet	2364	2010	2011	2010	3B	511,00	1.208.004,00
Samsun Havza Adliye Binası İnşaatı	8	Adalet	3172	2008	2009	2008	4C	682,00	2.163.304,00

Mevcut tez çalışması kapsamında birim alan maliyetleri tespit edilirken, maliyet tahmini proje başlangıcında yapıldığından dolayı, her bir yapım işi için inşaatın fiilen başladığı yıldaki birim alan maliyeti tespit edilmiştir. Daha sonra, belirlenen birim alan maliyeti ile toplam inşaat alanı çarpılmak suretiyle, her bir yapım işinin yaklaşık maliyeti hesaplanmıştır. Ancak, ilgili şehirlerin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde gerçekleştirilen arşiv çalışmaları sırasında, ihale dosyasından toplam inşaat alanı değerleri tespit edilemeyen yapım işleri hesap dışı bırakılmıştır. Çalışma yapılan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşivlerinde yer alan birçok ihale dosyasında, yapı fiziki özelliklerinin yer almadığı ve dosyaların düzenlenmesinde kullanılan bir nizamın bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ihale dosyalarına ulaşılmasına rağmen, yapı fiziki özelliklerine ulaşamadığından dolayı birçok kamu yapım işi, tez çalışması kapsamında değerlendirilememiştir.

Tez çalışması kapsamında incelenen kamu yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen veriler ışığında, BAMY yaklaşımı ile yapılan yaklaşık maliyet hesaplarının bir kısmı, Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında incelenen kamu yapım işlerinin yapı sınıfları belirlenirken; köy konağı, halk eğitim merkezi, zihinsel engelliler okulu vb. yapıların yapı sınıflarının belirlenmesi adına, her yıl güncellenerek yayımlanmakta olan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ"lerde net ifadelerin mevcut olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ilgili tebliğler kapsamında, sürüncemeye yer vermeyecek şekilde Türkiye’de inşa edilen bütün yapı türlerinin sınıflandırmalarda yer almasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bir başka ifadeyle, yayımlanmakta olan tebliğler; köy konağı, halk eğitim merkezi, zihinsel engelliler okulu vb. yapıların yapı sınıfının belirlenmesi açısından yetersiz kalmakta ve bahsedilen yapı türleri de dâhil edilerek tebliğ kapsamının genişletilmesi gerekmektedir.

BAMY yaklaşımından elde edilen sonuçlar, yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen; yaklaşık maliyetler, sözleşme bedelleri ve kesin hesap tutarları ile kıyaslanmış ve BAMY yaklaşımının gerçekçilik düzeyi, Türkiye’nin her bir coğrafi bölgesi ve

Türkiye geneli için, mevcut tez çalışmasının dördüncü bölümü olan "bulgular ve tartışma" bölümünde değerlendirilmiştir.

3.2. Yapay Zekâ (AI) Yöntemleri ile Modelleme

İnşaat işlerinde yapım maliyeti tahmini yapılırken kullanılan yöntemlerin birim fiyata dayalı ve benzer işlerle karşılaştırma ağırlıklı olduğu ve bunları, önceki uygulamalardan elde edilen verilerin kullanımı ile dövizle endeksli maliyet tahminlerinin izlemekte olduğu bilinmektedir [6]. Bu alanda, yapay zekâ (AI) uygulamalarının kullanımlarının artırılarak güven düzeyi daha yüksek, daha gerçekçi ve risk düzeyi düşük maliyet tahminlerinin yapılmasının faydalı olacağı, literatürde yer almaktadır [6]. Tez çalışması kapsamında da, yapay zekâ uygulamaları kullanılarak; yapım maliyeti, maliyet sapması ve süresel sapma tahmininin gerçekçi olarak yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle mevcut tez çalışmasının, klasikleşmiş bir yapım maliyeti ve/veya yapım süresi tahmininden bir adım önde olduğu düşünülmektedir.

Bir önceki bölümde de bahsedildiği üzere, yapay zekâ yaklaşımlarının; yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık (FL), ANN ve FL metotlarının birlikte değerlendirildiği hibrit metotlar (ANFIS), sezgisel algoritmalar ve uzman sistemler gibi alt grupları vardır [28,82,110,130]. Mevcut tez çalışmasında da, ANN yaklaşımı ile hibrit (karma) yapay zekâ yaklaşımı kullanılmıştır. ANN ve FL yaklaşımları, her birinin kendisine özgü yetenekleri nedeniyle bazı durumlarda birbirlerini tamamlar nitelikte olduklarından dolayı, yakın zamanda her ikisinin beraberce kullanıldığı hibrit teknikler oluşmuştur [37]. Bu nokta dikkate alınarak, tez çalışması kapsamında önerilen; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modelinin analizlerinde; yaygın olarak kullanılan ANN yaklaşımının yanısıra, ANN yaklaşımının ve FL yaklaşımının üstünlüklerini içeren ve hibrit (karma) bir yapay zekâ yaklaşımı olan "adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi" (ANFIS) yaklaşımı da kullanılmıştır.

Günümüzde bilimin her alanında yaygın olarak kullanılan ANN yaklaşımları; girdi verileri ile çıktı verisi arasında karmaşık sıkı ilişki bulunan ortamlar için oldukça uygun olup, bu yaklaşımların tahmin potansiyellerinin tatminkâr düzeyde olabildiği, yapılmış olan bilimsel çalışmalarda gözlemlenmiştir. Fakat ANN yaklaşımları için doğru

modelin kurulması, analiz edilmesi ve analiz sonucunda elde edilen sonuçların yorumlanması, kullanıcıların, özellikle de proje yöneticilerinin ANN konusuna yabancı olmalarından dolayı zor olmaktadır [216]. Proje yöneticilerinin, hibrit yapay zekâ yaklaşımlarının kullanımına aşinalıklarının ise daha düşük seviyede olduğu düşünülmektedir.

Yapay zekâ yaklaşımlarından en önemlileri arasında yer alan ANN yaklaşımı, ağ yapısına uygulanan herhangi bir problemin girdi verileri ile çıktı verileri arasındaki ilişkiyi öğrenerek, probleme ait girdi verilerine karşılık kendi çıktı değerlerini üretebilme yeteneğine sahiptir [217]. Aynı değerlendirme, hibrit yapay zekâ yaklaşımları için de yapılabilir. Bu nedenle, öncelikle problemin ne olduğuna ve bu problemin ağ yapısına nasıl uygulanacağına karar verilmelidir. Mevcut tez çalışmasında; öneri niteliğinde üç farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller; "maliyet modeli", "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" olarak sıralanmaktadır. Oluşturulan her bir model için beşer girdi parametresi belirlenmiş olup, birer tane de çıktı parametresi belirlenmiştir. Maliyet modelinin girdi ve çıktı parametreleri Tablo 3.3'de, maliyet sapması modelinin girdi ve çıktı parametreleri Tablo 3.4'de, süresel sapma modelinin girdi ve çıktı parametreleri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için oluşturulan; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli kapsamında beşer farklı kombinezon teşkil edilmiştir. Bütün kombinezonlarda prensip olarak, her bir girdi parametresi, sahip olduğu sıraya göre modelin yapısına dâhil edilmiştir. Örneğin; maliyet modeli için birinci kombinezonun girdi verisi; inşaat birim fiyat analizleri kullanılarak Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından belirlenmiş olan yaklaşık maliyet olup, modele ilk sırada sunulmuştur. İkinci kombinezonun girdi verileri; yaklaşık maliyet ve toplam inşaat alanı, üçüncü kombinezonun girdi verileri; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve kat sayısı, dördüncü kombinezonun girdi verileri; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı ve yapı yüksekliği, beşinci kombinezonun girdi verileri; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedelidir. Her bir kombinezonun çıktı verisi ise kesin hesap tutarıdır. Oluşturulan maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin kombinezonları, Tablo 3.6'da, Tablo 3.7'de ve Tablo 3.8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Maliyet modelinin girdi ve çıktı parametreleri.

Model Adı	1. Girdi	2. Girdi	3. Girdi	4. Girdi	5. Girdi	Çıktı
<i>Maliyet Modeli</i>	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)	Kesin Hesap Tutarı (TL)

Tablo 3.4. Maliyet sapması modelinin girdi ve çıktı parametreleri.

Model Adı	1. Girdi	2. Girdi	3. Girdi	4. Girdi	5. Girdi	Çıktı
<i>Maliyet Sapması Modeli</i>	Sözleşme Bedeli (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Yaklaşık Maliyet (TL)	Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (%)

Tablo 3.5. Süresel sapma modelinin girdi ve çıktı parametreleri.

Model Adı	1. Girdi	2. Girdi	3. Girdi	4. Girdi	5. Girdi	Çıktı
<i>Süresel Sapma Modeli</i>	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)	Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (%)

Tablo 3.6. Maliyet modelinin kombinezonları.

Komb. No	1. Girdi	2. Girdi	3. Girdi	4. Girdi	5. Girdi	Çıktı
1	Yaklaşık Maliyet (TL)	-	-	-	-	Kesin Hesap Tutarı (TL)
2	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	-	-	-	Kesin Hesap Tutarı (TL)
3	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	-	-	Kesin Hesap Tutarı (TL)
4	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	-	Kesin Hesap Tutarı (TL)
5	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)	Kesin Hesap Tutarı (TL)

Tablo 3.7. Maliyet sapması modelinin kombinezonları.

Komb. No	1. Girdi	2. Girdi	3. Girdi	4. Girdi	5. Girdi	Çıktı
1	Sözleşme Bedeli (TL)	-	-	-	-	Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (%)
2	Sözleşme Bedeli (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	-	-	-	Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (%)
3	Sözleşme Bedeli (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	-	-	Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (%)
4	Sözleşme Bedeli (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	-	Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (%)
5	Sözleşme Bedeli (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Yaklaşık Maliyet (TL)	Sözleşme Bedeline Göre Maliyet Sapması Oranı (%)

Tablo 3.8. Süresel sapma modelinin kombinezonları.

Komb. No	1. Girdi	2. Girdi	3. Girdi	4. Girdi	5. Girdi	Çıktı
1	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	-	-	-	-	Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (%)
2	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	-	-	-	Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (%)
3	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	-	-	Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (%)
4	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	-	Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (%)
5	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)	Öngörülen Proje Süresine Göre Süresel Sapma Oranı (%)

Yapay zekâ modeli oluşturmak amacıyla; veritabanını eğitim seti ve kontrol (test) seti olmak üzere ikiye ayırmak, pratikte uygulanan bir yöntemdir [218]. Yapay zekâ yaklaşımları; öğrenme işlemi örnekler üzerinden gerçekleştirirler ve eğitim seti üzerinde genelleştirme yeteneğini kullanırlar [142]. Genelleştirme, yapay zekâ yaklaşımının örnekleme veri seti içinde yer almayan yeni verileri enterpole ya da ekstrapole edebilme yeteneğidir. Bir yapay zekâ yaklaşımının "gücü", örnekleme verilerinden ne kadar iyi genelleştirme yapabildiğine bağlıdır. Öğrenme algoritması; istenen (hedef) çıktı vektörü ile gerçekleşen çıktı vektörü arasındaki fark cinsinden bir ölçü değeri olan hata fonksiyonunu kullanarak; deneme (eğitim) seti üzerindeki ortalama hatayı azaltacak şekilde, ağ içindeki ağırlıkları dengeler. Bu işlem doğru olarak gerçekleştirildiğinde, yapay zekâ sistemi, yeni girdi verileri için istenen sonuçları doğru olarak tahmin edecektir [142,219].

Buradan hareketle; öncelikle Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehrin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinden temin edilen veriler, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli kapsamında ayrı ayrı düzenlenmiştir. Aynı zamanda; maliyet

modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin parametrelerini oluşturan bu veriler, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için eğitime ve test aşamalarında kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Yapay zekâ yaklaşımlarında kullanılan toplam veri sayısının %70-80'inin eğitime aşamasında kullanılmak üzere, geri kalan %20-30'unun da test aşamasında kullanılmak üzere ayrıştırılması uygundur [82]. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında kullanılan bütün yöntemler için; oluşturulan eğitime aşaması verilerinin, toplam verilerin %75'inden oluşturulmasına ve test aşaması verilerinin, toplam verilerin %25'inden oluşturulmasına dikkat edilmeye çalışılmıştır. Eğitime ve test aşamalarında kullanılan veriler ile ilgili detaylar, tez çalışmasının dördüncü bölümü olan "bulgular ve tartışma" bölümünde verilmiştir.

Sonuç olarak; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli kapsamında oluşturulan ve detayları Tablo 3.6'da, Tablo 3.7'de ve Tablo 3.8'de verilen kombinezonlar, ANN yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) yöntemleri ve hibrit ANFIS yaklaşımlarından olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) yöntemleri kullanılarak eğitilmiş ve elde edilen sonuçlara göre ağların öğrenme performansları test edilmiştir. Gözlenen değerlerle modelleme sonuçlarını karşılaştırma kriterleri olarak, detayları tez çalışmasının bir önceki bölümünde verilmiş olan; "karekök ortalama karesel hata" (RMSE), "ortalama mutlak hata" (MAE) ve "determinasyon katsayısı" (R^2) göz önüne alınmıştır.

Çalışmada kullanılan dört farklı yapay zekâ (AI) yaklaşımının analizinde de, MATLAB 7.9.0 simülasyon yazılımı kullanılmıştır [92]. MATLAB (Matrix Laboratory), Cleve Moler tarafından 1970 yılında geliştirilmiş matris tabanlı problem çözme, istatistik işlemler ve grafik çizimi gibi çok geniş bir yelpazede kullanılan bir yazılımdır [107]. Tez çalışmasında analiz için MATLAB yazılımının tercih edilmesinin nedenleri; MATLAB yazılımının kolay kodlanabilirliği ve matris tabanlı işlem yapma kabiliyeti sayesinde büyük verilerle işlemlerin kolaylıkla yapılabilmesi olarak gösterilebilir.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli göz önüne alınarak oluşturulan maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin; ANN yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal

tabanlı fonksiyon (RBF) yöntemleri ile birlikte, hibrit ANFIS yaklaşımlarından olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) yöntemleri kullanılarak yapılan analizlerinde dikkate alınan koşullar ve sınır değerler gibi hususlara, her bir yöntem için ayrı alt başlık altında değinilecektir.

3.2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ile Modelleme

MLP yöntemi, özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımı olarak gösterilmektedir [111]. MLP tipi sinir ağlarında, ağa bir örnek gösterilir ve örnek neticesinde ağın nasıl bir sonuç üreteceği bildirilir [220]. Bir başka ifadeyle, MLP yöntemi danışmanlı öğrenme stratejisini kullanır.

ANN yaklaşımı kapsamında gerçekleştirilen model geliştirme süreci, altı temel aşamadan oluşur [141]. Bu aşamalar;

- a. Girdi ve çıktı parametrelerinin belirlenmesi,
- b. Veritabanının eğitime ve test verileri olarak gruplandırılması,
- c. Ağ yapısının belirlenmesi,
- d. Bağlantı ağırlıklarının optimizasyonu,
- e. Durma kriterinin belirlenmesi,
- f. Ağın doğrulanması,

Olarak sıralanabilir [141].

Tez çalışması kapsamında oluşturulan; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için belirlenen girdi ve çıktı parametrelerinden, yukarıda bahsedilmiştir.

MLP analizi için bahsedilen modeller kapsamında oluşturulan eğitime aşaması verilerinin, toplam veri sayısının %75'i kadarı esas alınarak oluşturulmasına ve test aşaması verilerinin, toplam veri sayısının geriye kalan %25'i kadarı esas alınarak oluşturulmasına dikkat edilmeye çalışılmıştır.

MLP analizinin gerçekleştirilebilmesi için, veri setleri düzenlenip eğitime ve test verileri olarak ayrıştırıldıktan sonra, ağın yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Ağ yapısının belirlenmesi, ara (gizli) tabaka bağlantı noktalarının belirlenmesi anlamına gelmektedir [141,221]. Ağ yapısının belirlenme süreci; ağın kaç tabakadan oluşacağını ve her tabakada kaç işlem elemanı bulunacağını belirlemek işlemlerini kapsar [147]. Araştırmalar, tek ara tabakaya sahip bir ağın uygun bağlantı aralıkları kullanıldığında herhangi bir sürekli fonksiyonu yeterli bir yaklaşıklıkla tahmin edebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli göz önüne alınarak oluşturulan maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin; yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) yöntemi ile yapılan analizlerinde, her bir modelin her bir kombinezonu için üç tabakalı (girdi tabakası, ara tabaka, çıktı tabakası) bir sinir ağı mimarisi oluşturulmuştur. Bu kapsamda; ara tabakada yer alan hücre (yapay nöron) sayısı ve iterasyon (yineleme) sayısı değiştirilerek en küçük RMSE ve MAE değerleri ile en büyük R^2 değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Bir başka ifadeyle, en iyi performansı gösteren ara tabaka hücre sayısı ve iterasyon sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Analizlere, ara tabaka hücre sayısı küçük değerden başlamak üzere sabit tutularak ve iterasyon sayısı artırılarak başlanmıştır. Öncelikle ara tabaka hücre sayısı 1 değerinde tutularak ve iterasyon sayısı 1-20 aralığında birer artırılarak, RMSE, MAE ve R^2 kriterlerinin değerlerinin değişimleri gözlenmiştir. Daha sonra da ara tabaka hücre sayısı 1-10 aralığında birer artırılmış ve her bir ara tabaka hücre sayısı için iterasyon sayısı 1-20 aralığında birer artırılarak değişikliklerin RMSE, MAE ve R^2 kriterleri üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Böylece; ara tabaka hücre sayısı 1-10 aralığında, iterasyon sayısı 1-20 aralığında birer hassasiyetle değiştirilerek bütün varyasyonlar denenmiştir.

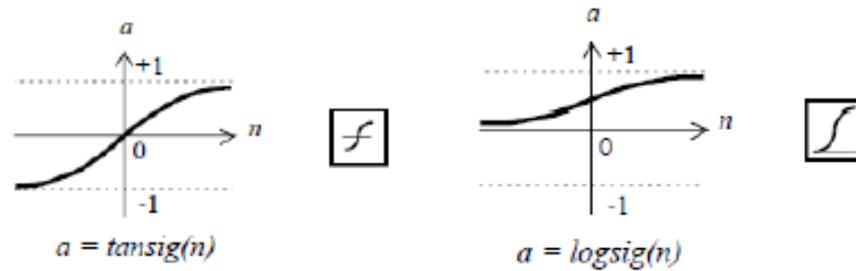
Bağlantı aralıklarının optimizasyonu aşamasında amaç; doğrusal olmayan optimizasyon probleminde global bir çözüm bulmaktır [141,222]. Geri yayımlı algoritmaya sahip ve ileri beslemeli ağ yapısı, en yaygın kullanılan ANN metotlarıdır [141,152]. Bu nedenle tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen MLP analizlerinin bütün kombinezonlarında, öğrenme algoritması olarak ileri beslemeli geri yayımlı (feed forward back propagation) Levenberg-Marquardt (trainlm) öğrenme algoritması kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritmasının seçilme nedeni; hızlı öğrenme kapasitesine sahip olması ve Hessian matrisini hesaplamadan sonuca varmaya çalışması olarak

gösterilebilir [135,216]. Geri yayımlı olmasının nedeni ise; Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasının öğrenim sürecindeki hataların, ağıdaki ağırlıklara ve eğime göre türevi, Jacobian matrisi (J) ile ifade edilmesi ve Jacobian matrisinin geri yayımlı öğrenme tekniğiyle hesaplanabilmesidir [216]. Ara tabakada ve çıktı tabakasında aktivasyon fonksiyonu olarak da sigmoid fonksiyonu kapsamında yer alan tanjant sigmoid (tansig) ile logaritmik sigmoid (logsig) fonksiyonları ayrı ayrı kullanılarak analizler tekrarlanmış ve optimum sonuca ulaşmaya çalışılmıştır. Sinir ağı kullanıcıları arasında en çok kullanılan etkinleştirme fonksiyonu sigmoid fonksiyondur ve bu fonksiyon, girdi fonksiyonunun büyük değerlerini [0,1] aralığına 'sıkıştırılmaktadır'. Sigmoid fonksiyonu, MLP analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir aktivasyon fonksiyonudur [142]. Sıklıkla kullanılan sigmoid fonksiyonlarından olan tanjant sigmoid (tansig) fonksiyonu Formül (3.1)'de, logaritmik sigmoid (logsig) fonksiyonu Formül (3.2)'de verilmiştir [42,107,223].

$$\text{tansig}; \phi(x) = \left(\frac{2}{1 + e^{-2x}} \right) - 1 \quad (3.1)$$

$$\text{logsig}; \phi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3.2)$$

Tansig ve logsig fonksiyonlarının grafiksel gösterimleri de, Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tansig ve logsig aktivasyon fonksiyonlarının grafiksel gösterimleri. [137]

Durma kriteri; ağı eğitme sürecinin sonlandırılma zamanını belirlemek amacıyla kullanılan kriterdir. Tez çalışması kapsamında MLP yöntemi ile yapılan analizlerde,

bütün modellerin bütün kombinasyonlarında, gerçek değerlerle ağı tahmin ettiği değerler arasındaki ortalama hata, %1'in altına düştüğünde eğitime süreci durdurulmuştur. Bahsedilen ortalama hata değerinin küçük bir değer olarak belirlenmesinin daha uygun olduğu genel bir kanı olarak görülse de, ortalama hata değerinin seçiminin problemin ve çıktı parametresinin niteliğine göre yapılmasının daha mantıklı olacağı düşünülmektedir.

Bahsedilen unsurlar göz önüne alınarak; MATLAB, Version 7.9.0 yazılımının neural network (sinir ağı) araç kutucuğunda bulunan *newff* fonksiyonunu eğitebilen MLP sistemi oluşturulmuş olup, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için; maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin MLP analizleri gerçekleştirilmiştir [92]. MLP analizlerinde kullanılan örnek bir *newff* fonksiyonu;

$$\text{net} = \text{newff}([\text{minmax}(P1)], [10 \ 1], \{ \text{'tansig'} \ \text{'tansig'} \}, \text{'trainlm'}); \quad (3.3)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

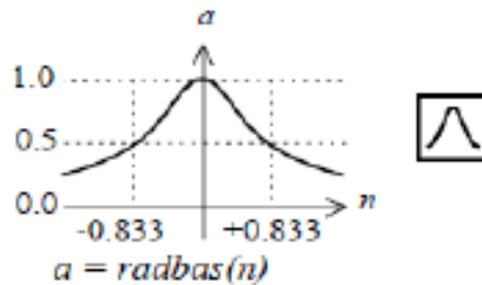
newff fonksiyonu dört bölümden oluşmaktadır [220]. Birinci bölüm, eğitime aşamasının P1 girdi vektörü elemanlarının her birinin minimum ve maksimum değerlerini gösteren P1x2'lik matristir. İkinci bölüm, her bir tabakanın boyutunu gösteren [10 1] dizisidir. Burada 10; ara tabakada yer alan hücre sayısını, 1 ise çıktı parametresi sayısını ifade eder. Üçüncü bölüm, her bir tabakada kullanılan aktivasyon fonksiyonunun isminden oluşmaktadır. Formül (3.3)'deki ifadede, aktivasyon fonksiyonu; tanjant sigmoid (*tansig*) olarak tanımlanmıştır. Dördüncü ve son bölüm ise ağı kullandığı öğrenme algoritmasını göstermektedir. Formül (3.3)'deki ifadede, öğrenme algoritması olarak, problemi hızlıca öğrenebilen Levenberg-Marquardt (*trainlm*) kullanılmıştır. MLP analizlerinden elde edilen sonuçlar, tez çalışmasının dördüncü bölümünde verilmiştir.

3.2.2. Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) ile Modelleme

RBF ağı, öğrenme sürecinde "danışmansız ve danışmanlı öğrenme" olmak üzere karma strateji kullanır ve böylece öğrenme süreci iki aşamaya ayrılır [107,114,167].

Danışmansız öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ilk aşama, ara tabaka hücrelerinde yer alan radyal tabanlı fonksiyonların merkez (c) ve spread (r) parametrelerinin belirlenmesi aşamasıdır [107]. Bu aşamanın genellikle danışmansız öğrenme kapsamında değerlendirilmesinin nedeni, bu aşamada önerilen yöntemlerde genellikle gözlenen çıktı değerlerinin kullanılmamasıdır. Bu aşamada girdi uzayı, çıktı değerlerinden bağımsız olarak birbirine benzeyen girdi değerlerinin kümelendiği bölgelerin ve bu bölgelerin genişliklerinin belirlenmesi sürecidir [107]. Bir doğrusal regresyon problemi gibi çözülebilen ve danışmanlı öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ikinci aşama ise, ara tabakadan elde edilen çıktılara doğrusal dönüşüm uygulanarak ağ çıktıları ile gözlenen çıktılar arasındaki hatayı en küçük yapan ağırlıkların belirlenmesi sürecidir [107,114,167].

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli göz önüne alınarak oluşturulan maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin; yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından olan radyal tabanlı fonksiyon (RBF) yöntemi ile yapılan analizlerinde, her bir modelin her bir kombinezonu için üç tabakalı (girdi tabakası, ara tabaka, çıktı tabakası) bir sinir ağı mimarisi oluşturulmuştur. Bu kapsamda; ara tabakada yer alan hücre sayısı ve spread (dağılım) parametresi (sayısı) değiştirilerek en küçük RMSE ve MAE değerleri ile en büyük R^2 değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Bir başka ifadeyle, en iyi performansı gösteren ara tabaka hücre sayısı ve spread parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında; merkez parametresinin uzaklık ölçüsü olarak öklidyen normu, radyal tabanlı fonksiyon olarak da gaussian kullanılmıştır. Bir önceki bölümde Formül (2.17) olarak verilen radyal tabanlı fonksiyonun grafiksel gösterimi, Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonunun grafiksel gösterimi. [137]

RBF yaklaşımı ile modellemede; ara tabaka hücre sayısının, MLP yaklaşımındaki gibi 1 ile 10 aralığında birer hassasiyetle artırılması öngörülmüştür. Analizlere, ara tabaka hücre sayısı küçük değerden başlamak üzere sabit tutularak ve spread parametresi artırılarak başlanmıştır. Öncelikle ara tabaka hücre sayısı 1 değerinde tutularak, spread parametresi 0,1 ile 2,0 değerleri arasında 0,1 artırımlarla denenmiştir. Daha sonra ara tabaka hücre sayısı 1 ile 10 aralığında birer artırılarak spread parametresi 0,1 ile 2,0 değerleri arasında 0,1 artırımlarla denenmiş ve RMSE, MAE ve R^2 kriterlerinin değerlerinin değişimleri gözlenmiştir. Böylece; ara tabaka hücre sayısı ve spread parametresinin bahsedilen değer aralıkları için olası bütün varyasyonları denenmiş ve optimum sonuca (en küçük RMSE ve MAE, en büyük R^2) ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bahsedilen unsurlar göz önüne alınarak; MATLAB, Version 7.9.0 yazılımının neural network (sinir ağı) araç kutucuğunda bulunan *newrb* fonksiyonunu eğitebilen RBF sistemi oluşturulmuş olup, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için; maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin RBF analizleri gerçekleştirilmiştir [92]. RBF analizlerinde kullanılan örnek bir *newrb* fonksiyonu;

$$\text{net}=\text{newrb}(\text{P1}, \text{T1}, 0.01, 0.1, 10, 30); \quad (3.4)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

newrb fonksiyonu altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, eğitme aşamasının P1 girdi vektörü elemanlarını; ikinci bölüm, eğitme aşamasının T1 çıktı vektörü elemanını ifade etmektedir. Üçüncü bölüm, hedeflenen hatayı göstermektedir. Burada; hedeflenen hata 0,01 olarak dikkate alınmıştır. Dördüncü bölüm, spread parametresinin değerini (0,1) beşinci bölüm de ara tabaka hücre sayısını (10) göstermektedir. Altıncı ve son bölüm de gösterimler arasına eklenecek nöron sayısını (30) ifade etmektedir. RBF analizlerinden elde edilen sonuçlar, tez çalışmasının dördüncü bölümünde verilmiştir.

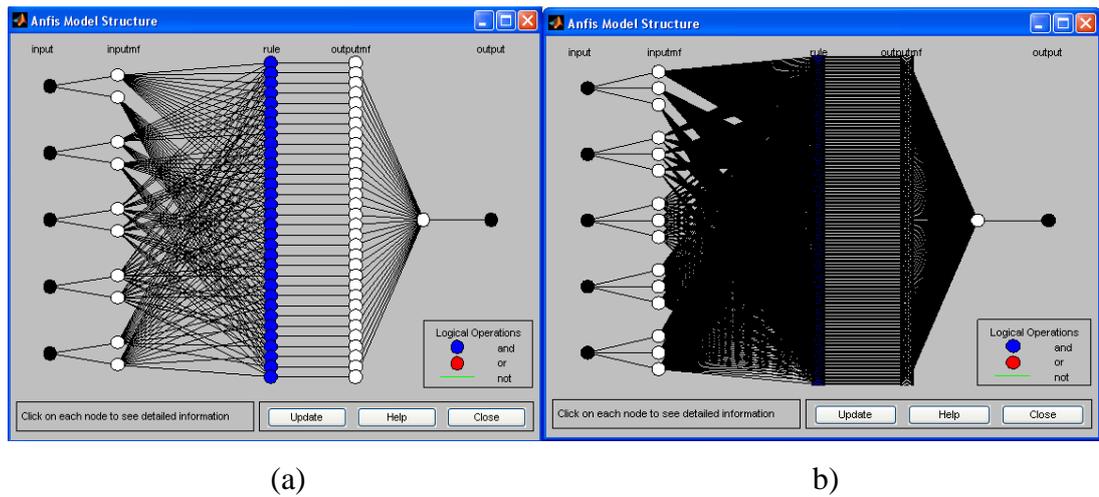
3.2.3. Ağ Bölüştürme Algoritması (GPA) ile Modelleme

İnşaat sektörünün kullandığı kaynakların fazlalığı, bu kaynakları elde etme güçlüğü, karar verme için deneyim faktörünün oynadığı önemli rol ve sektördeki yoğun rekabet ortamı göz önüne alınarak; değerlendirmelerin nitelikli, yeterli doğrulukta ve olabildiğince hızlı yapılabilmesi için sadece ANN yaklaşımlarının yanısıra, ANN ve FL yaklaşımlarının ortak olarak kullanıldığı hibrit ANFIS yaklaşımının da ele alınması ve böylece ANN yaklaşımları ile hibrit GPA ve SCA yaklaşımlarının kıyaslanabilmesi fikri, bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır.

Bilindiği üzere bulanık sistemler; kural tabanı, üyelik fonksiyonları ve çıkarım mekanizması, olmak üzere başlıca üç bileşenden oluşur. Tez çalışmasında kullanılan hibrit GPA yaklaşımı için; bulanık çıkarım sistemi (fuzzy inference system, FIS), Sugeno (1983) tarafından önerilen türdedir. Sugeno tipi bulanık sonuç çıkarma sistemlerinde, bulanık kuralların sonuçları hızlı fonksiyon üretilmesiyle çıktı olarak tanımlanabilmektedir [173]. Sugeno tip bulanık çıkarım sistemi yapısal olarak tek bir hedef çıktı değişkeninin tahmininde kullanıldığı için, bütün GPA modelleri tek hedef çıktı değişkeni ile ifade edilmiştir [82].

GPA yaklaşımı ile modellemede; bulanık küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğri olan üyelik fonksiyonunun sayısı, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonu türleri, iterasyon sayısı gibi değişkenler bulunmaktadır [84]. GPA yaklaşımı; MATLAB, Version 7.9.0 yazılımı kapsamında da tanımlanmış olan ve Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini kullanan ve Formül (2.27)'de verilen *genfis1* fonksiyonunun, veri üzerindeki ağırları bölerek çıktı olarak tekil bir bulanık çıkarım sistemi oluşturması esasına dayanır. Tez çalışması kapsamında da, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli göz önüne alınarak oluşturulan maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin her bir kombinasyonunun; hibrit ANFIS yaklaşımlarından olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) yöntemi ile yapılan analizlerinde, optimizasyon metodu olarak da hybrid kullanılmıştır. Bilindiği üzere, eğitimde hatanın yayılması; geri yayılım ve hybrid olmak üzere iki şekilde olmaktadır. Hybrid metodu, geri yayılım metoduna göre daha hızlı bir metot olarak bilinir.

Tez çalışması kapsamında GPA yöntemi ile yapılan analizlerde; iterasyon sayısı, MLP yaklaşımındaki gibi 1 ile 20 aralığında birer artırımla denenmiştir. Üyelik fonksiyonu sayısı 2 veya 3 olarak ayrı ayrı, girdi üyelik fonksiyonu türü gaussal veya üçgensel olarak ayrı ayrı, çıktı üyelik fonksiyonu türü doğrusal 'linear' ya da sabit 'constant' olarak ayrı ayrı ele alınmış ve bu şekilde, bahsedilen değişkenlerin tüm varyasyonları denenmiştir. Bunun yanısıra; öğrenme oranı (stepsiz) 0,02 olarak ve hedeflenen hata da 0,01 olarak dikkate alınmış olup, en küçük RMSE ve MAE değerleri ile en büyük R^2 değerine sahip olan değişkenler belirlenmeye çalışılmıştır. Bir başka ifadeyle, en iyi performansı gösteren; iterasyon sayısı, üyelik fonksiyonu sayısı, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonu türleri belirlenmeye çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında; maliyet modeli kapsamında beş girdi verisi ile bir çıktı verisinden oluşan (beşinci kombinezona ait) bir GPA modelinin yapısı, Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. (a) Üyelik fonksiyonu sayısı 2 olan GPA yapısı; (b) Üyelik fonksiyonu sayısı 3 olan GPA yapısı.

Şekil 3.3. (a)'da verilen sistemde; toplam kural sayısı = üyelik fonksiyonu sayısı^{girdisayısı} = $2^5 = 32$ olarak belirlenmiştir. 32 adet kural, 32 adet denklem demektir. Her denklemde 6 adet parametre (5 adet girdi parametresi ve 1 adet bağımsız parametre) olduğu düşünülürse, toplamda $32 * 6 = 192$ adet parametre elde edilir. Şekil 3.3. (b)'de verilen sistemde; toplam kural sayısı = üyelik fonksiyonu sayısı^{girdi sayısı} = $3^5 = 243$ olarak belirlenmiştir. 243 adet kural, 243 adet denklem demektir. Her denklemde 6 adet parametre (5 adet girdi parametresi ve 1 adet bağımsız parametre) olduğu düşünülürse,

toplamda $243 * 6 = 1458$ adet parametre elde edilir. GPA analizlerinden elde edilen sonuçlar, tez çalışmasının dördüncü bölümünde verilmiştir.

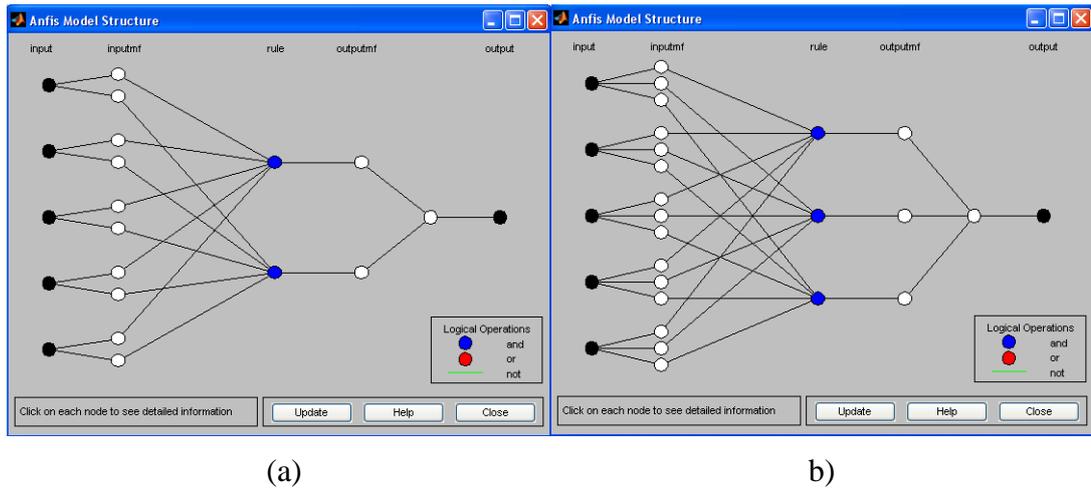
3.2.4. Eksiltmeli Gruplandırma Algoritması (SCA) ile Modelleme

"Adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi" (ANFIS) yaklaşımı kapsamında sınıflandırılan SCA yaklaşımının en önemli avantajı; bulanık sistemde verilen parametreye/parametrelere göre en uygun üyelik fonksiyonu sayısını ve kuralları belirleyebilmesidir [82]. Bunun yanısıra, özellikle kompleks sistemlerde kural sayısının çokluğunun istenmeyen bir problem olarak ortaya çıkması nedeniyle bu tür sistemler için SCA yaklaşımı, kompleks bir yapıya dönüşebilir [188].

ANFIS, eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) analizinde; prototip bir bulanık çıkarım sistemi (FIS) ile işleme başlar ve bu aşamada eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) fonksiyonu kullanılır. MATLAB, Version 7.9.0 yazılımı kapsamında, Formül (2.30) ile tanımlanmış olan *genfis2* fonksiyonu, bahsedilen gruplandırma (clustering) algoritmasını kullanarak bulanık çıkarım sistemini oluşturmaktadır. *genfis2* fonksiyonu, *genfis1* fonksiyonu gibi Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini kullanmaktadır. *genfis2* fonksiyonu ile Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi içerisindeki veri grupları ve veri grup merkezleri tespit edilmektedir.

genfis2 fonksiyonu; başlangıç veri grubu yarıçapı (*radii*) ve veri grubu komşuluk faktörü (*quashfactor*) vektörlerini içermektedir. Başlangıç veri grubu yarıçapı; her bir veri grubu için gruplandırma merkezinin etki aralığını tanımlayan bir veri grubu yarıçapı vektörünü ifade etmektedir. Bahsedilen yarıçapın belirlenmesi için geçerli bir yaklaşım söz konusu olmayıp, yarıçap ifadesi deneme-yanılma yoluyla bulunur. Ancak; yarıçapın değeri azaldıkça, üyelik fonksiyonu sayısının artacağı öngörülmektedir. Veri grubu komşuluk faktörü ise; veri grubuna ait etki merkezinin yarıçapını belirli aralıklar içerisinde bulunan rakamlarla çarparak veri grubu merkezine olan komşuluğu tespit etmektedir. SCA yaklaşımında optimum sonuçların elde edilebilmesi için kullanılan kriterlerden birisi de iterasyon sayısıdır. SCA yaklaşımında kullanılan iterasyon sayısı, GPA yaklaşımında olduğu gibi iteratif ANN yaklaşımlarının avantajlarını içerir ve deneme-yanılma yolu ile bulunur. Tez çalışması kapsamında SCA yöntemi ile yapılan

analizlerde; iterasyon sayısı, MLP ve GPA yaklaşımlarındaki gibi 1 ile 20 aralığında birer artırımla denenmiştir. Başlangıç veri grubu yarıçapı ile veri grubu komşuluk faktörü de 0,10 ile 0,40 aralığında 0,01 artırımla denenmiştir. Tanımlanan veri aralıkları dışında ANFIS algoritması prototip FIS sistemini oluşturamamıştır. Bunun nedeni, adaptif ağ içerisindeki toplam ağırlık çarpanının sıfır olması ve algoritmanın birden fazla kural üretememesi olarak gösterilebilir. Bahsedilen değer aralığındaki bütün değişkenler denenerak en küçük RMSE ve MAE değerleri ile en büyük R^2 değerine sahip olan değişkenler belirlenmeye çalışılmıştır. Bir başka ifadeyle, en iyi performansı gösteren iterasyon sayısı ve veri grubu yarıçapı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanısıra; hedeflenen hata da 0,01 olarak dikkate alınmıştır. Tez çalışması kapsamında; maliyet modeli kapsamında beş girdi verisi ile bir çıktı verisinden oluşan (beşinci kombinezona ait) bir SCA modelinin yapısı, Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. (a) Üyelik fonksiyonu sayısı 2 olan SCA yapısı; (b) Üyelik fonksiyonu sayısı 3 olan SCA yapısı.

Şekil 3.4. (a)’da verilen sistemde; beş girdi parametresinin her birinden ikişer girdi üyelik fonksiyonu elde edilmiş ve toplam kural sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.4. (b)’de verilen sistemde ise; beş girdi parametresinin her birinden üçer girdi üyelik fonksiyonu elde edilmiş ve toplam kural sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Çıktı üyelik fonksiyonlarının sayıları ise kural sayılarına eşittir. Sistemde sonuç olarak tek bir çıktı parametresi elde edilmektedir.

SCA yaklaşımında, GPA yaklaşımındaki gibi; model oluşturmak ve optimize etmek için geri yayımlı ve hibrit öğrenme algoritmaları kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli göz önüne alınarak oluşturulan maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin her bir kombinasyonunun; hibrit ANFIS yaklaşımlarından olan eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) yöntemi ile yapılan analizlerinde, optimizasyon metodu olarak hibrit kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, SCA yaklaşımında üyelik fonksiyonu türü olarak yalnızca, gaussal fonksiyonunu kullanılabildiği, bir önceki bölümde ifade edilmiştir. SCA analizlerinden elde edilen sonuçlar, tez çalışmasının dördüncü bölümünde verilmiştir.

3.3. Regresyon Analizi (RA) Yöntemi ile Modelleme

İnşa edilmesi planlanan bir yapının; kesin hesap tutarı değeri ile maliyet sapması ve süresel sapma gibi oranlarının önceden belirlenmesi oldukça güçtür. Çünkü inşaat sektöründe öngörülemeyen değişimler çok çeşitli ve oldukça fazla sayıdadır. Bir önceki bölümde de görüldüğü üzere, çoklu doğrusal regresyon (MLR) yöntemi, belirtilen değer ve oranların netleştirilmesinin güç olduğu durumlarda, daha önce tamamlanmış olan yapıların; yaklaşık maliyet, sözleşme bedeli, kesin hesap tutarı, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği, öngörülen proje süresi ve gerçekleşen proje süresi gibi gerçek değerlerinden yola çıkılarak bu değer ve oranları tahmin edebilir. Bu kapsamda, "maliyet modeli" için; girdi parametreleri ve aynı zamanda bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli verileri ile çıktı parametresi ve aynı zamanda bağımlı değişken olan "kesin hesap tutarı" verisi arasında oluşturulacak doğrusal bir ilişki ve elde edilebilecek bir doğru denklemi yardımı ile mevcut verilere karşılık gelecek kesin hesap tutarları, belirli hata oranları içinde tahmin edilebilir.

Aynı ifadeler; maliyet sapması modeli ile süresel sapma modeli için de geçerlidir. "Maliyet sapması modeli" için; girdi parametreleri ve aynı zamanda bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet verileri ile çıktı parametresi ve aynı zamanda bağımlı değişken olan "sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı" verisi arasında oluşturulacak doğrusal bir ilişki ve elde edilebilecek bir doğru denklemi yardımı ile yeni yapım işleri için,

mevcut verilere karşılık gelecek sözleşme bedeline göre maliyet sapmaları, belirli hata oranları içinde tahmin edilebilir. "Süresel sapma modeli" içinse; girdi parametreleri ve aynı zamanda bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli verileri ile çıktı parametresi ve aynı zamanda bağımlı değişken olan "öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı" verisi arasında oluşturulacak doğrusal bir ilişki ve elde edilebilecek bir doğru denklemi yardımı ile yeni yapım işleri için, mevcut verilere karşılık gelecek öngörülen proje süresine göre süresel sapmaları, belirli hata oranları içinde tahmin edilebilir.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli olmak üzere toplam sekiz farklı örneklem grubu için yapılacak olan ve bununla birlikte; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için ayrı ayrı kullanılacak olan genel regresyon denklemi, formül (3.5)'de ifade edilmiştir.

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_4 + fx_5 \quad (3.5)$$

Burada;

y (bağımlı değişken): maliyet modeli için; kesin hesap tutarı, maliyet sapması modeli için; sözleşme bedeline göre maliyet sapması, süresel sapma modeli için; öngörülen proje süresine göre süresel sapma,

a : düşey eksenindeki (y eksenindeki) kesişim sabiti,

x_1 (birinci bağımsız değişken): maliyet modeli için yaklaşık maliyet, maliyet sapması modeli için sözleşme bedeli, süresel sapma modeli için öngörülen proje süresi,

x_2 (ikinci bağımsız değişken): maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için toplam inşaat alanı,

x_3 (üçüncü bağımsız değişken): maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için kat sayısı,

x_4 (dördüncü bağımsız değişken): maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için yapı yüksekliği,

x_5 (beşinci bağımsız değişken): maliyet modeli ve süresel sapma modeli için sözleşme bedeli, maliyet sapması modeli için yaklaşık maliyet,

b, c, d, e, f : bağımsız değişkenlerin katsayı parametreleri,

Şeklinde ifade edilebilir. Maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli beşer girdi ve birer çıktı verilerinden, bir başka ifadeyle beşer kombinezondan oluştukları için, bahsedilen üç modelin genel regresyon denklemleri aynı formül kapsamında gösterilmiştir. Burada; bağımsız değişkenler olan; x_1 , x_2 , x_3 , x_4 ve x_5 değişkenleri, aynı zamanda modellerin girdi verilerini, bağımlı değişken olan y ise aynı zamanda modelin çıktı verisini temsil etmektedir. Çalışma kapsamında, MLR analizleri, yapay zekâ (AI) yaklaşımlarının analizlerine benzer olarak, her modelin kombinezonları için ayrı ayrı yapılmıştır. MLR analizlerinde, Minitab 15 istatistik yazılımından yararlanılmıştır [93].

MLR denklemi elde edildikten sonra, çeşitli hipotezler test edilebilir [200]. Tez çalışması kapsamında da, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli olmak üzere toplam sekiz farklı örneklem grubu için; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli olmak üzere üçer modele hipotez testleri uygulanmıştır. Uygulamada t-testi ve ANOVA kullanılmış olup, bir önceki bölümde hipotez testleri için verilen altı temel aşama takip edilmiştir. Buna göre;

1. *Hipotezlerin belirlenmesi:* H_0 ile H_1 belirlenir. Buna göre, mevcut çalışmada üç farklı model söz konusu olduğu için üç farklı hipotez kurulmuştur.

Maliyet modeli için;

H_0 : Kesin hesap tutarı ile yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

H_1 : Kesin hesap tutarı ile yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Maliyet sapması modeli için;

H_0 : Sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

H_1 : Sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişki vardır.

Süresel sapma modeli için;

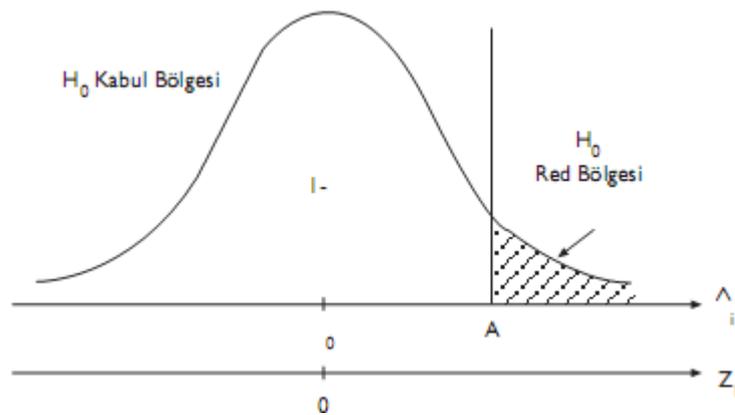
H_0 : Öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişki yoktur.

H_1 : Öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişki vardır.

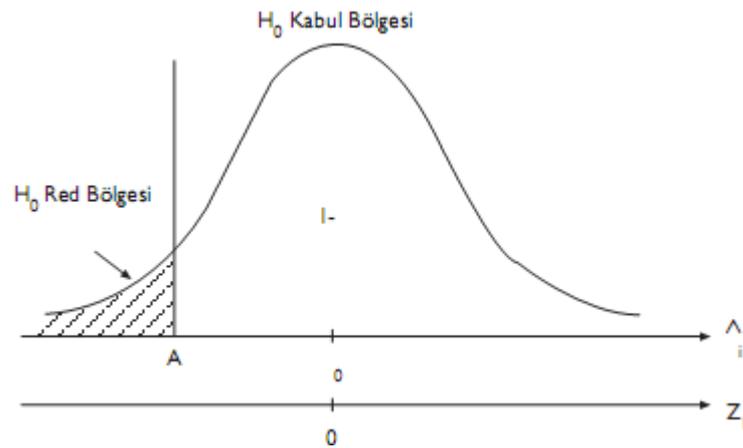
2. *Önem (anlamlılık) düzeyinin belirlenmesi*: Önem düzeyi (α), doğru olduğu halde H_0 'ın reddedilme olasılığıdır [198]. Güven aralığı $(1-\alpha)$ ise; doğru olan H_0 'ın kabul edilme olasılığıdır. Bu tez çalışmasında, bütün modeller ve örneklem için; önem düzeyi (kritik-p); 0,05 olarak dikkate alınmıştır. Bunun daha açık ifadesi; "doğru olan H_0 hipotezini reddetmek için %5'lik bir hata yapma riski peşinen riski kabul ediliyor" şeklindedir. Hipotez testleri sonucunda elde edilecek olan p-değerleri, burada kabul edilen $\alpha=0,05$ değerinden küçükse, bağımsız değişkenlerin her birinin bağımlı değişken üzerinde tek başına etkisi var demektir. Yani; yapılan analiz en az %95 seviyesinde anlamlıdır. P-değerleri, $\alpha=0,05$ değerinden büyükse, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerinde etkisi yoktur.
3. *İstatistiksel test tekniğinin belirlenmesi*: İstatistiksel test tekniğinin belirlenmesi aşamasında, örneklem parametrik olup olmama durumu göz önüne alınır [86]. Eğer örneklem parametrik ise parametrik bir test tekniği kullanımı öngörülür ve örneklem büyüklüğüne bakılır [86]. Tez çalışması kapsamında da; maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin değişkenleri, aralarındaki anlamlılık seviyesinin ve korelasyon ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla t-testi ve ANOVA analizlerine tabi tutulmuştur.
4. *Ret bölgesinin belirlenmesi*: Ret bölgesi, örneklem dağılımında, doğru olan H_0 'ın reddedilme olasılığına eşit olan oransal alan olarak tanımlanır [198]. Ret bölgesinin büyüklüğü, önem düzeyinin (α) belirlenmesi ile ortaya çıkar. Ret bölgesinin dışında kalan bölge ise $(1-\alpha)$ ile gösterilir. Yani mevcut tez çalışmasında, bütün modeller ve örneklem için; ret bölgesinin büyüklüğü %5,

ret bölgesinin dışında kalan bölgenin büyüklüğü de %95 olarak dikkate alınmıştır.

Ret bölgesi, tek yönlü veya iki yönlü olabilir. Test tek yönlü ise ret bölgesi eğrinin bir ucundadır. Ancak; $H_0: \mu_1 = \mu_2$, $H_1: \mu_1 > \mu_2$ ise ret bölgesi eğrinin sağ ucunda (tek yönlü üst kuyruk), $H_0: \mu_1 = \mu_2$, $H_1: \mu_1 < \mu_2$ ise ret bölgesi eğrinin sol ucundadır (tek yönlü alt kuyruk).

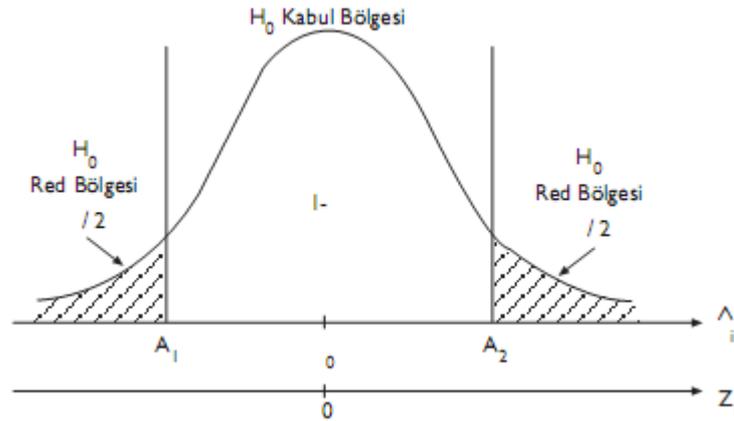


Şekil 3.5. Tek yönlü üst kuyruk testlerinde ret bölgesi. [198]



Şekil 3.6. Tek yönlü alt kuyruk testlerinde ret bölgesi. [198]

Test iki yönlü ise; $H_0: \mu_1 = \mu_2$, $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ olup, ret bölgesi eğrinin iki ucundadır. H_0 'ın reddedileceği bölge ile reddedilemeyeceği bölge arasında kalan bölgeye de "kritik değer" adı verilir.



Şekil 3.7. İki (çift) yönlü testlerde ret bölgeleri. [198]

Örnekleme istatistiğinin normal dağılımlı olması durumunda ret ve kabul bölgeleri; Şekil 3.5 ile Şekil 3.7 aralığında gösterilmiştir [198]. Tek yönlü testlerdeki A noktası ile iki yönlü testlerdeki A_1 ve A_2 noktaları, ret bölgelerinin başlangıç noktalarını ifade etmektedir.

Hipotez testinin ret bölgesinin yönünü H_1 hipotezinin belirlediği göz önüne alınırsa, mevcut çalışma için kurulmuş olan üçer farklı H_0 ile H_1 hipotezleri arasında farklılık ilişkisi olduğu için, yani yüksek değer-düşük değer ilişkisi olmadığı için hipotez testi iki yönlü olacaktır. Bir başka deyişle, mevcut çalışmadaki ret bölgesi, Şekil 3.7'de verildiği üzere eğrinin hem alt kuyruğunda hem de üst kuyruğunda tanımlanmıştır. Ret bölgesi, eğrinin her iki kuyruğunda da tanımlandığı için, ret bölgesinin oransal büyüklüğü; $0,05/2=0,025$ olarak elde edilmiştir.

5. *Test istatistiğinin hesaplanması*: Test istatistiği, örnek kütleden elde edilen ve H_0 'ın reddedilmesinde veya kabul edilmesinde kullanılan değerdir. Test istatistiği, araştırma sonucu elde edilen verilerin test istatistik formülünde yerine konularak işlem yapılmasıyla elde edilir. Bilgisayar yazılımlarında ise test istatistiği değeri, otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Mevcut çalışmada da, bütün MLR analizleri, Minitab 15 istatistik yazılımı kullanılarak yapılmıştır [93]. Dolayısıyla, t-testinden elde edilen $t_{\text{örneklem}}$ ve ANOVA'dan elde edilen $F_{\text{örneklem}}$ değerleri Minitab 15 istatistik yazılımından elde edilmiştir.

6. *Karar ve yorum*: Hesaplanan $t_{\text{örneklem}}$ ve $F_{\text{örneklem}}$ değerlerinin karşılaştırma kriteri olarak, detayları bir önceki bölümde verilen t_{kritik} ve F_{kritik} değerleri belirlenmelidir. Bunun için de, mevcut tez çalışmasında EK-3 ve EK-4 olarak verilen t-dağılım çizelgesi ile F-dağılım çizelgesinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak; t-testi için; $\|t_{\text{örneklem}} \leq t_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 kabul edilir. Aksi halde, yani $\|t_{\text{örneklem}} > t_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 reddedilir. ANOVA için de; $\|F_{\text{örneklem}} \leq F_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 kabul edilir. Aksi halde, yani $\|F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}\|$ ise H_0 reddedilir. Burada önemli olan nokta; H_0 reddedilirse, bu kararın %100 doğru olmayacağıdır. Çünkü doğru olduğu halde H_0 hipotezinin %5 önem düzeyinde reddedileceği baştan kabul edilmişti. Ters durum da geçerlidir. Yani; H_0 kabul edilirse bu karar da %100 doğru değildir. Çünkü kabul bölgesi %95 olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında oluşturulan "maliyet modeli", "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli"nin parametreleri arasındaki anlamlılık seviyesinin belirlenebilmesi amacıyla, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli olmak üzere toplam sekiz veri grubuna, t-testi ve varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. H_0 ve H_1 hipotezleri, yukarıdaki birinci maddede yer aldığı şekilde belirlenmiştir. Bütün modeller ve örneklem için; önem düzeyi (kritik-p); 0,05 olarak dikkate alınmıştır. Ret bölgesinin büyüklüğü %5 ve ret bölgesinin dışında kalan bölgenin büyüklüğü de %95 olarak dikkate alınmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere, bütün MLR analizleri, Minitab 15 istatistik yazılımı kullanılarak yapılmıştır [93]. Türkiye'nin her bir coğrafi bölgesi için ANOVA sonuçlarına burada yer verilmemiş olup, Tablo 3.9'da sadece Türkiye geneli için yapılan ANOVA sonuçlarına yer verilmiştir. Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi için yapılan analizlerin sonuçlarına, tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'de yer verilmiştir. Türkiye geneli için; maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi kapsamında ANOVA sonuçlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ ve $F_{\text{örneklem}}$ değerleri, Tablo 3.9'da verilmiştir. $P_{\text{kritik}}=0,05$ değeri için, tez çalışmasının sonunda EK-4 olarak verilen F dağılım çizelgesinden elde edilen F_{kritik} değerleri de aynı tabloda sıralanmıştır.

Tablo 3.9. Türkiye geneli verileri için ANOVA'dan elde edilen sonuçlar.

Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	6185,72	3,92
	2	0,000	0,050	3112,47	3,00
	3	0,000	0,050	2089,05	2,45
	4	0,000	0,050	1620,49	2,45
	5	0,000	0,050	8148,10	2,29
Maliyet Sapması Modeli	1	0,378	0,050	0,78	3,92
	2	0,648	0,050	0,44	3,00
	3	0,038	0,050	2,85	2,45
	4	0,000	0,050	8,08	2,45
	5	0,000	0,050	9,86	2,29
Süresel Sapma Modeli	1	0,000	0,050	27,58	3,92
	2	0,000	0,050	14,78	3,00
	3	0,000	0,050	10,73	2,45
	4	0,000	0,050	8,58	2,45
	5	0,000	0,050	6,87	2,29

Tablo 3.9'a göre, Türkiye geneli için oluşturulan maliyet modelinin ve süresel sapma modelinin bütün kombinezonları ile maliyet sapması modelinin üçüncü, dördüncü ve beşinci kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, bahsedilen modellerin bahsedilen kombinezonlarında; bağımsız girdi değişkenlerinin her birinin bağımlı çıktı değişkeni üzerinde tek başına etkisi olduğu söylenebilir. Başka bir ifadeyle; maliyet modelinin ve süresel sapma modelinin bütün kombinezonları ile maliyet sapması modelinin üçüncü, dördüncü ve beşinci kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Maliyet sapması modelinin birinci ve ikinci kombinezonlarında ise $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden büyük oldukları için, yapılan MLR analizleri anlamsızdır. Bu nedenle, Türkiye geneli için oluşturulan maliyet sapması modelinin birinci ve ikinci kombinezonları için analizler yapılmış ancak analiz sonuçları, tez çalışmasının bir sonraki bölümü olan "bulgular ve tartışma" bölümünde dikkate alınmamıştır. Bununla birlikte, maliyet modelinin ve süresel sapma modelinin bütün kombinezonları ile maliyet sapması modelinin üçüncü, dördüncü ve beşinci kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Yani, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu

ispatlanmıştır. Maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Süresel sapma modeli için de; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Bahsedilen ispatlar kesinlik taşımamaktadır çünkü kabul bölgesi, analizin başlangıcında %95 olarak belirlenmiştir.

MLR analizi; gözlenen değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki farkın karelerinin toplamını en küçük yapmayı amaçlayarak, "en küçük kareler (LSE) yöntemi" ile değişkenler arasındaki ilişkiyi belirler. Değişkenler arasındaki ilişki de, matematiksel bir formüle dönüştürülerek formüldeki bağımsız değişkenlerin (girdi parametreleri) yerlerine konulmasıyla bağımlı değişken (çıkıtı parametresi) belirlenir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için; Bölüm 2.4'de verilen formül (2.42)'deki genel analitik ifadenin regresyon katsayıları olan $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$ değerleri, gözlem noktalarının regresyon denkleminin gösterdiği düzlemden e_{yi} uzaklıklarının karelerinin toplamı olan;

$$\sum_{i=1}^n e_{yi}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \beta_p x_{pi})^2 \quad (3.6)$$

İfadesini minimum yapacak şekilde hesaplanır [224]. Bu çalışmada β_0 katsayısı sıfır kabul edilmiş olup, Minitab 15 istatistik yazılımı kullanılarak $(\beta_1, \dots, \beta_p)$ katsayıları en küçük kareler metodu ile buldurulmuştur [93].

MLR analizleri sonucunda Formül (3.5)'de genel hali verilen denklemde, modellerin bağımsız değişkenleri olarak ifade edilen girdi parametrelerinin nümerik değerleri, elde edilen denklemlerde yerlerine konularak, bağımlı değişkenin, yani çıkıtı parametresinin tahmini değerleri hesaplanmıştır. MLR ile analiz edilen modellerin performansı, yapay zekâ yaklaşımlarında da karşılaştırma kriteri olarak dikkate alınan; "karekök ortalama karesel hata" (RMSE), "ortalama mutlak hata" (MAE) ve "determinasyon katsayısı" (R^2) ile değerlendirilmiştir. MLR analizinden elde edilen sonuçların detayları, tez çalışmasının dördüncü bölümü olan "bulgular ve tartışma" bölümünde paylaşılmıştır.

4. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Bulgular

Tez çalışmasının bu bölümünde; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun olmak üzere Türkiye'nin sekiz şehrinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinden temin edilen veriler; Ege bölgesi, Marmara bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi, Akdeniz bölgesi ve Karadeniz bölgesi olmak üzere Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesi kapsamında ve yedi alt başlık altında değerlendirilmiş olup, sekizinci ve son alt başlık olarak da, bütün şehirlerden temin edilen veriler Türkiye geneli için değerlendirilerek tez çalışmasının "bulgular" kısmı tamamlanmıştır. Her bir alt başlık için değerlendirme aşaması, sırasıyla;

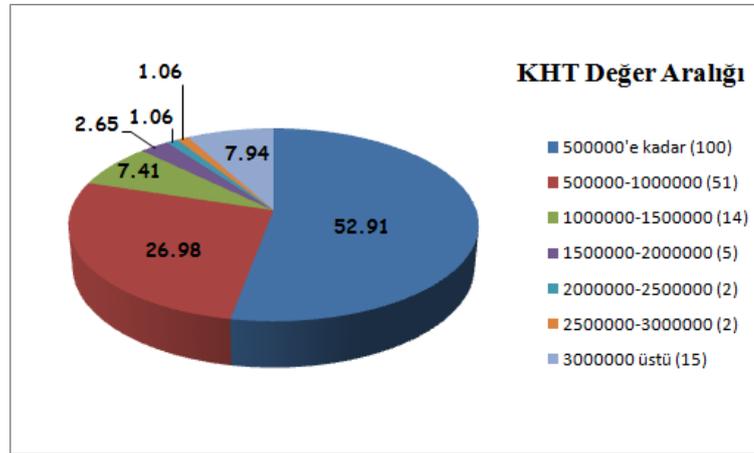
- Birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) uygulaması,
- Maliyet modeli,
- Maliyet sapması modeli ve
- Süresel sapma modeli,

Olmak üzere toplam dört model için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir coğrafi bölgeden ve Türkiye genelinden elde edilen sonuçlar da, "bulguların değerlendirilmesi ve tartışma" bölümünde toplu olarak değerlendirilmiştir.

4.1.1. İzmir'den Elde Edilen Bulgular

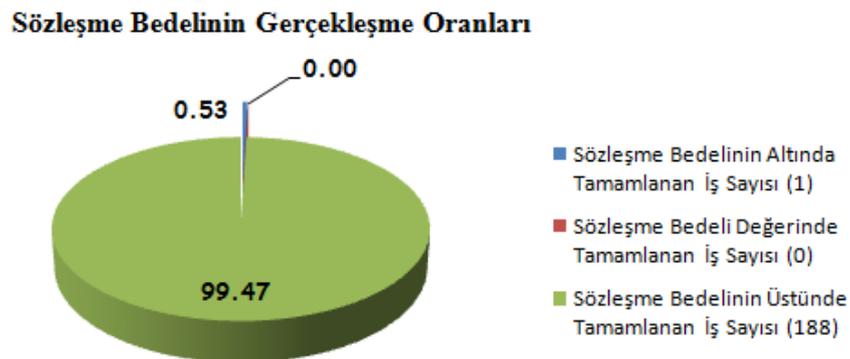
İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünün arşiv kayıtları incelenerek, 2004-2010 yılları arasında İzmir'de tamamlanmış olan toplam 198 kamu yapım işinin 189'unun

gerçekleşme maliyetleri (kesin hesap tutarları-KHT) temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.1’de verilmiştir.

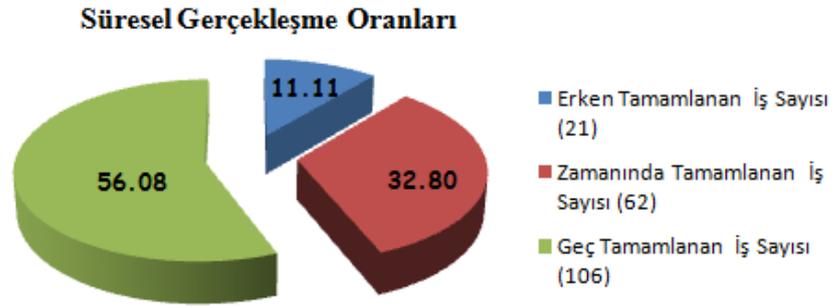


Şekil 4.1. İzmir’deki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %52,91’i 500.000 TL’nin altındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 79.240 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 18.674.974 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 1.172.430 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 1.000.000 TL’nin sınır değer olduğu düşünülürse, İzmir’de yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirdeki kamu yapım işi hacminin geniş olduğu söylenebilir. İzmir’de tamamlanan toplam 189 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.2’de, süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. İzmir’deki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)



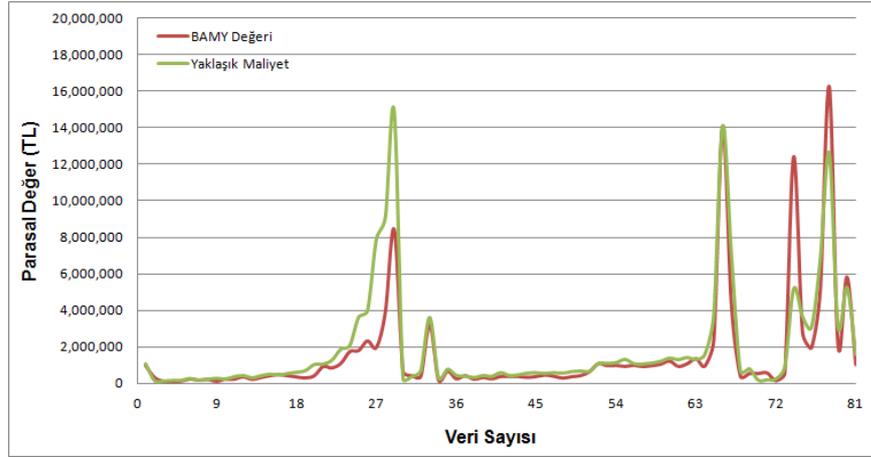
Şekil 4.3. İzmir'deki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

İzmir'deki yapım işlerinin %99,47'si, bir başka ifadeyle neredeyse tamamı, sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmıştır. Yapım işlerinin %0,53'ü sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, hiçbir yapım işi sözleşme bedeli değerinde tamamlanmamıştır. Bunun yanısıra, yapım işlerinin %56,08'i, yani yarısından fazlası, öngörülen proje süresinden daha geç sürede tamamlanmıştır. Buna karşın, yapım işlerinin %11,11'i öngörülen proje süresinden daha erken tamamlanmış olup, yapım işlerinin %32,80'i de öngörülen proje süresinde tamamlanmıştır.

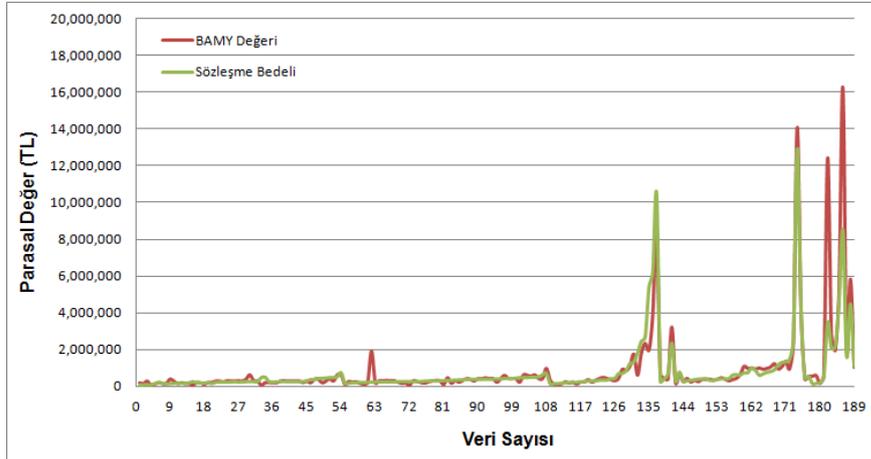
Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

Birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) uygulamasında; bütün coğrafi bölgeler için elde edilen toplam inşaat alanları ile birim alan maliyetleri çarpılarak, her bir yapının yaklaşık maliyeti elde edilmiştir. Sonuçlar, yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen; (birim fiyat analizlerine göre) yaklaşık maliyet, sözleşme bedeli ve en önemlisi kesin hesap tutarları ile kıyaslanarak BAMY'nin gerçekçilik düzeyi yorumlanmıştır.

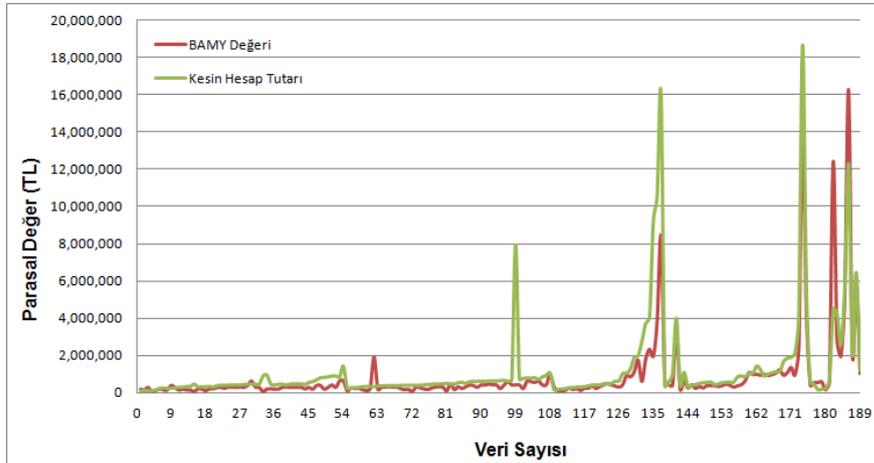
İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde gerçekleştirilen arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 81 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.4'de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli değerleri temin edilmiş olan 189 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.5'de, 189 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. İzmir için BAMY-Yaklaşık maliyet ilişkisi.

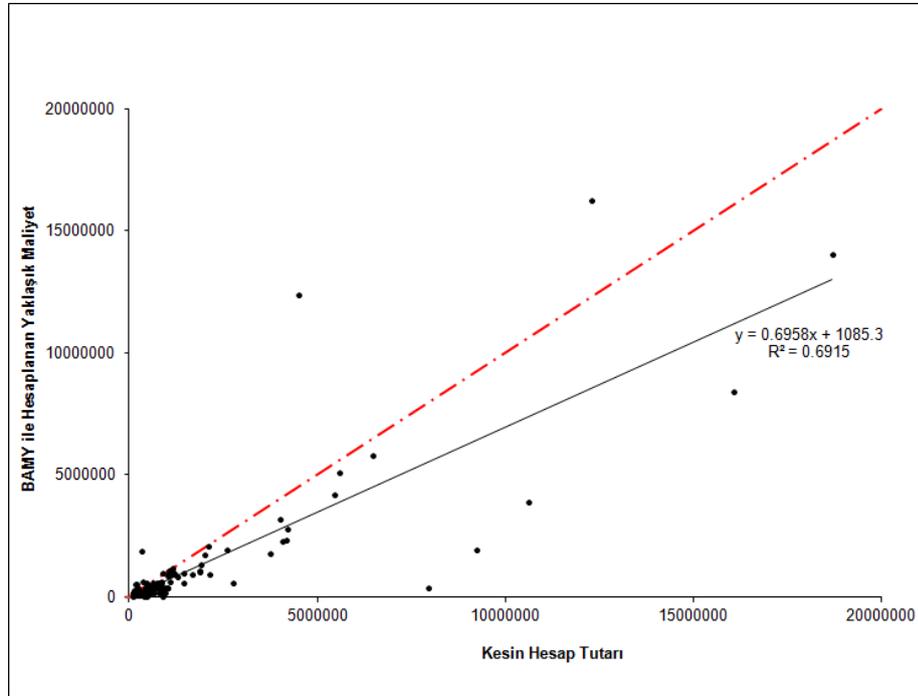


Şekil 4.5. İzmir için BAMY-Sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.6. İzmir için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her bir şekilde; kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Üç kıyaslama içerisinde en önemlisinin, BAMY ile kesin hesap tutarı kıyaslamasının olduğu düşünülmektedir. Çünkü kesin hesap tutarı, gerçekleşmiş olan reel yapım maliyetidir. Yaklaşık maliyet tahmini yapılmasının amacı da gerçekleşecek olan maliyeti tahmin edebilmektir. Şekil 4.6'nın anlam düzeyini artırabilmek adına, toplam 189 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. İzmir için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

Kırmızı renkle gösterilen $y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.7'de görülen doğrusal $y=0.6958x+1085.3$ denklemi, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığını göstermektedir. Verilerin de eğilim çizgisinin etrafında dağınık bir saçılma sahip oldukları görülmektedir. Buradan da, kesin hesap tutarı değerleri ve BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri arasında önemli farklılıklar olduğu söylenebilir. Kesin hesap tutarı değerleri ve BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve

hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,6915<0,80$ sonucunun kabul edilebilir seviyede olmadığı görülmektedir [84].

Şekil 4.7’de verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. İzmir için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2004	54	12.617.988	24.260.878	-47,99
2005	54	18.299.572	34.768.163	-47,37
2006	29	28.356.466	59.802.812	-52,58
2007	37	40.726.253	56.346.087	-27,72
2008	9	22.063.652	16.333.493	35,08
2009	5	31.199.122	28.910.741	7,92
2010	1	1.011.150	1.167.038	-13,36
TOPLAM	189	154.274.203	221.589.212	-30,38

İzmir’de tamamlanmış olan toplam 189 kamu yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %30,38’lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak, 2008 ve 2009 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %35,08 ve 7,92 oranlarında daha yüksek hesaplanmışlardır. Yıl bazında sapma oranının, 2006 yılında %52,58’e ulaştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin gerçeği yansıtmadığı söylenebilir. Bu nedenle, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

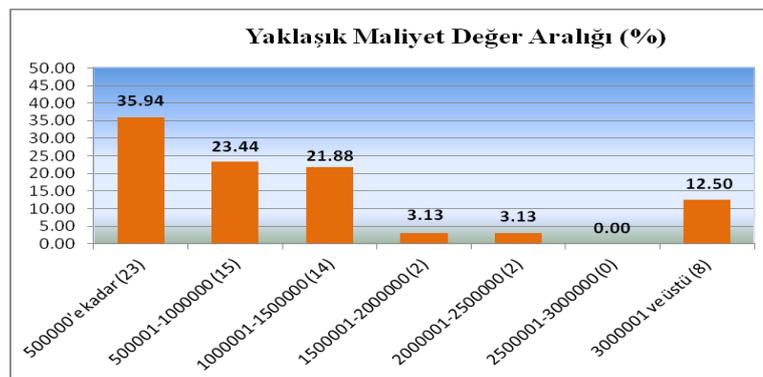
İzmir’den temin edilen verilerle oluşturulan maliyet modelinde kullanılan toplam 64 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. İzmir için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

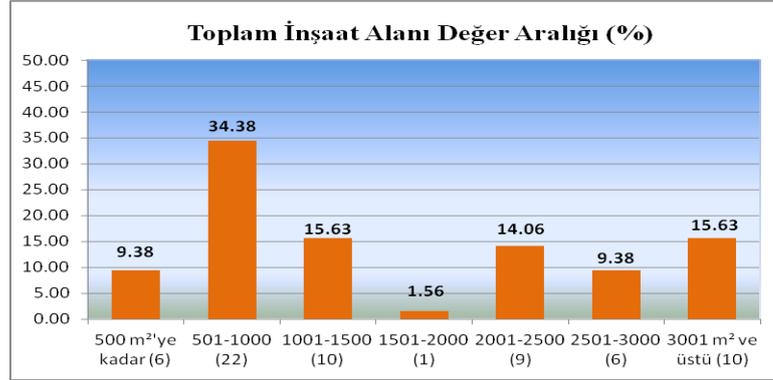
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	129.742,00	228,00	1,00	3,80	107.250,00
Maks. Değer	14.118.000,00	12825,00	12,00	30,60	12.950.745,00
Aritmetik Ortalama	1.319.318,14	2145,70	3,61	10,69	966.583,94
Standart Sapma	2.063.083,06	2578,68	1,63	4,95	1.754.699,06
Değişim Katsayısı (%)	156,37	120,18	45,14	46,27	181,54

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 129.742-14.118.000 TL aralığında, toplam inşaat alanı 228-12825 m² aralığında, kat sayısı 1-12 aralığında, yapı yüksekliği 3,80-30,60 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 107.250-12.950.745 TL aralığında değişmektedir. Aritmetik ortalamaların, her parametrenin minimum değerlerine daha yakın seyrettiği görülmektedir. Yani her parametrenin veri yığılması, minimum değerine doğrudur. Bununla birlikte; sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayısının, diğer verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan da; sözleşme bedeli verilerinin, diğer verilere göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise kat sayısı verileridir.

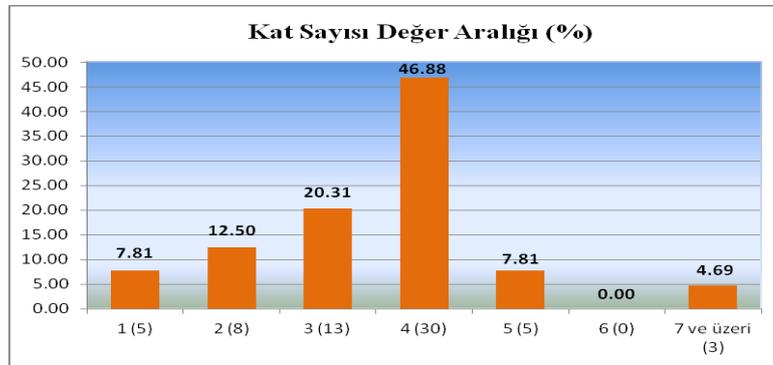
Maliyet modeli için; İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 64 verinin 2004-2007 yılları arasına ait 54 tanesi (%84) eğitim aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 10 tanesi (%16) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 64'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.8'de verilmiştir.



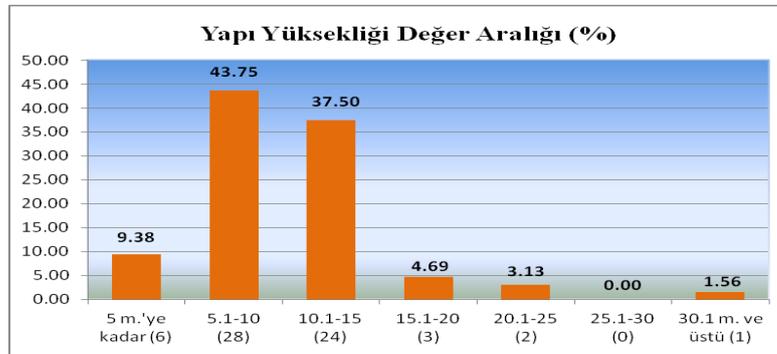
4.8.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



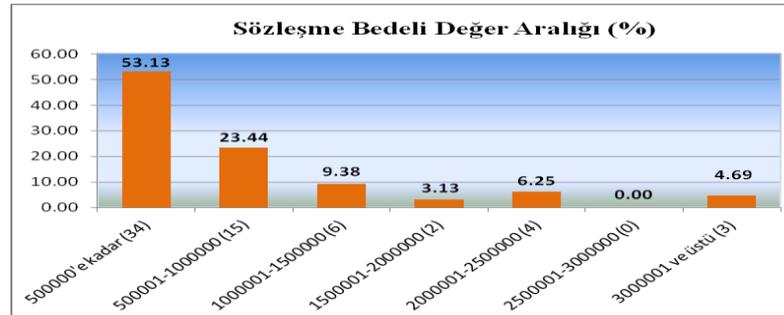
4.8.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.8.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.8.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.8.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.8. İzmir için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.8’de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %35,94’ünün yaklaşık maliyeti 500.000 TL’nin altında, %34,38’inin toplam inşaat alanı 501-1000 m² arasında, %46,88’i dört katlı, %43,75’inin yüksekliği 5,1-10 m. arasında ve %53,13’ünün sözleşme bedeli 500.000 TL’nin altındadır.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesi ve son olarak Türkiye geneli için; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için ayrı ayrı kullanılacak olan genel regresyon denklemi, detayları tez çalışmasının 3.3. bölümü kapsamında da ifade edildiği üzere, şu şekilde belirlenmiştir;

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_4 + fx_5 \quad (4.1)$$

İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. İzmir için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x₁) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x₂) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x₃) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x₄) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x₅) Katsayı Parametresi (f)
1	-200975	1,29	-	-	-	-
2	-92916	1,43	-143,58	-	-	-
3	41707	1,41	-102,63	-53076	-	-
4	71383	1,40	-83,94	8647	-25177	-
5	- 45440	0,26	32,38	34548	-12400	1,13

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.3’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki; RMSE, MAE ve R² değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.4’de verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zeka

yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.4'de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar, Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.4. İzmir için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.4.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	163720,00	124900,00	0,9960	409330,00	319040,00	0,9940
2	164510,00	122240,00	0,9960	493900,00	341320,00	0,9620
3	173220,00	123210,00	0,9950	492180,00	348310,00	0,9770
4	141560,00	96801,00	0,9980	481220,00	388980,00	0,9830
5	43947,00	33634,00	0,9998	271940,00	207800,00	0,9953

4.4.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	2866500,00	1309500,00	0,9960	537270,00	368100,00	0,9760
2	2867000,00	1309500,00	0,9960	618400,00	442500,00	0,9760
3	2867100,00	1309500,00	0,9970	668860,00	481900,00	0,9530
4	2850900,00	1309500,00	0,9820	672530,00	515190,00	0,9120
5	2850000,00	1309500,00	0,9820	506600,00	446310,00	0,9560

4.4.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	166560,00	131670,00	0,9960	788360,00	564750,00	0,9070
2	165250,00	130560,00	0,9960	835410,00	537200,00	0,9620
3	121920,00	84187,00	0,9980	1030300,00	764020,00	0,8290
4	126010,00	89036,00	0,9980	1410900,00	895140,00	0,8280
5	14344,00	10533,00	1,0000	595190,00	362890,00	0,9940

4.4.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	407370,73	334622,00	0,9770	1075392,66	691414,00	0,8880
2	206157,10	154752,00	0,9940	1211749,29	743328,00	0,8980
3	2871046,68	1309530,00	NaN	2880841,94	1876450,00	NaN
4	191011,40	119693,00	0,9940	1290778,55	749601,00	0,8910
5	131694,77	100644,00	0,9980	547587,96	366883,00	0,9930

4.4.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	256725,69	196528,46	0,9899	1269154,51	757064,88	0,9108
2	221406,62	155213,31	0,9925	1256137,37	829262,02	0,8569
3	208678,47	143107,35	0,9933	1266758,82	805056,63	0,8729
4	199851,81	136503,50	0,9939	1285715,65	813342,59	0,8796
5	63534,86	44408,95	0,9994	551342,17	356150,43	0,9847

Tablo 4.5. İzmir için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	43947,00	33634,00	0,9998	271940,00	207800,00	0,9953
RBF	2850000,00	1309500,00	0,9820	506600,00	446310,00	0,9560
GPA	14344,00	10533,00	1,0000	595190,00	362890,00	0,9940
SCA	131694,77	100644,00	0,9980	547587,96	366883,00	0,9930
MLR	63534,86	44408,95	0,9994	551342,17	356150,43	0,9847

Tablo 4.5’de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri GPA yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:9, iterasyon sayısı:9 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-9-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için beşinci kombinezonun yanısıra, birinci ve üçüncü kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:4 ve dağılma parametresi:0,4 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-4-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç da beşinci ve son kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için birinci kombinezonda giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, üçüncü ve dördüncü kombinezonlarda da çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da beşinci ve son kombinezonda veri grubu katsayısı (yarıçap):0,34 ve iterasyon sayısı:4 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da diğer bütün yöntemlerdeki gibi beşinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci

kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -45440 + 0,26.x_1 + 32,38.x_2 + 34548.x_3 - 12400.x_4 + 1,13.x_5 \quad (4.2)$$

Şeklindedir.

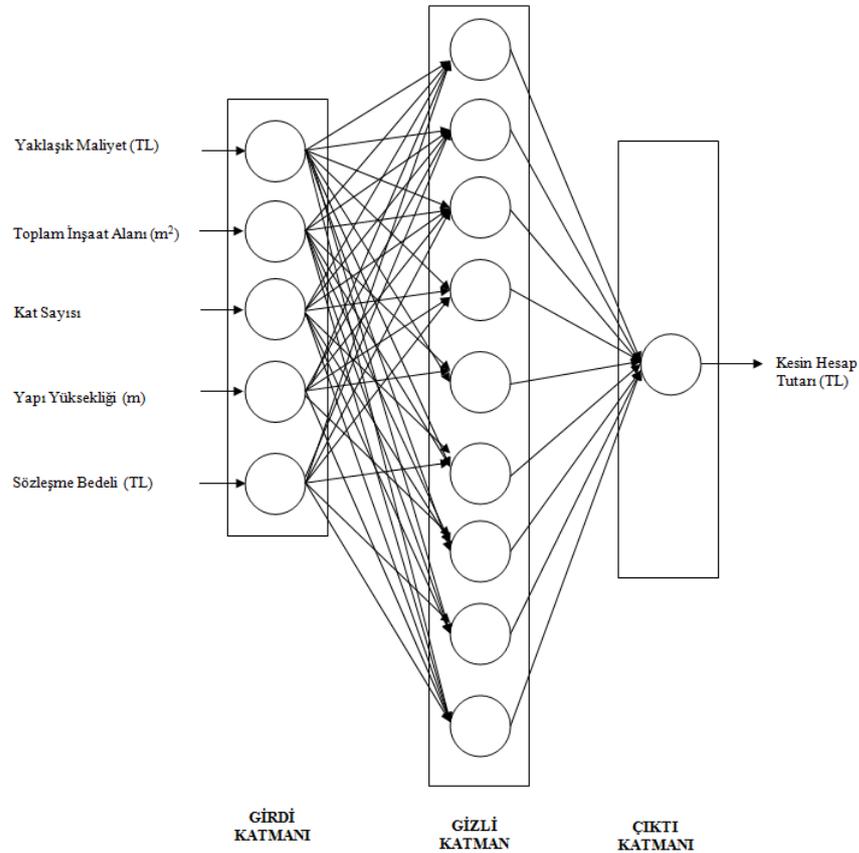
Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, İzmir için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.1 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bu yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. İzmir için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	189	154.274.203	221.589.212	-30,38
MLP	64	91.305.581	89.479.398	2,04
RBF	64	91.452.473	89.479.398	2,21
GPA	64	92.977.935	89.479.398	3,91
SCA	64	93.408.740	89.479.398	4,39
MLR	64	92.893.968	89.479.398	3,82

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %30,38'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları

toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP'den %2,04'lük sapma oranı, RBF'den %2,21'lik sapma oranı, GPA'dan %3,91'lik sapma oranı, SCA'dan %4,39'luk sapma oranı ve MLR'den %3,82'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmışlardır. Bu durumda; bütün yöntemlerin BAMY'ye göre yüksek performanslar gösterdikleri, kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise MLP yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği söylenebilir. Beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İzmir için maliyet modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-9-1)

Bütün yöntemler için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezonlardan elde edilmesi, modellemelerde girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli

sahiptir. Maliyet modelinin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 149.511 TL, ortancanın 555.544 TL ve en büyüğünün 6.447.182 TL olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen $RMSE=271.940$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

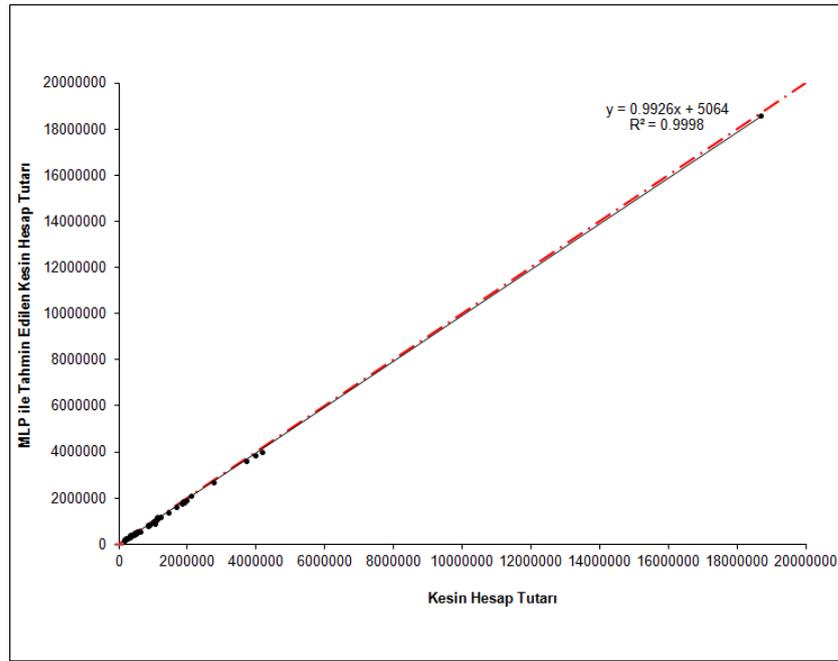
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{271.940,00}{149.511,00} \right) \times 100 = \%181,89 \quad (4.3)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{271.940,00}{555.544,00} \right) \times 100 = \%48,95 \quad (4.4)$$

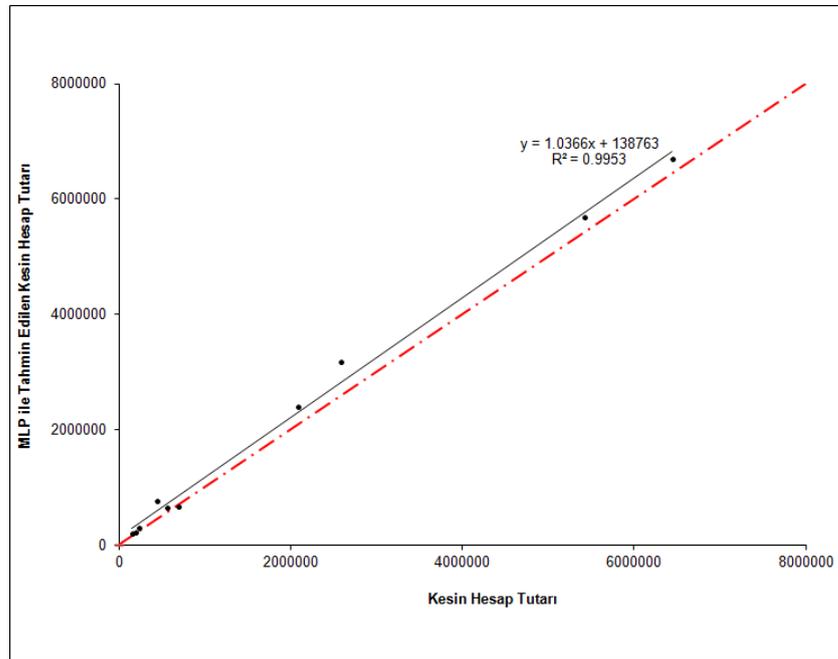
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{271.940,00}{6.447.182,00} \right) \times 100 = \%4,22 \quad (4.5)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen $MAE=207.800$ değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; $\%138,99$, $\%37,40$ ve $\%3,22$ sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum MLP modelinin test aşamasından elde edilen R^2 değeri de $0,9953$ olup, bu değer, kesin hesap tutarı değerleri ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerleri arasındaki nümerik ilişkinin $\%99,53$ mertebesinde olduğunu ve kesin hesap tutarlarının $\%99,53$ doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9953 > 0,80$ sonucu, oldukça güçlü bir korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.10. İzmir için optimum MLP modelinin eğitim aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.11. İzmir için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.10'da, MLP modellemesinin eğitim aşamasında kullanılan 54 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.11'de ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan

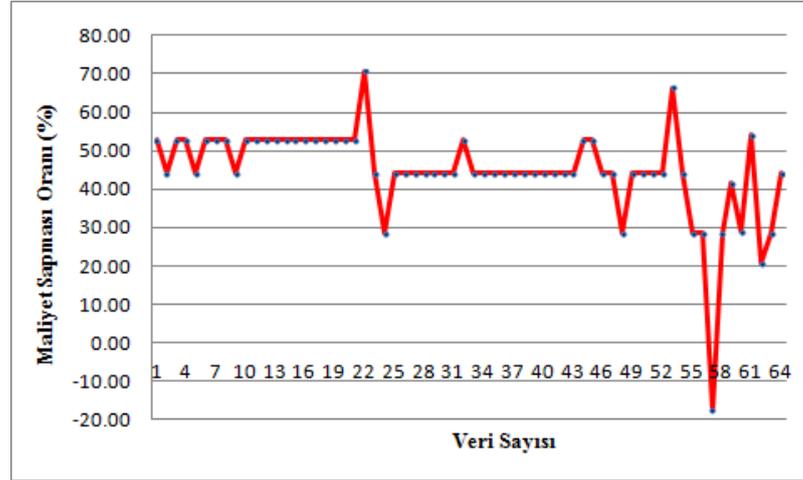
10 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. $y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.10'da görülen doğrusal $y=0.9926x+5064$ denklemi, eğilim çizgisinin az da olsa x eksenine doğru kaydığını göstermektedir. Şekil 4.11'de görülen doğrusal $y=1.0366x+138763$ denklemi ise eğilim çizgisinin y eksenine doğru kaydığını göstermektedir. Her iki şekil için de, verilerin, eğilim çizgisinin etrafında toplu bir dağılıma sahip oldukları görülmektedir. Özellikle eğitime aşaması için eğilim çizgisi neredeyse $y=x$ doğrusu üzerindedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın seyrettikleri ve modellemenin başarılı olduğu söylenebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime aşamasında R^2 değeri 0,9998 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9953 olarak hesaplanmıştır. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,9998>0,80$ ve $R^2=0,9953>0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkilerin çok kuvvetli olduğunu göstermektedirler [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 64 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.2'deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 64 verinin 2004-2007 yılları arasına ait 54 tanesi (%84) eğitime aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 10 tanesi (%16) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.8'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin, maliyet modelinin girdi parametrelerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmelerine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı

parametresini temsil eden ve kesin hesap tutarı ile sözleşme bedelinin farkının, sözleşme bedeline oranı olan "sözleşme bedeline göre maliyet sapması" değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.12'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.12. İzmir için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri %-17,47 ile %70,70 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %44,91 olarak elde edilmiştir. Buna göre, %10 oranının sınır değer olduğu düşünülürse, İzmir'de yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirde kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre büyük denilebilecek farklılıklara sahip olduğu söylenebilir.

İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. İzmir için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	47,74	0,0000002	-	-	-	-
2	45,12	-0,000003	0,0027	-	-	-
3	43,19	-0,000002	0,0021	0,78	-	-
4	44,50	-0,000003	0,0029	3,34	-1,06	-
5	45,70	-0,000015	0,0012	3,05	-1,16	0,000012

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.7’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.8’de verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zeka yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.8’de sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.8. İzmir için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.8.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	21,91	20,89	0,0650	18,05	12,08	0,0030
2	30,89	30,09	0,0060	19,29	15,63	0,0870
3	23,94	22,67	0,1310	18,28	13,59	0,0160
4	20,56	19,33	0,0183	17,55	11,84	0,0739
5	24,07	22,97	0,0470	17,69	11,48	0,0630

4.8.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	47,44	47,44	0,0000	26,33	20,42	0,0810
2	47,44	47,44	0,0050	26,35	20,30	0,0790
3	47,44	47,44	0,0050	26,20	20,35	0,0590
4	47,55	47,44	0,2420	25,56	19,97	0,0710
5	47,53	47,44	0,2050	25,18	19,54	0,2250

4.8.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	6,83	5,41	0,0000	26,34	20,46	0,0330
2	6,18	4,95	0,1810	28,07	23,47	0,0830
3	5,60	4,36	0,3280	27,73	23,22	0,0980
4	4,88	3,82	0,4910	31,05	26,08	0,0490
5	7,06	5,67	0,0000	27,67	21,89	NaN

4.8.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	14,24	12,61	0,0970	24,64	19,32	0,0130
2	5,83	4,28	0,2890	28,69	22,74	0,0000
3	48,39	47,91	NaN	33,90	32,20	NaN
4	12,37	8,13	0,0850	27,97	23,06	0,0640
5	7,74	5,45	0,1350	31,35	24,45	0,1060

4.8.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	6,82	5,43	0,0023	26,39	20,59	0,0202
2	6,22	4,97	0,1729	27,61	22,97	0,0859
3	6,11	4,89	0,2009	28,17	23,47	0,0617
4	5,55	4,64	0,3401	28,57	24,22	0,0814
5	5,31	4,24	0,4033	31,07	25,22	0,0063

Tablo 4.9. İzmir için "maliyet saptması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	20,56	19,33	0,0183	17,55	11,84	0,0739
RBF	47,53	47,44	0,2050	25,18	19,54	0,2250
GPA	6,83	5,41	0,0000	26,34	20,46	0,0330
SCA	14,24	12,61	0,0970	24,64	19,32	0,0130
MLR	6,82	5,43	0,0023	26,39	20,59	0,0202

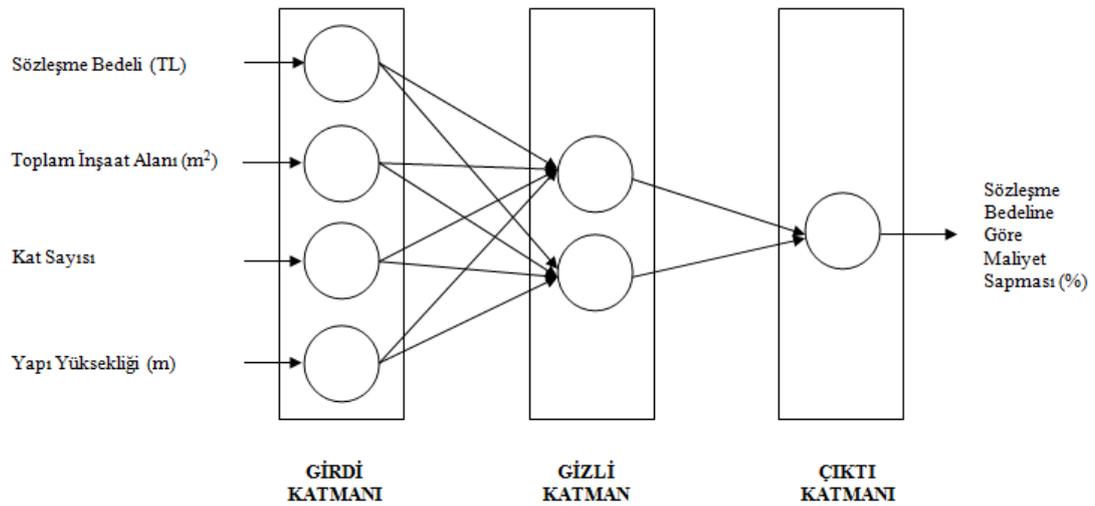
Tablo 4.9’da yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE değeri MLR yönteminden, minimum MAE değeri GPA yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri de MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2, iterasyon sayısı:1 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 4-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için diğer kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezonda ara tabaka hücre sayısı:3 ve dağılma parametresi:0,3 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezonda üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için üçüncü ve dördüncü kombinezonlarda da giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; GPA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,33 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da birinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren birinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 47,74 + 0,0000002 \cdot x_1 \quad (4.6)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5’den de görüleceği üzere, İzmir için oluşturulan maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 ’ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan

sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu içinse yapılan analizin anlamsız olduğu söylenebilir. Zaten maliyet sapması modeli için optimum sonuçlar da MLP analizinin dördüncü kombinezonundan elde edilmiştir. Dördüncü kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. İzmir için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (4-2-1)

Maliyet sapması modellemesinin test aşamasında en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların dördüncü kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı ve yapı yüksekliği (m) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı ancak yaklaşık maliyet (TL) verisinin modellemenin performansını azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise dördüncü girdi konumunda bulunan yapı yüksekliği sahiptir. Bununla birlikte, bütün yöntemlerin kendi kombinezonlarından elde edilen hata değerleri arasında ciddi farklılıkların olmadığı göze çarpmaktadır. RBF yöntemi için optimum sonucun beşinci kombinezondan elde edilmesi, beşinci girdi konumundaki yaklaşık maliyet değerlerinin bu yöntemin modellemesine olumlu etki ettiği şeklinde yorumlanabilir. GPA, SCA ve MLR yöntemleri için optimum sonuçların birinci kombinezonlardan elde edilmesi ise, birinci

girdi konumundaki sözleşme bedeli değerlerinin bu yöntemlerin modellemelerine tek başına olumlu etki ettiği şeklinde yorumlanabilir. Analizin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-17,47, ortancanın %28,70 ve en büyüğünün %54,20 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=17,55 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

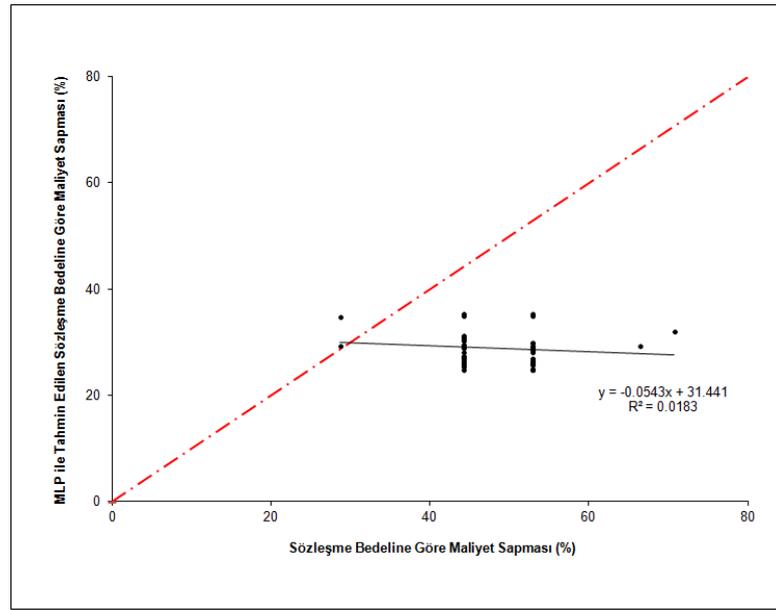
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{17,55}{-17,47} \right) \times 100 = \% -100,46 \quad (4.7)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{17,55}{28,70} \right) \times 100 = \%61,15 \quad (4.8)$$

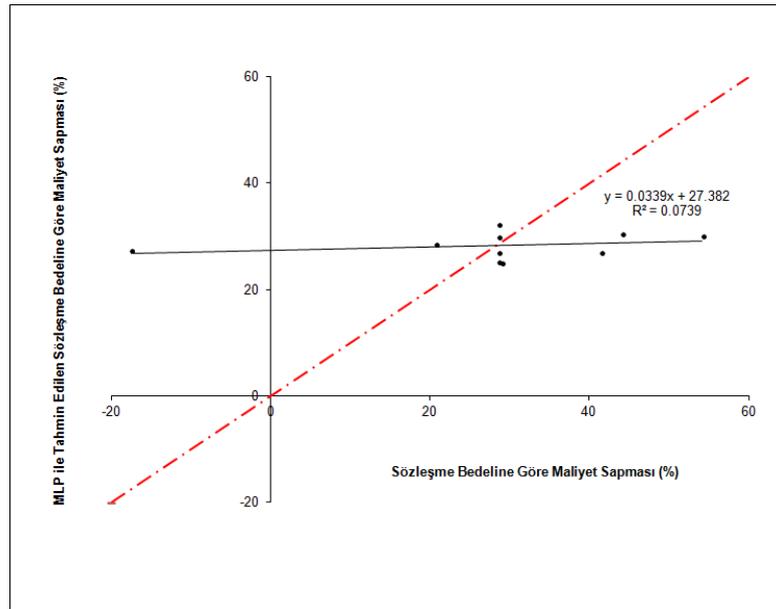
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{17,55}{54,20} \right) \times 100 = \%32,38 \quad (4.9)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=11,84 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-67,77, %61,22 ve %21,85 sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum MLP analizinin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,0739 olup, bu değer, modellemeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin %7,39 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,0739 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen sözleşme bedeli değerleri ve kesin hesap tutarı değerleri ile hesaplanan maliyet sapması değerleri ve optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.14. İzmir için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.15. İzmir için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.14’de, optimum MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 54 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.15’de ise optimum MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 10 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin yatay eksene yaklaşık paralel seyrettiği ve verilerin eğilim çizgilerinin

etrafında dağınık saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok uzak seyrettiği ve modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Elde edilen R^2 değerleri de gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin çok zayıf olduğunu göstermektedir.

Süresel Sapma Modeli

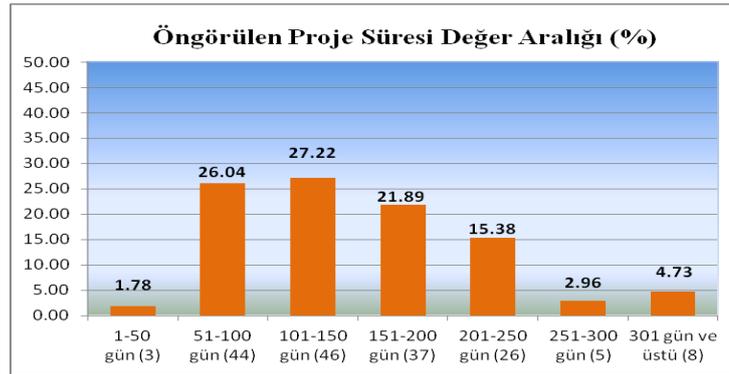
İnşaat sektöründe yer alan yapım işi projelerinin temel bileşenleri, tez çalışmasının birinci bölümünde de ifade edildiği üzere; maliyet, süre ve kalitedir. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında, maliyet modeli ile maliyet sapması modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde süresel sapmaları tahmin edebilmek için öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturulmuştur. İzmir için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 169 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. İzmir için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

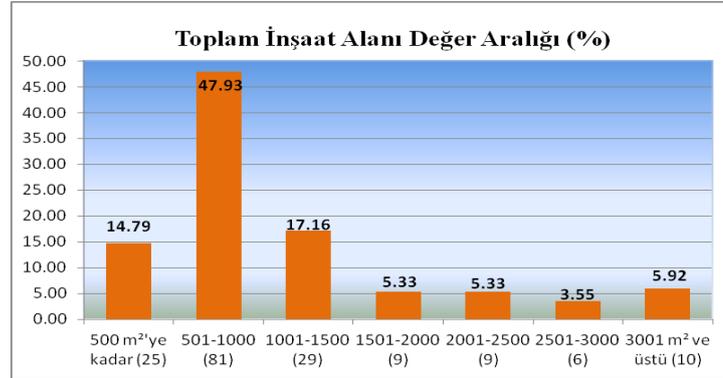
Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	29,00	140,00	1,00	3,65	40.000,00
Maks. Değer	980,00	12825,00	12,00	30,60	12.950.745,00
Aritmetik Ortalama	161,13	1326,65	3,47	9,60	531.728,94
Standart Sapma	101,46	1732,70	1,21	3,77	1.131.282,18
Değişim Katsayısı (%)	62,97	130,61	34,90	39,31	212,76

Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 29-980 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 140-12825 m² aralığında, kat sayısı 1-12 aralığında, yapı yüksekliği 3,65-30,60 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 40.000-12.950.745 TL aralığında değişmektedir. Aritmetik ortalamalar, her parametrenin minimum değerlerine daha yakın seyretmektedir. Yani her parametrenin veri yığılması, minimum değerine doğrudur. Bununla birlikte; sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayısının, diğer verilere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Buradan da; sözleşme bedeli verilerinin, diğer verilere göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise kat sayısı verileridir.

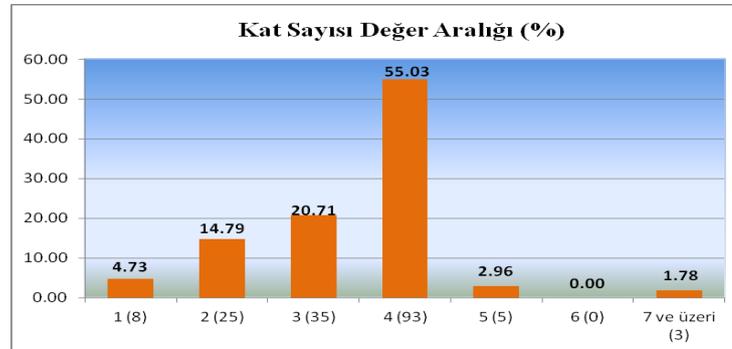
Süresel sapma modeli için; İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 169 verinin 2004-2006 yılları arasına ait 126 tanesi (%75) eğitime aşaması için, 2007-2010 yılları arasına ait 43 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 169'ar verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.16'daki gibidir.



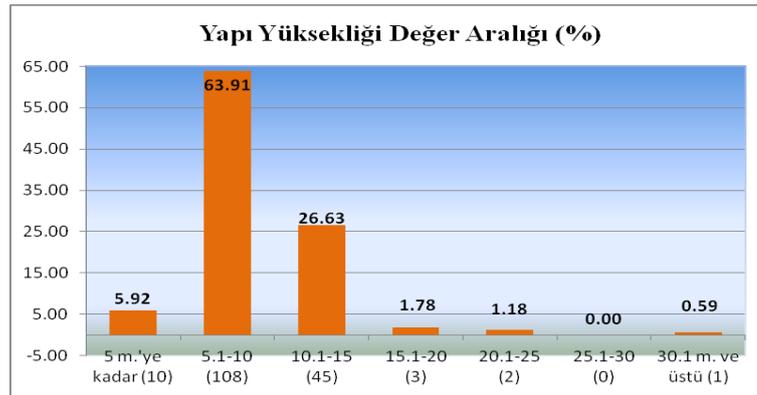
4.16.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



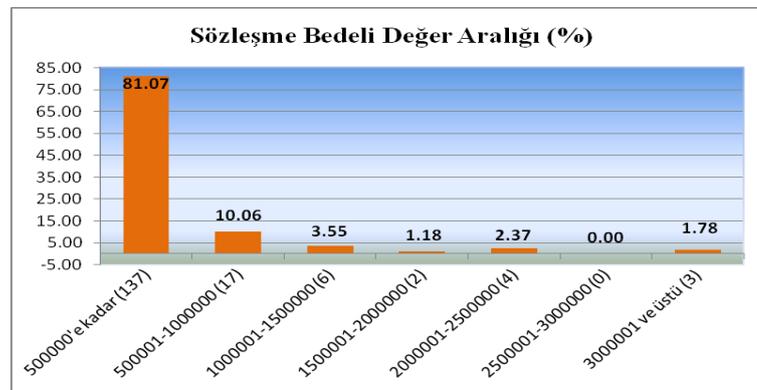
4.16.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.16.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.16.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

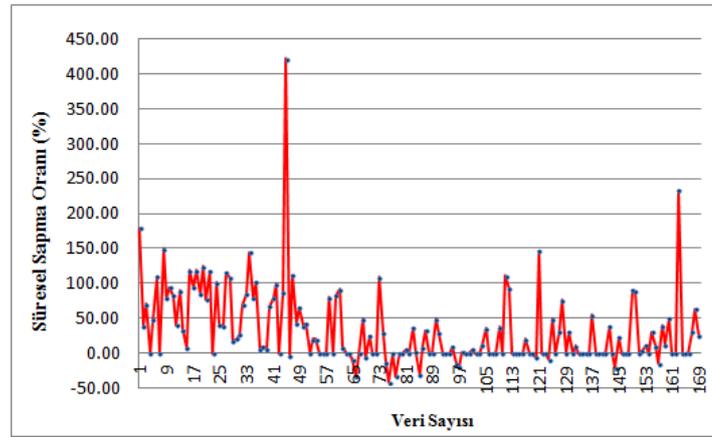


4.16.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.16. İzmir için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.16'da yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %27,22'sinin öngörülen proje süresi 101-150 gün arasında, %47,93'ünün toplam inşaat alanı 501-1000 m² arasında, %55,03'ü dört katlı, %63,91'inin yüksekliği 5,1-10 m. arasında ve %81,07'sinin sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden ve gerçekleşen proje süresi ile öngörülen proje süresinin farkının, öngörülen proje süresine oranı olan "öngörülen proje süresine göre süresel sapma" değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.17'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.17. İzmir için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-42,00 ile %422,00 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %33,46 olarak elde edilmiştir. Buna göre, %10 oranının sınır değer olduğu düşünülürse, İzmir’de yapılmış olan işlerde süresel sapmanın yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirde, gerçekleşen proje sürelerinin öngörülen proje sürelerine göre büyük farklılıklara sahip oldukları söylenebilir.

İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinasyonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. İzmir için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	92,94	- 0,394	-	-	-	-
2	94,33	- 0,506	0,0159	-	-	-
3	113,59	-0,529	0,0237	- 6,91	-	-
4	113,03	-0,524	0,0257	- 2,26	- 1,95	-
5	113,13	- 0,526	0,0272	- 2,48	- 1,84	-0,000005

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.11’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.12’de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.12’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.12. İzmir için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.12.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	57,94	42,90	0,0940	44,92	34,78	0,0000
2	65,13	42,88	0,0793	41,94	26,46	0,0178
3	57,82	40,43	0,0220	43,56	29,45	0,0060
4	58,40	42,84	0,0190	45,27	35,74	0,0120
5	60,64	39,06	0,0350	43,90	24,88	0,0000

4.12.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	47,02	37,86	0,2440	52,68	35,37	0,0740
2	45,98	39,21	0,2150	51,36	33,51	0,0760
3	44,26	37,35	0,1680	46,55	30,94	0,0420
4	39,34	37,35	0,0460	49,23	35,41	0,0270
5	39,10	37,35	0,0400	48,58	35,15	0,0230

4.12.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	50,91	33,64	0,2280	55,78	39,12	0,0850
2	51,80	35,54	0,2010	52,21	35,37	0,0820
3	50,93	34,39	0,2270	56,69	40,15	0,0830
4	47,18	29,73	0,3370	131,97	78,15	0,0180
5	163,00	156,03	NaN	173,93	170,84	NaN

4.12.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	48,45	30,28	0,3020	48,15	29,69	0,0440
2	49,45	30,67	0,2720	49,17	30,02	0,0330
3	69,10	41,21	NaN	46,84	22,88	NaN
4	45,03	26,81	0,3970	57,10	38,13	0,0460
5	48,29	31,90	0,3140	67,04	49,07	0,0180

4.12.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	52,38	36,08	0,1827	80,23	51,58	0,0232
2	51,91	35,75	0,1974	69,78	48,51	0,0240
3	51,66	35,44	0,2052	71,52	52,34	0,0253
4	51,56	35,47	0,2081	71,52	50,98	0,0219
5	51,55	35,38	0,2084	67,99	49,49	0,0236

Tablo 4.13. İzmir için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	65,13	42,88	0,0793	41,94	26,46	0,0178
RBF	44,26	37,35	0,1680	46,55	30,94	0,0420
GPA	51,80	35,54	0,2010	52,21	35,37	0,0820
SCA	69,10	41,21	NaN	46,84	22,88	NaN
MLR	51,55	35,38	0,2084	67,99	49,49	0,0236

Tablo 4.13'de yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE değeri RBF yönteminden, minimum MAE değeri MLR yönteminden, test aşaması için minimum RMSE değeri MLP yönteminden ve minimum MAE değeri de SCA yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2, iterasyon sayısı:3 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 2-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için birinci kombinezon dışındaki bütün kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. MLP modellemesi için dikkat çeken bir diğer nokta da, kombinezonların optimum sonuçlarının düşük ara tabaka hücre sayısı ile elde edilmesidir. MLP modellemesinde bütün kombinezonların optimum sonuçlarında ara tabaka hücre sayısı 1 veya 2 şeklindedir. Bu durum, ara tabaka hücre sayısının artırılmasının MLP

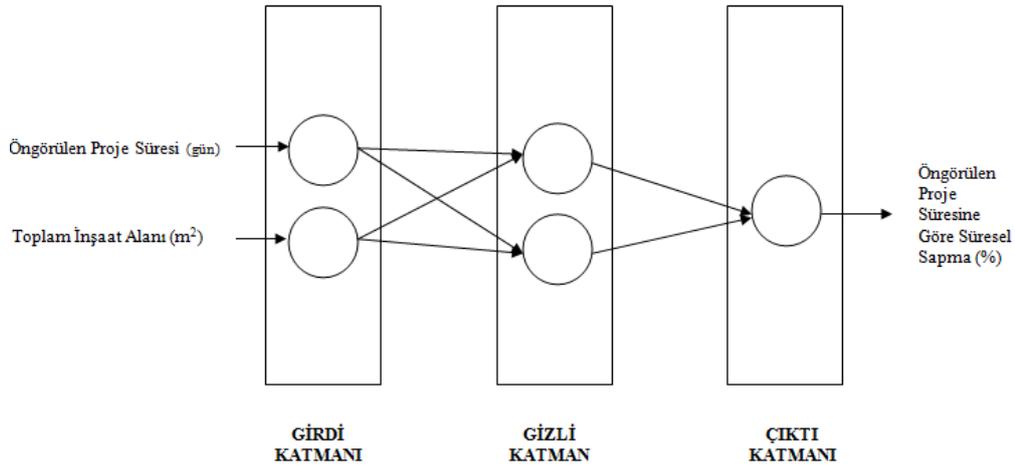
analizlerine olumlu etki etmediği şeklinde yorumlanabilir. RBF yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. RBF yönteminde de, bütün kombinezonların optimum sonuçlarında dağılma parametresinin en düşük değeri olan 0,1 ile elde edilmiş olması, bu yöntemin analizleri için dağılma parametresinin artırılmasının modellemeye bir fayda sağlamadığını göstermektedir. GPA yönteminden optimum sonuç; MLP yöntemindeki gibi ikinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için birinci ve üçüncü kombinezonlarda da giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. GPA yönteminde, ikinci ve sonraki kombinezonların optimum sonuçlarının 1 iterasyon sayısı ile elde edilmiş olması, iterasyon sayısının artırılmasının bu yöntemin analizlerine etkisinin olmadığını göstermektedir. Birinci kombinezonda ise optimum sonuç 16 iterasyon ile elde edilmiştir. SCA yönteminden optimum sonuç; RBF yöntemindeki gibi üçüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka deyişle, minimum veri grubu katsayısı ve iterasyon değerleri optimum sonucu vermiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 113,13 - 0,526.x_1 + 0,0272.x_2 - 2,48.x_3 - 1,84.x_4 - 0,000005.x_5 \quad (4.10)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, İzmir için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje

süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Analizler sonucunda ikinci kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. İzmir için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi.
(2-2-1)

Süresel sapma modellemesinin test aşamasında en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların ikinci kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün) ve toplam inşaat alanı (m²) verilerinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı ancak kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin modellemenin performansını azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise ikinci girdi konumunda bulunan toplam inşaat alanı sahiptir. Aynı değerlendirme, GPA yöntemi için de yapılabilir. RBF ve SCA yöntemlerinde ise öngörülen proje süresi (gün) ve toplam inşaat alanına (m²) ek olarak kat sayısı verileri modellemelerin performansını artırmıştır. Süresel sapma modelinin test aşamasında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-21,00, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %233,00 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=41,94 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

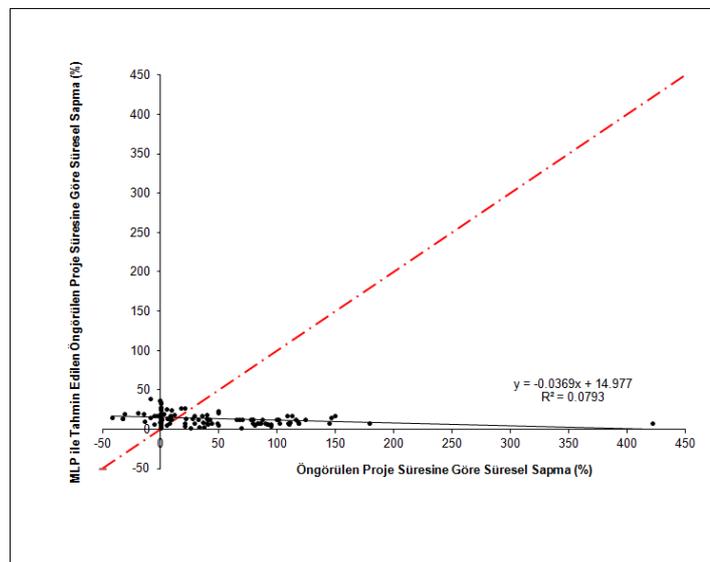
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{41,94}{-21,00} \right) x 100 = \% -199,71 \quad (4.11)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{41,94}{0,00} \right) x 100 = \infty \quad (4.12)$$

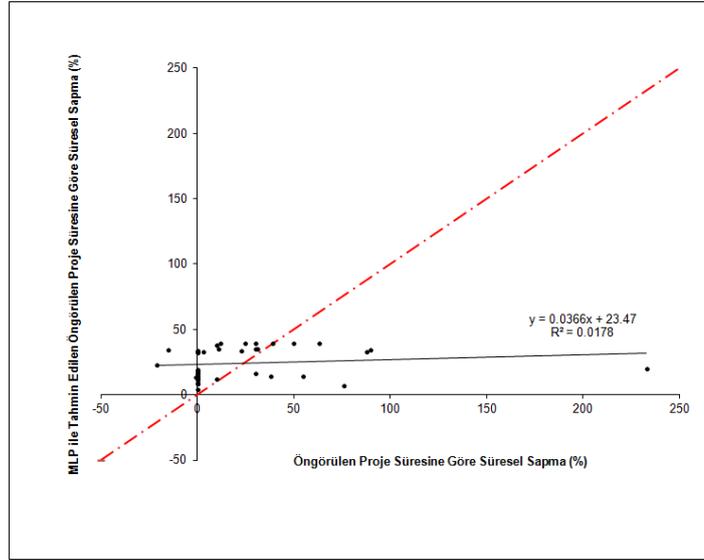
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{41,94}{233,00} \right) x 100 = \% 18,00 \quad (4.13)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=26,46 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-126,00 ve %11,36 sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum MLP analizinin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,0178 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %1,78 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,0178 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanan süresel sapma değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.19. İzmir için optimum MLP modelinin eğitim aşamasındaki saçılma diyagramı.

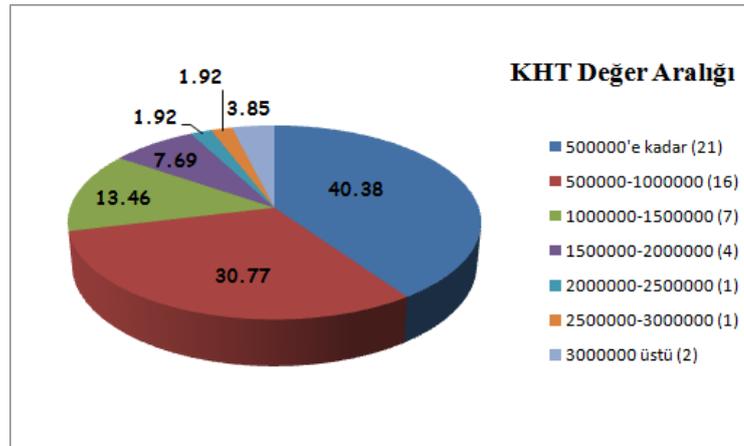


Şekil 4.20. İzmir için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.19’da, optimum MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 126 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.20’de ise optimum MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 43 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin yatay eksene yaklaşık paralel seyrettiği ve verilerin eğilim çizgilerinin etrafında dağınık bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine uzak seyrettiği ve modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Elde edilen R^2 değerleri de gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin çok zayıf olduğunu göstermektedir.

4.1.2. Bursa'dan Elde Edilen Bulgular

Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünün arşiv kayıtları incelenerek, 2003-2009 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 107 kamu yapım işinin 2004-2009 yılları arasına ait olan 52’sinin kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.21’de verilmiştir.

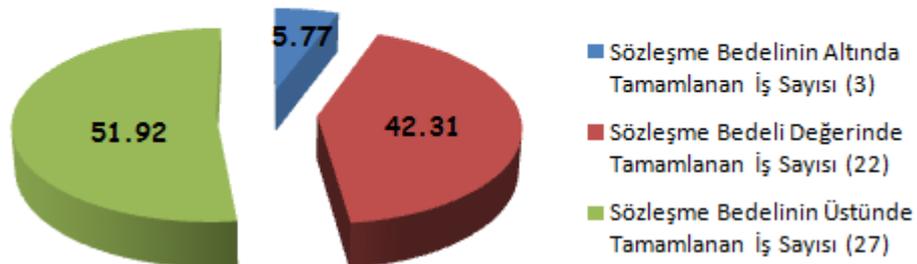


Şekil 4.21. Bursa'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

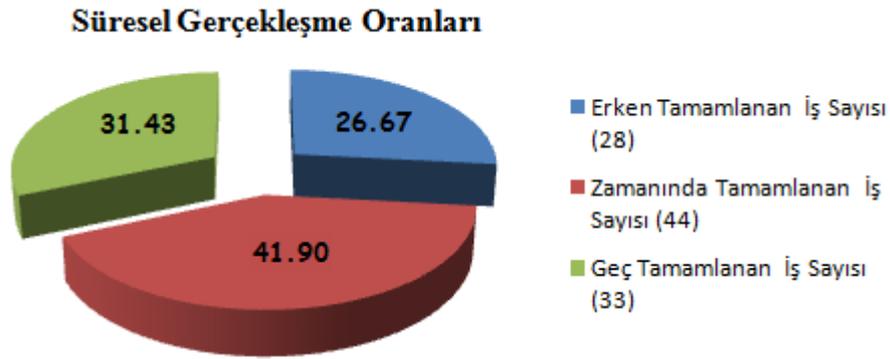
İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %40,38'i 500.000 TL'nin altındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 60.000 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri 10.717.652 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 997.025 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Bursa'da yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehirdeki kamu yapım işi hacminin dar olduğu söylenebilir.

Bursa'da tamamlanan 52 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.22'de, 105 yapım işinin süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

Sözleşme Bedelinin Gerçekleşme Oranları



Şekil 4.22. Bursa'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)

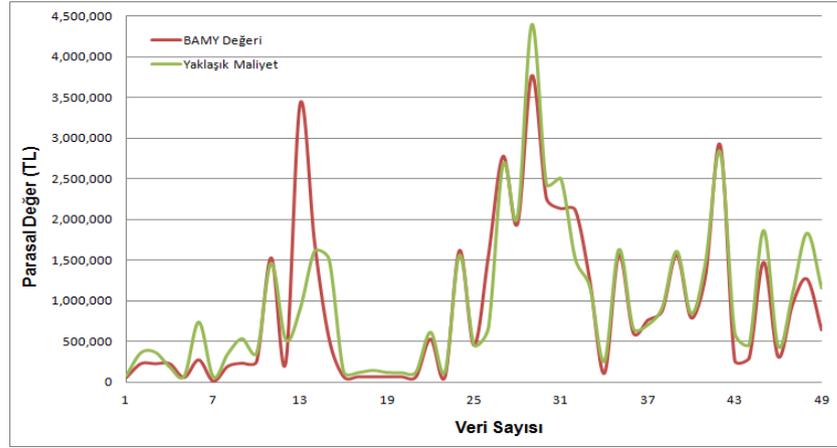


Şekil 4.23. Bursa'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

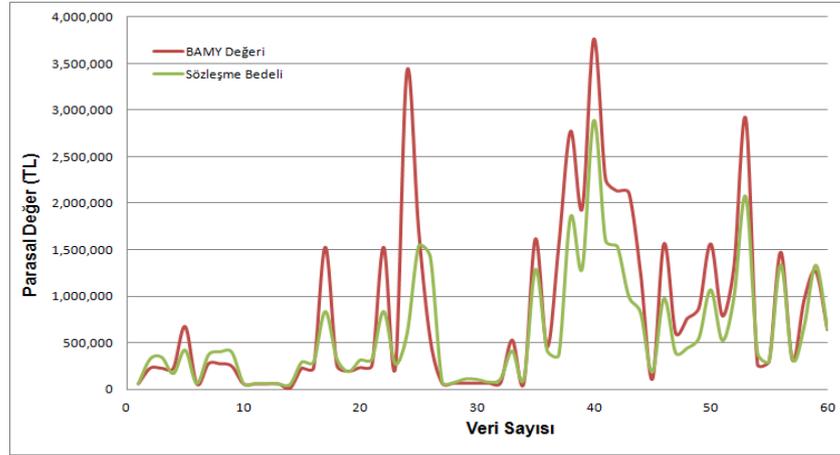
Bursa'da yapım işlerinin %51,92'si, yani yarısından fazlası, sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, yapım işlerinin %42,31'i sözleşme bedeli değerinde, %5,77'si ise sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmıştır. Bununla birlikte, yapım işlerinin %41,90'ı zamanında, %31,43'ü öngörülen proje süresinden daha geç ve %26,67'si öngörülen proje süresinden daha erken tamamlanmıştır.

Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

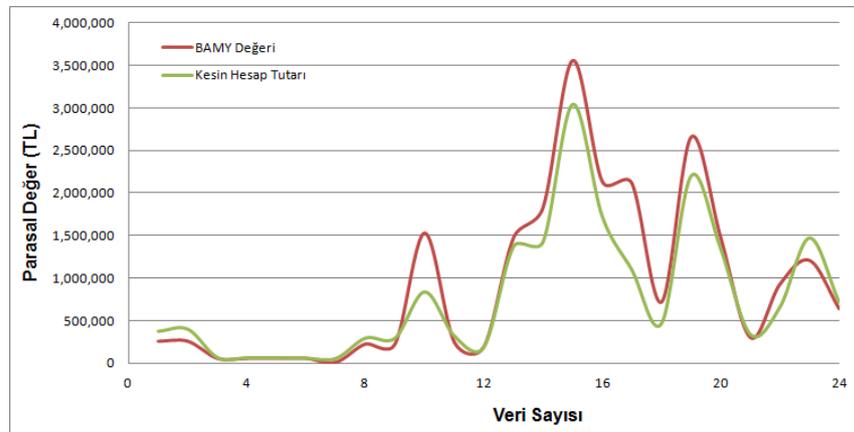
Arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 49 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.24'de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli değerleri temin edilmiş olan 60 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.25'de verilmiştir. Toplam 24 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.24. Bursa için BAMY-Yaklaşık maliyet ilişkisi.

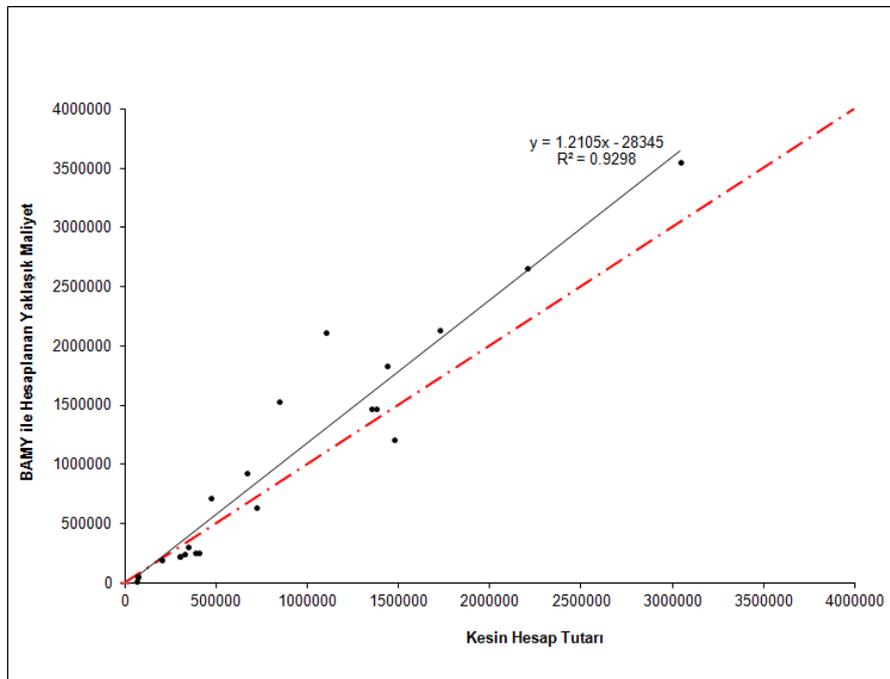


Şekil 4.25. Bursa için BAMY-Sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.26. Bursa için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her bir şekilde; kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.26, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin neredeyse tamamının kesin hesap tutarlarına göre daha büyük değerlere sahip olduklarını göstermektedir. Şekil 4.26'nın anlam düzeyini artırabilmek adına, Bursa'da tamamlanmış olan 24 kamu yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Bursa için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.27'de görülen doğrusal $y=1.2105x-28345$ denklemi, eğilim çizgisinin y eksenine doğru kaydığını göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,9298>0,80$ sonucu, iki değişken arasında güçlü bir korelasyon olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.27'de verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14. Bursa için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2004	7	767.910	1.109.713	-30,80
2005	9	11.426.388	9.522.100	20,00
2006	4	6.965.388	5.111.014	36,28
2007	3	2.442.779	2.476.121	-1,35
2008	0	0	0	0,00
2009	1	642.432	719.618	-10,73
TOPLAM	24	22.244.897	18.938.566	17,46

Bursa'da tamamlanmış olan toplam 24 kamu yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %17,46'lık sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak; 2004, 2007 ve 2009 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %30,80, %1,35 ve %10,73 oranlarında daha düşük hesaplanmışlardır. Yıl bazında sapma oranının, 2006 yılında %36,28'e ulaştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan, R^2 değeri tatminkâr olsa da, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin gerçeği yansıtmadığı söylenebilir. Bu nedenle, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarını tahmin edebilmek için öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

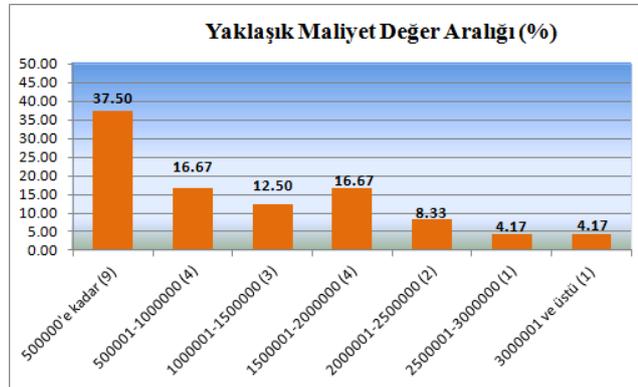
Bursa için maliyet modelinde kullanılan toplam 24 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15. Bursa için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

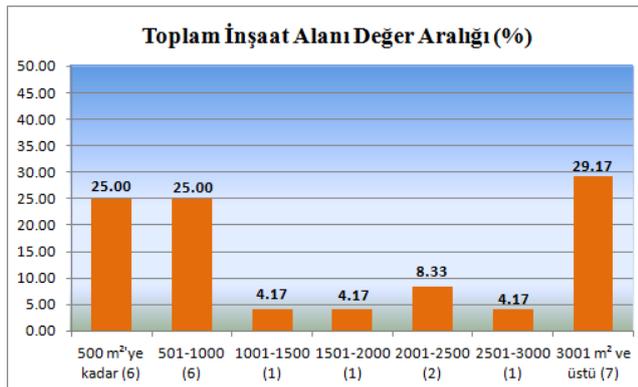
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	60000,00	38,40	1,00	2,40	60000,00
Maks. Değer	4.397.687,00	8265,00	12,00	45,60	2.885.000,00
Aritmetik Ortalama	1.121.089,63	2207,60	3,71	12,10	750.043,75
Standart Sapma	1.062.626,78	2300,73	2,91	10,35	726.698,17
Değişim Katsayısı (%)	94,79	104,22	78,51	85,58	96,89

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 60000-4.397.687 TL aralığında, toplam inşaat alanı 38,40-8265,00 m² aralığında, kat sayısı 1-12 aralığında, yapı yüksekliği 2,40-45,60 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 60.000-2.885.000 TL aralığında değişmektedir. Aritmetik ortalamaların, her parametrenin minimum değerlerine daha yakın seyrettiği görülmektedir. Yani her parametrenin veri yığılması, minimum değerine doğrudur. Bununla birlikte; toplam inşaat alanı verilerinin değişim katsayısının, diğer verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı verilerinin, diğer verilere göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise kat sayısı verileridir.

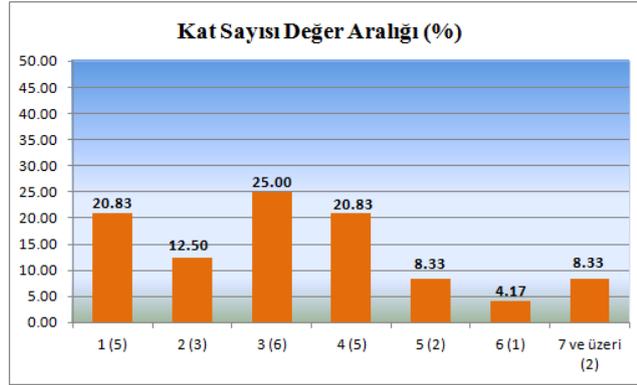
Maliyet modeli için; Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 24 adet verinin 2003-2005 yılları arasına ait olan 16 tanesi (%67) eğitim aşaması için, 2006-2009 yılları arasına ait 8 tanesi (%33) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 24'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.28'de verilmiştir.



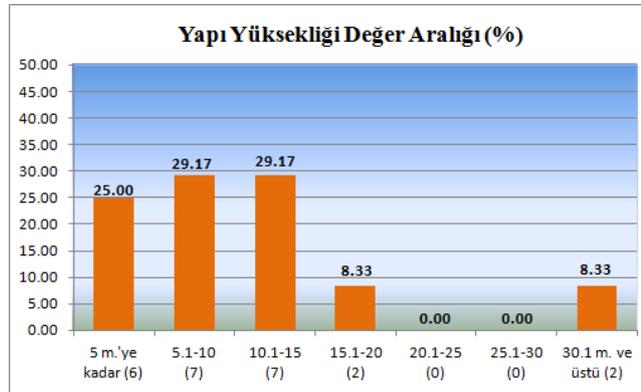
4.28.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



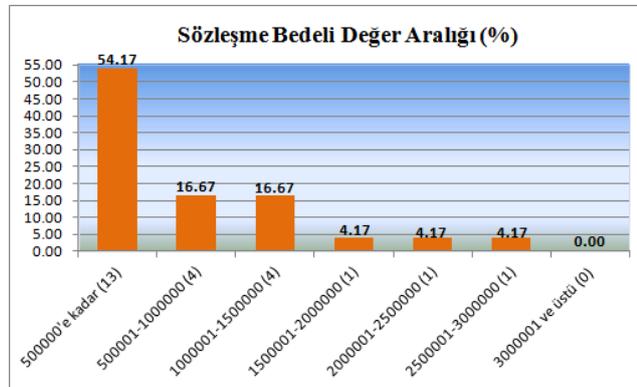
4.28.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.28.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.28.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.28.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.28. Bursa için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.28'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %37,50'sinin yaklaşık maliyeti 500.000 TL'nin altında, %29,17'sinin toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %25,00'i üç katlı, %29,17'sinin yüksekliği 5,1-10 m. ve aynı zamanda 10,1-15 m. arasında, %54,17'sinin sözleşme bedeli ise 500.000 TL'nin altındadır.

Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.16. Bursa için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	-15665	0,702	-	-	-	-
2	-13848	0,602	48,84	-	-	-
3	-7733	0,619	47,26	-5399	-	-
4	26832	0,631	66,97	-104477	23988	-
5	-10513	0,078	8,13	-13824	4784	1,15

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.16'da verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.17'de verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zeka yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.17'de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.17. Bursa için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.17.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	163720,00	124900,00	0,9960	409330,00	319040,00	0,9940
2	91962,00	54915,00	0,9870	78347,00	63431,00	0,9890
3	91461,00	55008,00	0,9870	61725,00	54950,00	0,9900
4	73980,00	52881,00	0,9920	113820,00	86009,00	0,9690
5	1478,60	1008,50	1,0000	55321,00	42010,00	0,9950

4.17.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	1040100,00	664490,00	0,9830	62735,00	54461,00	0,9890
2	1042200,00	664490,00	0,9890	101070,00	79861,00	0,9820
3	1041900,00	664490,00	0,9880	93976,00	72072,00	0,9840
4	1042100,00	665950,00	0,9890	85278,00	65271,00	0,9820
5	1045500,00	664490,00	0,9999	39501,00	26915,00	0,9964

4.17.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	101220,00	68957,00	0,9850	107900,00	82849,00	0,9810
2	105750,00	67530,00	0,9830	59119,00	47695,00	0,9950
3	4408,50	2315,10	0,9999	240250,00	194110,00	0,8730
4	4367,70	2089,40	0,9999	191940,00	167920,00	0,8940
5	468,31	268,26	0,9999	68450,00	50283,00	0,9950

4.17.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	82337,87	42018,50	0,9900	95744,62	69335,70	0,9860
2	96475,42	58728,10	0,9870	135721,30	106549,00	0,9460
3	1045577,88	664488,00	NaN	1189189,99	1038340,00	NaN
4	1518040842,66	544866000,00	0,3070	7283281,95	3919700,00	0,2200
5	139564,43	44334,50	0,9720	1006557,62	879948,00	0,1010

4.17.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	96606,49	62710,96	0,9857	120374,81	94408,41	0,9830
2	93290,59	53051,56	0,9866	121988,30	98247,68	0,9793
3	92864,70	55268,54	0,9868	115906,20	93814,95	0,9799
4	84410,98	55776,29	0,9891	99785,36	81472,68	0,9730
5	233386,39	152211,91	0,9991	256324,64	223560,79	0,9934

Tablo 4.18. Bursa için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	1478,60	1008,50	1,0000	55321,00	42010,00	0,9950
RBF	1045500,00	664490,00	0,9999	39501,00	26915,00	0,9964
GPA	105750,00	67530,00	0,9830	59119,00	47695,00	0,9950
SCA	82337,87	42018,50	0,9900	95744,62	69335,70	0,9860
MLR	84410,98	55776,29	0,9891	99785,36	81472,68	0,9730

Tablo 4.18’de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:3, iterasyon sayısı:20 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için dördüncü kombinezonun dışındaki bütün kombinezonların optimum sonuçlarında aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:8 ve dağılma parametresi:0,7 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-8-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:20 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için beşinci kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,33 ve iterasyon sayısı:2 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise dördüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren dördüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 26832 + 0,631.x_1 + 66,97.x_2 - 104477.x_3 + 23988.x_4 \quad (4.14)$$

Şeklindedir.

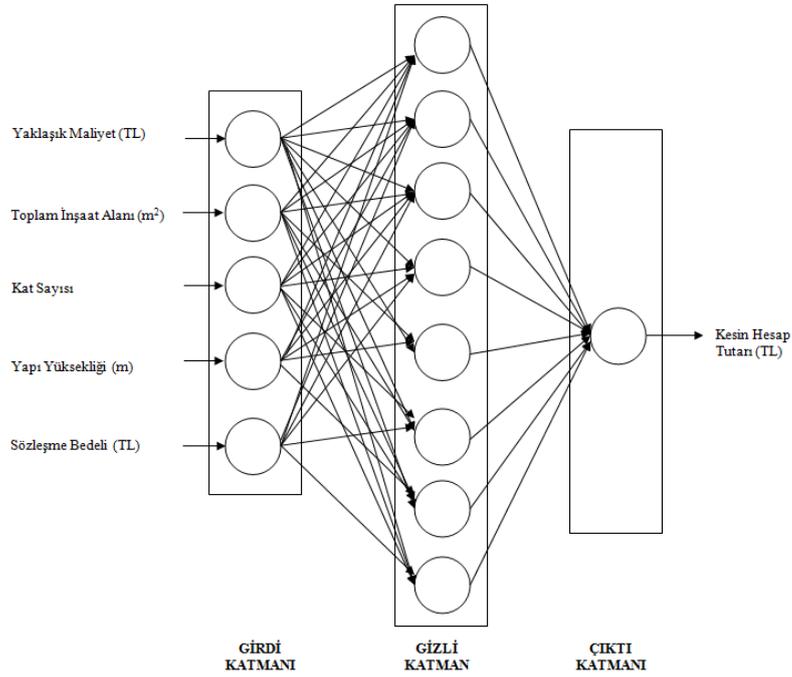
Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5’den de görüleceği üzere, Bursa için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 ’ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR

yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.14 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bu yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19. Bursa için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	$(a-b)/b$ (%)
BAMY	24	22.244.897	18.938.566	17,46
MLP	24	18.717.650	18.938.566	-1,17
RBF	24	18.890.295	18.938.566	-0,25
GPA	24	18.687.909	18.938.566	-1,32
SCA	24	18.580.682	18.938.566	-1,89
MLR	24	18.836.683	18.938.566	-0,54

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %17,46'lık sapma oranı ile daha yüksek hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP'den %1,17'lik sapma oranı, RBF'den %0,25'lik sapma oranı, GPA'dan %1,32'lik sapma oranı, SCA'dan %1,89'luk sapma oranı ve MLR'den %0,54'lük sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışlardır. Bu durumda; bütün yöntemlerin BAMY'ye göre yüksek performanslar gösterdikleri, kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise RBF yönteminin en yüksek performansı gösterdiği söylenebilir. Beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Bursa için maliyet modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (5-8-1)

RBF ve MLP yöntemleri için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezonlardan elde edilmesi, modellemelerde girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m^2), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemelerin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 342.000 TL, ortancanın 719.618 TL ve en büyüğünün 2.200.367 TL olduğu düşünüldüğünde, optimum RBF analizinin test aşamasından elde edilen $RMSE=39501$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

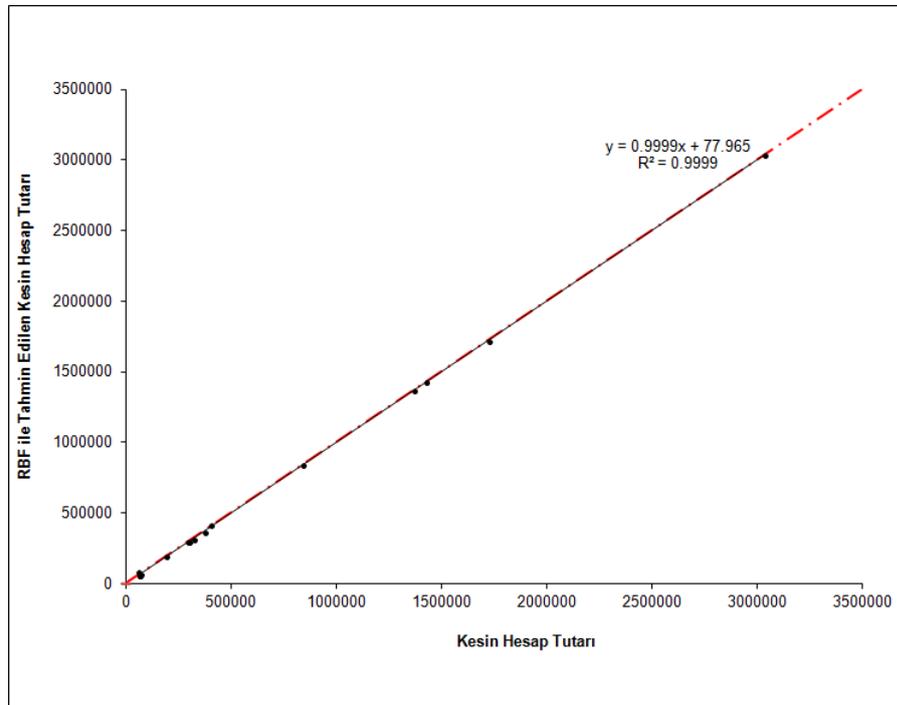
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{39.501,00}{342.000,00} \right) \times 100 = \%11,55 \quad (4.15)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{39.501,00}{719.618,00} \right) \times 100 = \%5,49 \quad (4.16)$$

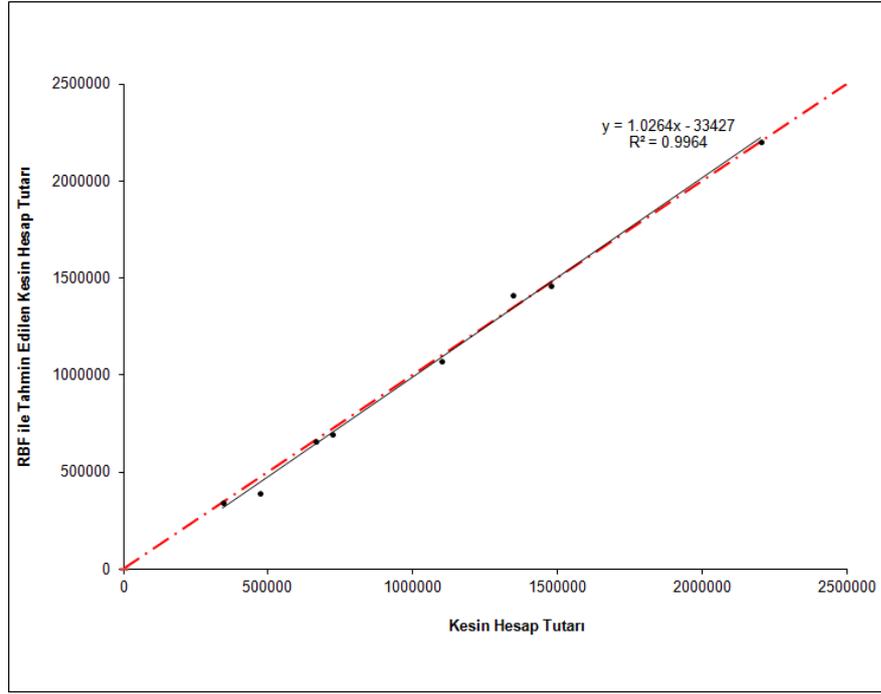
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{39.501,00}{2.200.367,00} \right) \times 100 = \%1,80 \quad (4.17)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum RBF analizinin test aşamasından elde edilen MAE=26915 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %7,87, %3,74 ve %1,22 sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF analizinin test aşamasından elde edilen R^2 değeri de 0,9964 olup, bu değer, kesin hesap tutarı değerleri ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerleri arasındaki nümerik ilişkinin %99,64 mertebesinde olduğunu ve kesin hesap tutarlarının %99,64 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9964 > 0,80$ sonucu, güçlü korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.30'da ve Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.30. Bursa için optimum RBF modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



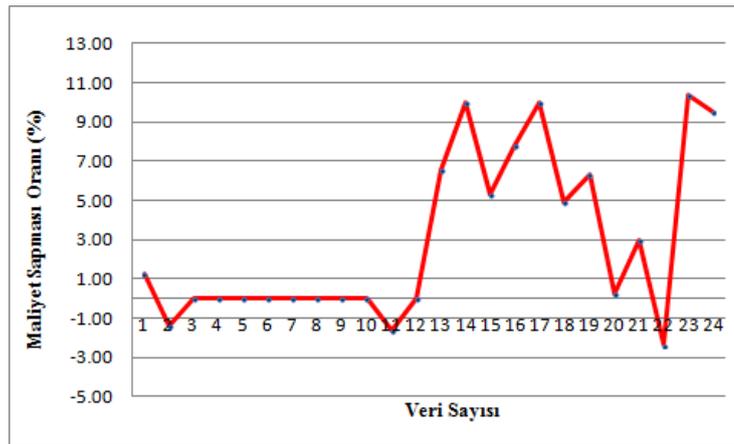
Şekil 4.31. Bursa için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.30’da, RBF modellemesinin eğitme aşamasında kullanılan 16 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.31’de ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan sekiz veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. $y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.30’da görülen doğrusal $y=0.9999x+77.965$ denklemi ve Şekil 4.31’de görülen doğrusal $y=1.0264x-33427$ denklemi, her iki şekil için de eğilim çizgilerinin $y=x$ doğrusunun üzerinde seyrettiklerini göstermektedir. Ayrıca her iki şekil için de, verilerin, eğilim çizgilerinin etrafında toplu saçıldıkları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın seyrettikleri ve modellemenin başarılı olduğu söylenebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitme aşamasında R^2 değeri 0,9999 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9964 olarak hesaplanmıştır. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,9999>0,80$ ve $R^2=0,9964>0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin çok kuvvetli olduğunu göstermektedir [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 24 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.15'deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 24 adet verinin 2003-2005 yılları arasına ait olan 16 tanesi (%67) eğitime aşaması için, 2006-2009 yılları arasına ait 8 tanesi (%33) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.28'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi verilerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.32'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.32. Bursa için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri % -2,36 ile %10,34 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %2,92 olarak elde

edilmiştir. Buna göre; Bursa’da yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehirde kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre küçük farklılıklara sahip olduğu söylenebilir.

Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20. Bursa için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	-0,397	0,00000339	-	-	-	-
2	-0,387	0,00000096	0,00078	-	-	-
3	-0,841	-0,00000024	0,00070	0,371	-	-
4	0,278	-0,00000121	0,00176	-2,811	0,782	-
5	-0,125	0,00000959	0,00193	-1,782	0,584	- 0,000009

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.20’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.21’de verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.21’de sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.21. Bursa için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.21.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,47	3,22	0,2700	4,40	3,78	0,1180
2	3,28	2,92	0,6870	4,41	3,62	0,0480
3	2,09	1,62	0,6360	4,40	3,98	0,1080
4	1,38	1,13	0,9158	4,24	3,87	0,1650
5	3,97	3,52	0,5630	4,36	3,63	0,0910

4.21.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	2,92	2,02	0,6210	4,49	3,99	0,0570
2	3,08	2,37	0,7100	4,39	3,80	0,0870
3	3,34	2,36	0,8644	4,14	3,73	0,2156
4	3,50	2,05	0,9660	4,44	4,02	0,2440
5	3,38	2,33	0,8890	4,15	3,74	0,2620

4.21.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	1,88	1,42	0,7040	4,55	4,17	0,0530
2	1,87	1,51	0,7060	4,36	3,73	0,0970
3	4,22	4,06	0,0000	4,54	3,97	0,0000
4	4,22	4,06	0,0000	4,54	3,97	0,0000
5	4,22	4,06	0,0000	4,54	3,97	0,0000

4.21.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	2,32	1,25	0,5940	5,01	4,05	0,1140
2	2243,45	562,67	0,0720	6,80	5,68	0,0370
3	3,87	2,12	NaN	6,85	5,83	NaN
4	1272,29	319,86	0,0720	6,85	5,83	NaN
5	1869,45	707,73	0,2800	235,43	88,66	0,0370

4.21.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	2,31	1,58	0,5527	5,00	4,43	0,0391
2	2,27	1,56	0,5661	5,32	4,68	0,0078
3	2,18	1,59	0,6014	5,57	4,75	0,0001
4	1,78	1,44	0,7341	5,71	5,26	0,0169
5	1,70	1,13	0,7875	6,29	5,53	0,0386

Tablo 4.22. Bursa için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

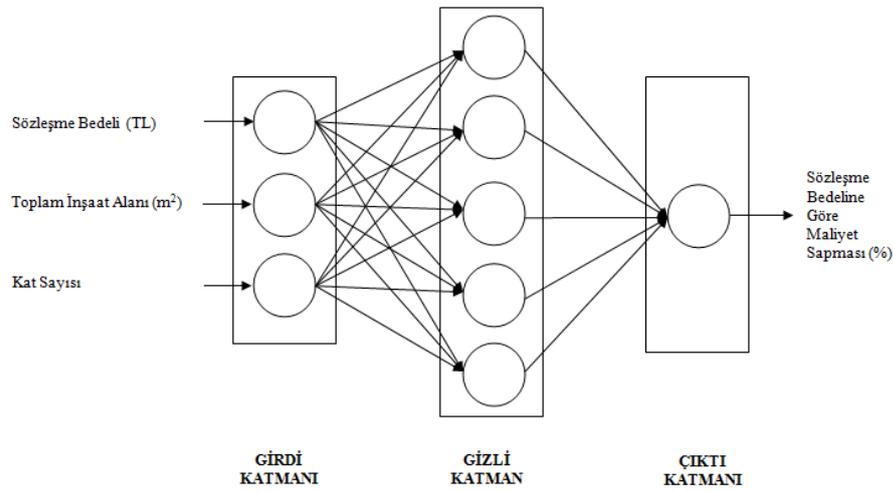
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	1,38	1,13	0,9158	4,24	3,87	0,1650
RBF	3,34	2,36	0,8644	4,14	3,73	0,2156
GPA	1,87	1,51	0,7060	4,36	3,73	0,0970
SCA	2,32	1,25	0,5940	5,01	4,05	0,1140
MLR	2,31	1,58	0,5527	5,00	4,43	0,0391

Tablo 4.22’de yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri de RBF yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:9, iterasyon sayısı:4 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 4-9-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için üçüncü kombinezon dışındaki bütün kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:5 ve dağılma parametresi:1,6 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-5-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için ikinci kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,17 ve iterasyon sayısı:6 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da; SCA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren birinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -0,397 + 0,00000339 \cdot x_1 \quad (4.18)$$

Şeklinde dir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Bursa için oluşturulan maliyet sapması modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Optimum sonuçları veren ve üçüncü kombinezondan elde edilen RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.33'de gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Bursa için maliyet sapması modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (3-5-1)

RBF analizleri için optimum sonuçların üçüncü kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²) ve kat sayısı verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı ancak yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL) verilerinin, modellemenin performansını azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise üçüncü girdi konumunda bulunan kat sayısı sahiptir. RBF analizinin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-2,36, ortancanın %4,90 ve en büyüğünün %10,34 olduğu düşünüldüğünde, optimum RBF analizinin test aşamasından

elde edilen $RMSE=4,14$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

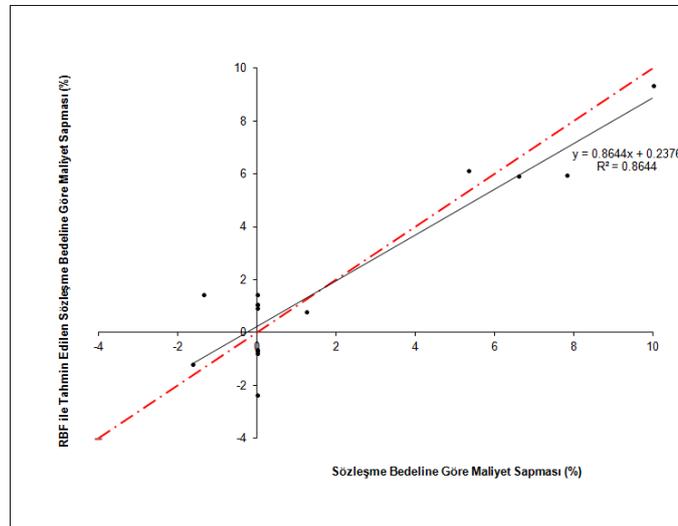
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{4,14}{-2,36} \right) \times 100 = \% -175,42 \quad (4.19)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{4,14}{4,90} \right) \times 100 = \% 84,49 \quad (4.20)$$

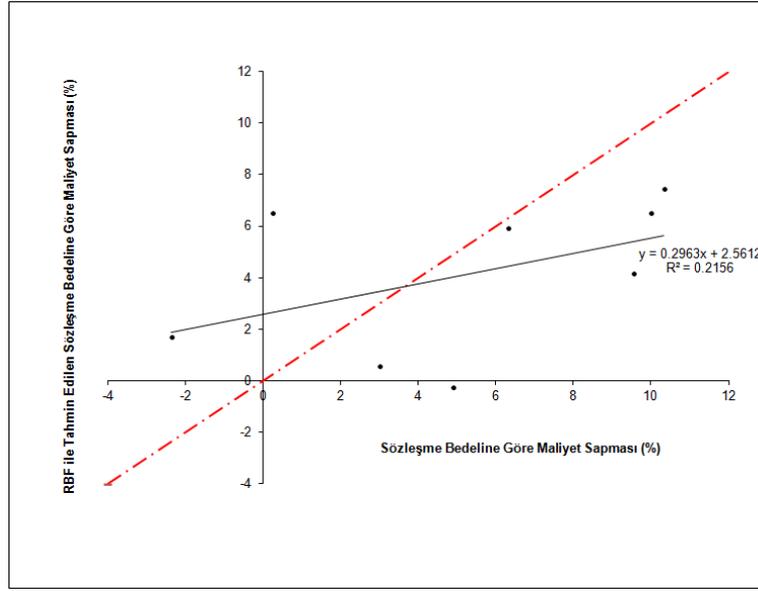
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{4,14}{10,34} \right) \times 100 = \% 40,04 \quad (4.21)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum RBF analizinin test aşamasından elde edilen $MAE=3,73$ değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; $\%-158,05$, $\%76,12$ ve $\%36,07$ sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum RBF analizinin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise $0,2156$ olup, bu değer, modellemeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin $\%21,56$ doğruluk oranı ile tahmin edildiklerini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,2156 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ile optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.34'de ve Şekil 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.34. Bursa için optimum RBF modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.35. Bursa için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.34’de, RBF modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 16 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.35’de ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan sekiz veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, verilerin eğilim çizgisinin etrafında dağınık bir saçılım gösterdikleri görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine uzak seyrettiği ve modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. RBF modellemesinin eğitime aşamasından elde edilen $R^2=0,8644>0,80$ değeri tatminkâr olsa da, modellemenin test aşamasından elde edilen $R^2=0,2156<0,80$ değeri, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir [84]. Bu durum, optimum RBF analizi için eğitime aşamasının başarılı olduğu ancak test aşamasında çıktı verisi olan maliyet sapmasının sinir ağı tarafından beklenen düzeyde öğrenilemediği şeklinde açıklanabilir.

Süresel Sapma Modeli

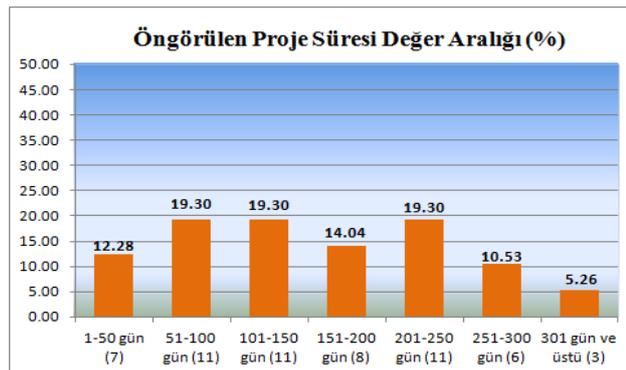
Bursa için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 57 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.23. Bursa için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

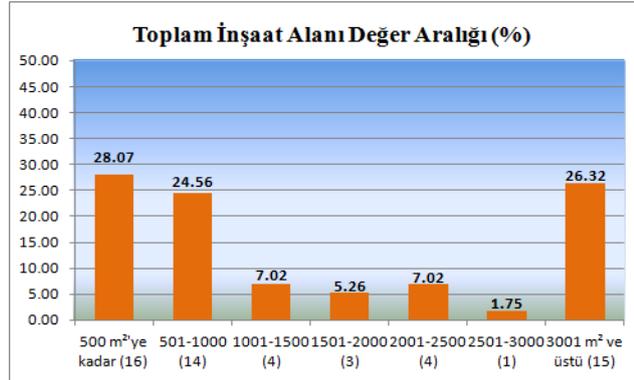
Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	35,00	38,40	1,00	2,40	60000,00
Maks. Değer	600,00	8265,00	12,00	45,60	2.885.000,00
Aritmetik Ortalama	171,84	1848,41	3,19	10,22	588.876,32
Standart Sapma	110,46	1931,23	2,19	7,59	581.454,97
Değişim Katsayısı (%)	64,28	104,48	68,63	74,31	98,74

Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 35-600 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 38,40-8265,00 m² aralığında, kat sayısı 1-12 aralığında, yapı yüksekliği 2,40-45,60 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 60000-2.885.000 TL aralığında değişmektedir. Aritmetik ortalamalar, her parametrenin minimum değerlerine daha yakın seyretmektedir. Yani her parametrenin veri yığılması, minimum değerine doğrudur. Bununla birlikte; toplam inşaat alanı verilerinin değişim katsayısının, diğer verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı verilerinin, diğer verilere göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise öngörülen proje süresi verileridir.

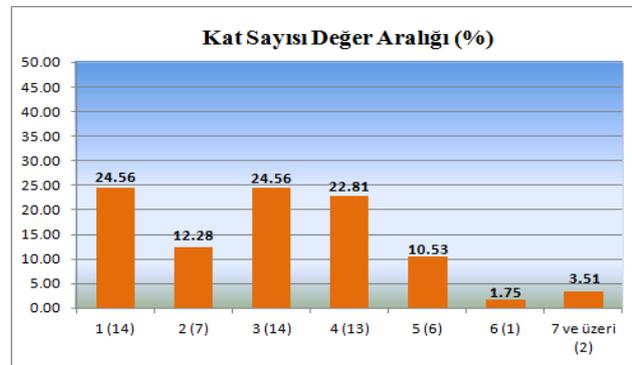
Süresel sapma modeli için; Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 57 verinin 2003-2005 yılları arasına ait 41 tanesi (%72) eğitim aşaması için, 2006-2009 yılları arasına ait 16 tanesi (%28) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 57'şer verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.36'daki gibidir.



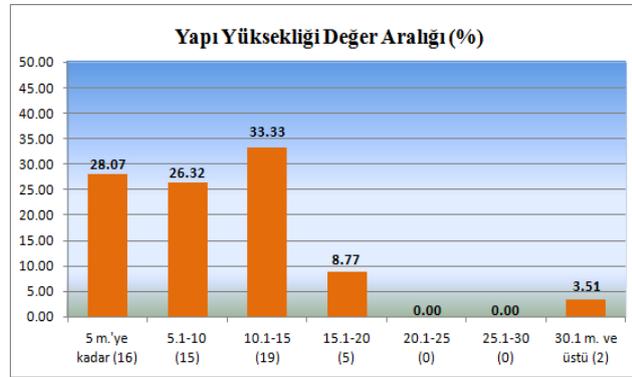
4.36.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



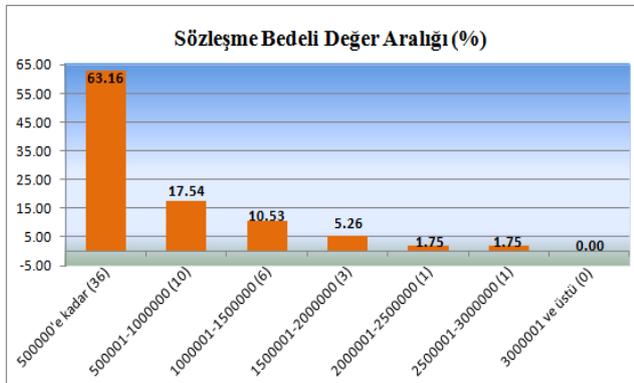
4.36.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.36.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.36.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

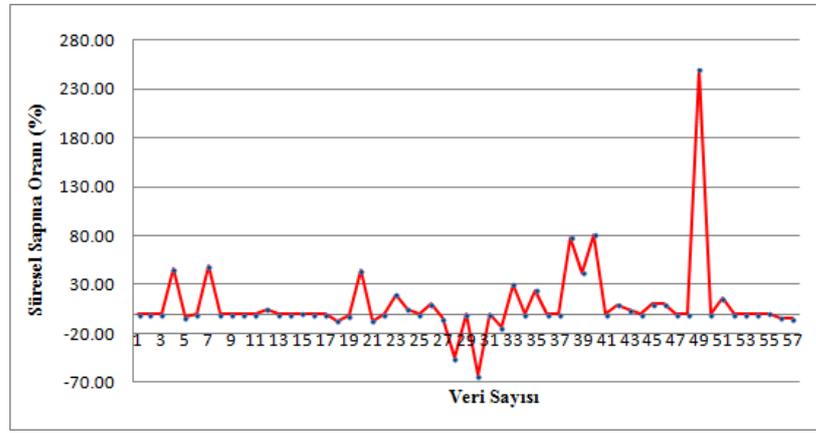


4.36.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.36. Bursa için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.36’da yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %19,30’unun öngörülen proje süresi 51-100 gün veya 101-150 gün veya 201-250 gün arasında, %28,07’sinin toplam inşaat alanı 500 m²’ye kadar, %24,56’sı bir veya üç katlı, %33,33’ünün yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %63,16’sının sözleşme bedeli 500.000 TL’nin altındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.37’de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.37. Bursa için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-63,33 ile %250,00 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %10,25 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Bursa’da yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapmanın yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirde, gerçekleşen proje süreleri ile öngörülen proje süreleri arasında büyük farklılıkların olduğu söylenebilir.

Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinasyonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.24’de verilmiştir.

Tablo 4.24. Bursa için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	-10,108	0,1270	-	-	-	-
2	-8,530	0,0673	0,0040	-	-	-
3	-14,447	0,0455	- 0,0012	5,76	-	-
4	-12,628	0,0369	- 0,0003	0,39	1,47	-
5	-12,161	0,0320	-0,0010	0,22	1,46	0,000004

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.24’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.25’de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.25’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.26’da verilmiştir.

Tablo 4.25. Bursa için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.25.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	38,88	34,21	0,1620	55,90	26,94	0,1550
2	21,32	15,55	0,3220	55,69	26,09	0,1750
3	16,60	11,07	0,5870	58,20	23,54	0,1040
4	17,94	12,49	0,5180	56,67	24,74	0,1390
5	17,34	11,81	0,5504	54,86	26,04	0,2376

4.25.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	9,39	7,66	0,0670	59,58	22,79	0,0820
2	15,75	11,79	0,3080	58,43	26,38	0,0970
3	15,80	9,84	0,3110	58,90	22,72	0,0880
4	17,54	10,47	0,3980	58,35	20,33	0,1810
5	17,38	9,99	0,3900	58,51	19,72	0,1970

4.25.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	22,73	16,84	0,2260	61,00	26,51	0,0040
2	21,27	15,39	0,3220	57,04	25,21	0,1220
3	20,71	15,50	0,3570	63,93	27,29	0,1720
4	17,29	11,88	0,5520	59,94	27,26	0,0370
5	25,89	18,25	NaN	60,81	22,03	NaN

4.25.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	21,46	13,78	0,3390	59,25	21,12	0,0840
2	22,49	12,82	0,2560	52,23	22,08	0,3800
3	26,80	14,20	NaN	62,80	19,31	NaN
4	17,47	9,35	0,5700	49,97	25,67	0,3210
5	24,66	11,22	0,3450	120,83	72,58	0,0210

4.25.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	23,70	16,47	0,1579	65,54	35,43	0,0563
2	22,84	15,77	0,2184	63,59	30,90	0,0273
3	21,28	15,48	0,3211	62,77	28,59	0,0509
4	21,15	15,01	0,3296	62,60	28,08	0,0360
5	21,13	14,98	0,3309	62,61	28,09	0,0370

Tablo 4.26. Bursa için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

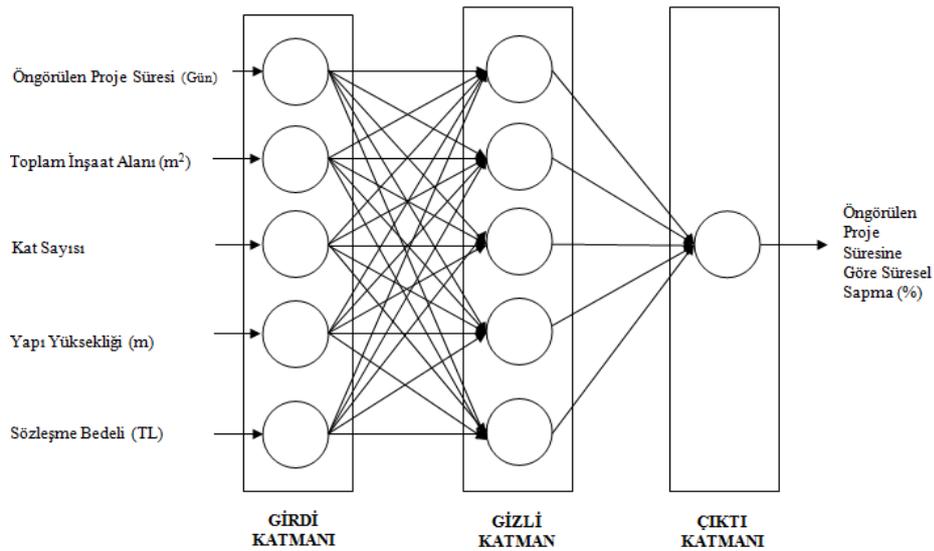
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	17,34	11,81	0,5504	54,86	26,04	0,2376
RBF	17,38	9,99	0,3900	58,51	19,72	0,1970
GPA	21,27	15,39	0,3220	57,04	25,21	0,1220
SCA	17,47	9,35	0,5700	49,97	25,67	0,3210
MLR	21,15	15,01	0,3296	62,60	28,08	0,0360

Tablo 4.26’da yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE değeri MLP yönteminden, minimum MAE değeri SCA yönteminden, test aşaması için minimum RMSE değeri SCA yönteminden ve minimum MAE değeri de RBF yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:5, iterasyon sayısı:20 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-5-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için dördüncü kombinezon dışındaki bütün kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:6 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-6-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. RBF yöntemi için, bütün kombinezonların optimum sonuçlarında dağılma parametresinin düşük değerler ile elde edilmiş olması, bu yöntemde dağılma parametresinin artırılmasının modellemeye bir fayda sağlamadığını göstermektedir. GPA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA yöntemi için birinci ve beşinci kombinezonlarda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olmuştur. GPA yönteminde, üçüncü kombinezon dışındaki bütün kombinezonların optimum sonuçlarının 1 iterasyon sayısı ile elde edilmiş olması, iterasyon sayısının artırılmasının GPA modellemesine etkisinin olmadığını göstermektedir. Üçüncü kombinezonda ise optimum sonuç 12 iterasyon ile elde edilmiştir. SCA yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,18 ve iterasyon sayısı:13 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise SCA yöntemindeki gibi dördüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren dördüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -12,628 + 0,0369.x_1 - 0,0003.x_2 + 0,39.x_3 + 1,47.x_4 \quad (4.22)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5’den de görüleceği üzere, Bursa için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 ’ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Analizler sonucunda beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. Bursa için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-5-1)

Süresel sapma modeli için en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için, optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Aynı değerlendirme, RBF yöntemi için de yapılabilir. SCA ve MLR yöntemlerinde ise sözleşme bedeli verisinin, modellemelerin performansını azalttığı ve en yüksek etkiye, dördüncü girdi konumunda

bulunan yapı yüksekliği verisinin sahip olduğu söylenebilir. Analizin test aşamasında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-4,67, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %250,00 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=54,86 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

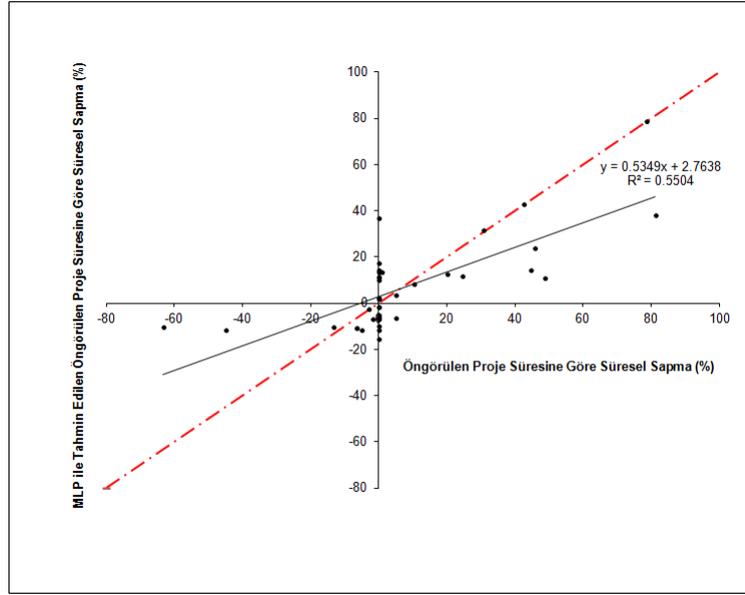
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{54,86}{-4,67} \right) x 100 = \% -1174,73 \quad (4.23)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{54,86}{0,00} \right) x 100 = \infty \quad (4.24)$$

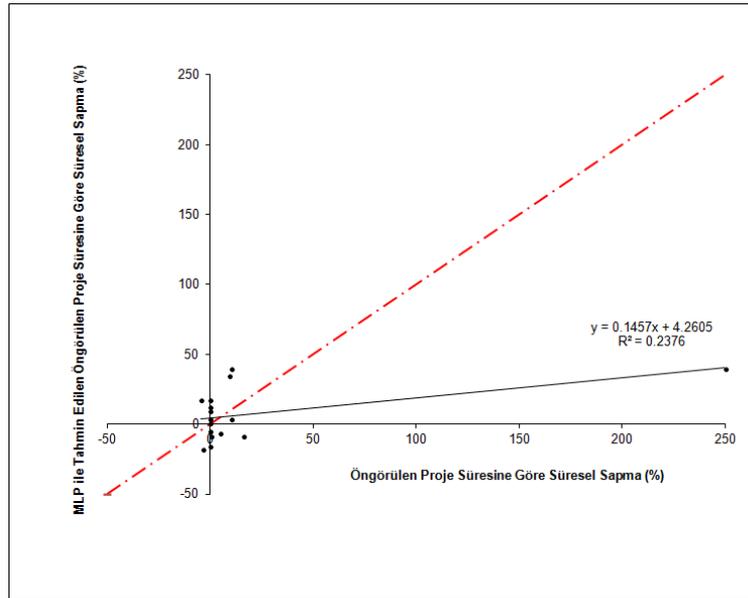
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{54,86}{250,00} \right) x 100 = \%21,94 \quad (4.25)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=26,04 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-557,60 ve %10,42 sapma oranları ile elde edilmiştir. Optimum MLP analizinin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,2376 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %23,76 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,2376 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanan süresel sapma değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.39'da ve Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.39. Bursa için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



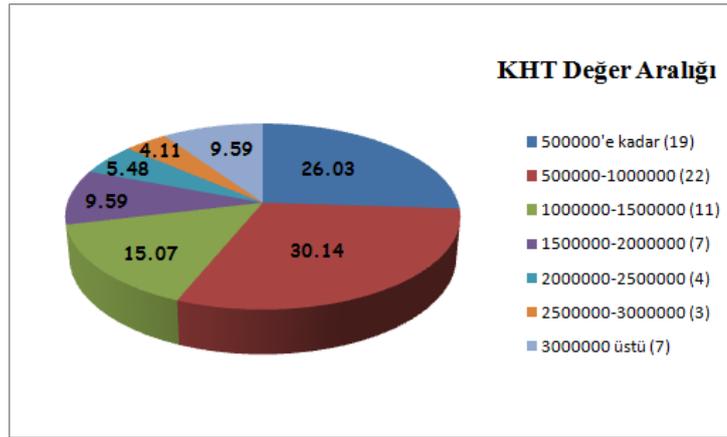
Şekil 4.40. Bursa için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.39’da, MLP modellemesinin eğitme aşamasında kullanılan 41 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.40’da ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 16 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin $y=x$ doğrularından oldukça uzak ve yatay eksenlere yakın seyrettikleri, bununla birlikte

verilerin eğilim çizgilerinin etrafında dağınık saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirinden uzak ve modellenmenin de başarısız olduğu söylenebilir. Optimum MLP analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.1.3. Ankara'dan Elde Edilen Bulgular

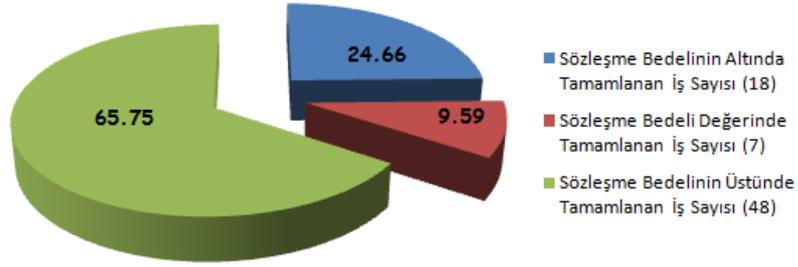
Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün arşiv kayıtları incelenerek, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 80 kamu yapım işinin 73'ünün kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41. Ankara'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

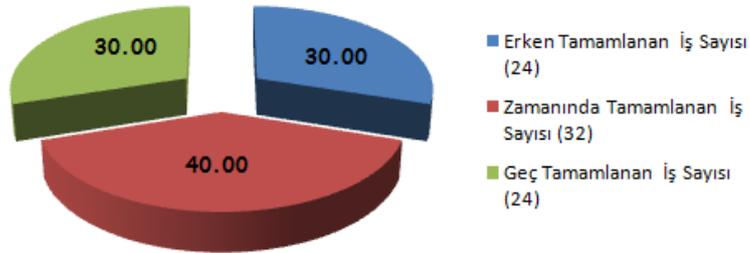
İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %30,14'ü 500.000-1.000.000 TL arasındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 65.459 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 26.030.041 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 1.917.902 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Ankara'da yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirdeki kamu yapım işi hacminin geniş olduğu söylenebilir. Ankara'da tamamlanan 73 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.42'de, 80 yapım işinin süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.43'de gösterilmiştir.

Sözleşme Bedelinin Gerçekleşme Oranları



Şekil 4.42. Ankara'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)

Süresel Gerçekleşme Oranları

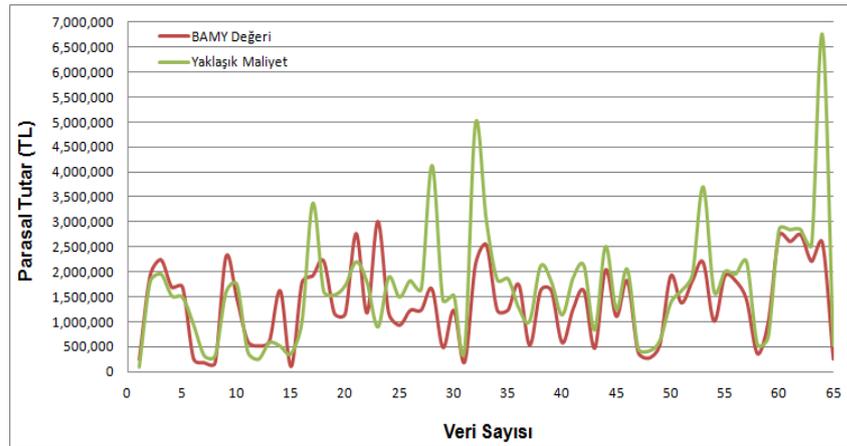


Şekil 4.43. Ankara'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

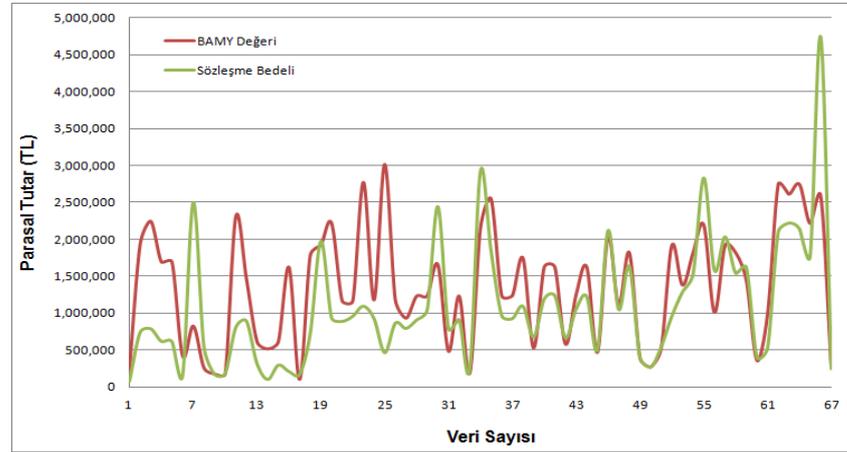
Ankara'da yapım işlerinin %65,75'i sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile ve %24,66'sı sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmıştır. Yapım işlerinin %40,00'ü zamanında tamamlanmış olup, öngörülen proje süresinden daha erken ve daha geç tamamlanmış olan projelerin oranları da eşit şekilde %30,00 olarak belirlenmiştir.

Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

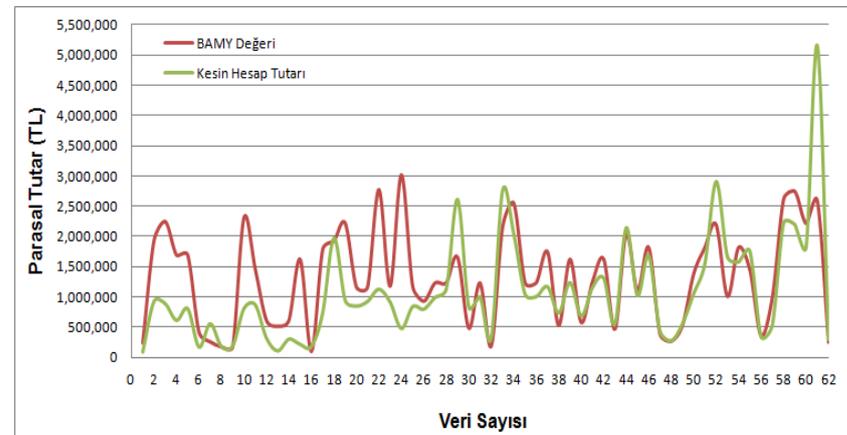
Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde yapılan arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 65 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.44'de verilmiştir. 67 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.45'de, 62 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.44. Ankara için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.

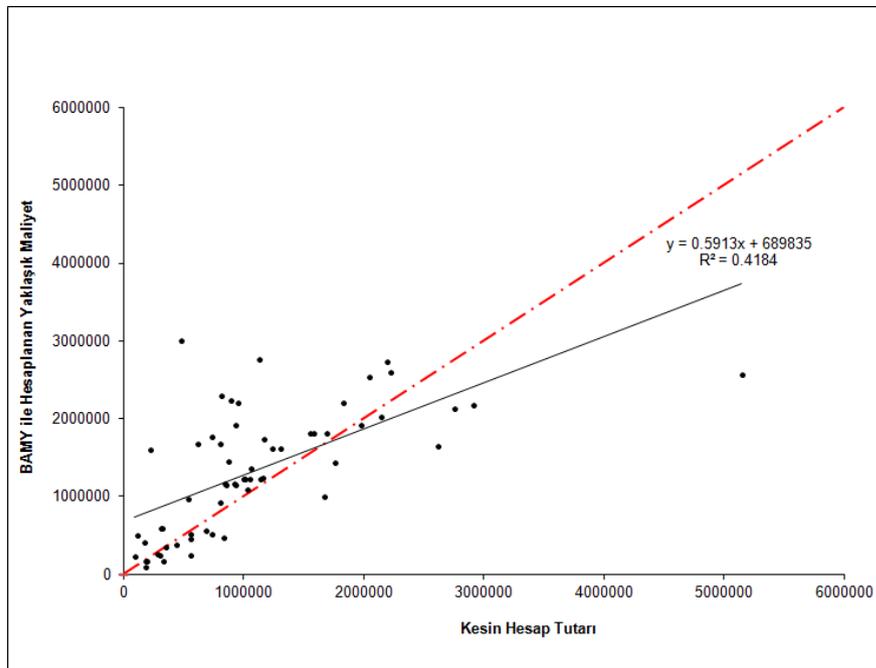


Şekil 4.45. Ankara için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.46. Ankara için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her bir şekilde; kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin büyük farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.46, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin büyük çoğunluğunun kesin hesap tutarlarına göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Şekil 4.46'nın anlam düzeyini artırabilmek adına, 62 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47. Ankara için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.47'de görülen doğrusal $y=0.5913x+689835$ denklemi, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığını göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünülürse, $R^2=0,4184<0,80$ sonucu, iki değişken arasındaki korelasyonun zayıf olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.47'de verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.27. Ankara için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2003	6	8.229.400	3.490.046	135,80
2004	12	11.568.003	6.424.611	80,06
2005	25	34.682.373	27.421.869	26,48
2006	11	14.393.771	14.858.273	-3,13
2007	6	10.374.760	8.862.523	17,06
2008	1	2.588.040	5.145.009	-49,70
2009	0	0	0	0,00
2010	1	252.945	297.575	-15,00
TOPLAM	62	82.089.292	66.499.906	23,44

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %23,44'lük sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak; 2006, 2008 ve 2010 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %3,13, %49,70 ve %15,00 oranlarında daha düşük hesaplanmışlardır. Yıl bazında sapma oranının 2003 yılında %135,80'e ulaştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin gerçeği yansıtmadığı söylenebilir. Bu nedenle, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarını tahmin edebilmek için öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

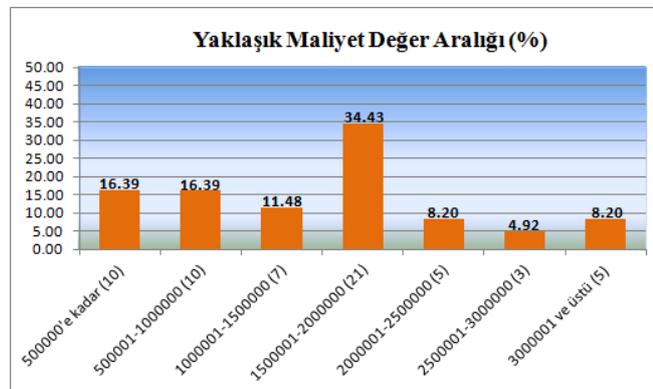
Ankara için maliyet modelinde kullanılan toplam 61 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28. Ankara için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

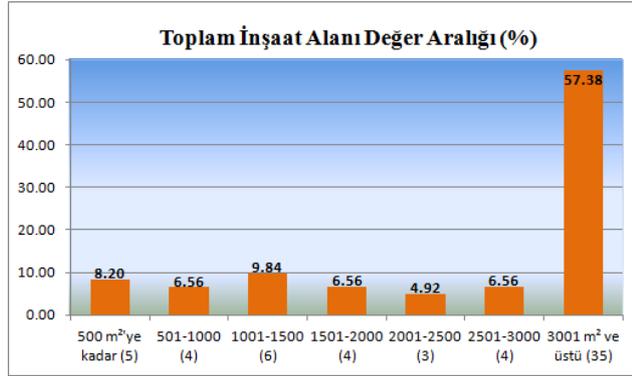
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	85151,00	315,00	1,00	3,20	82000,00
Maks. Değer	4.960.740,00	8410,00	6,00	19,45	2.921.420,00
Aritmetik Ortalama	1.545.997,69	3345,18	3,85	11,41	979.467,82
Standart Sapma	995.998,84	2053,91	1,41	3,81	678.701,36
Değişim Katsayısı (%)	64,42	61,40	36,66	33,41	69,29

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 85151-4.960.740 TL aralığında, toplam inşaat alanı 315-8410 m² aralığında, kat sayısı 1-6 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-19,45 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 82000-2.921.420 TL aralığında değişmektedir. Yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bu parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerinin aritmetik ortalamalarınınsa maksimum değerlerine daha yakın seyrettikleri ifade edilebilir. Yani bu parametrelerin veri yığılmaları da maksimum değerlerine doğrudur. Bununla birlikte; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verilerin sözleşme bedeli verileri, dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu verilerin ise yapı yüksekliği verileri olduğu ifade edilebilir.

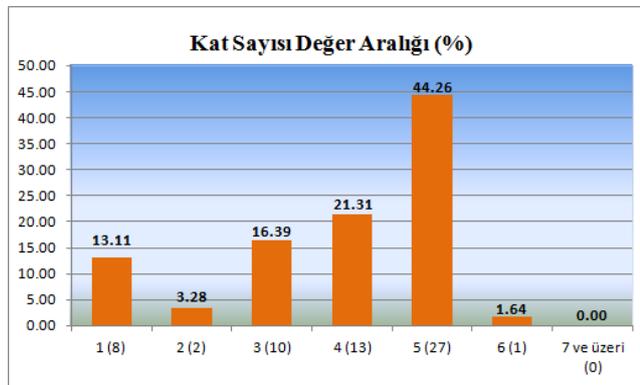
Maliyet modeli için; Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 61 adet verinin 2003-2005 yılları arasına ait olan 43 tanesi (%70) eğitim aşaması için, 2006-2010 yılları arasına ait 18 tanesi (%30) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 61'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.48'de verilmiştir.



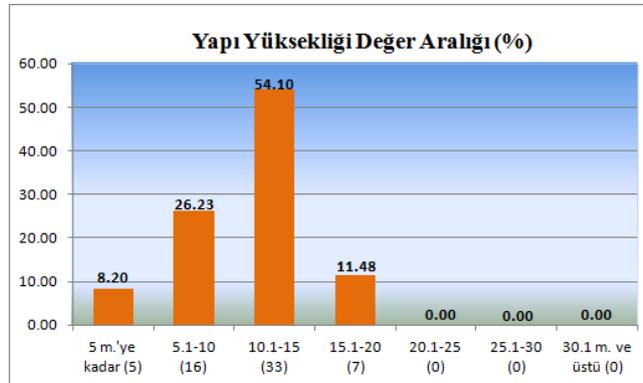
4.48.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



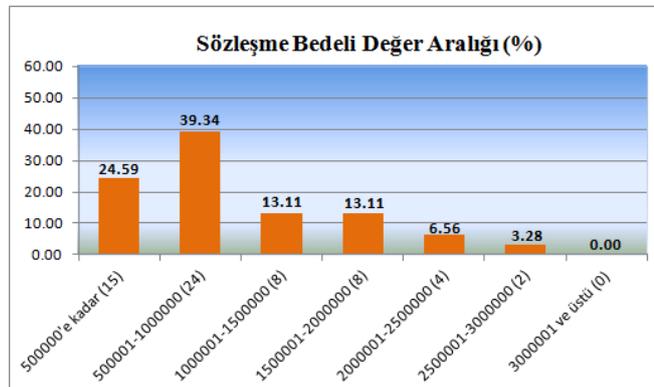
4.48.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.48.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.48.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.48.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.48. Ankara için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.48’de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %34,43’ünün yaklaşık maliyeti 1.500.001-2.000.000 TL aralığında, %57,38’inin toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %44,26’sı beş katlı, %54,10’unun yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %39,34’ünün sözleşme bedeli 500.001-1.000.000 TL arasındadır.

Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.29. Ankara için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x₁) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x₂) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x₃) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x₄) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x₅) Katsayı Parametresi (f)
1	9567	0,576	-	-	-	-
2	43238	0,603	-21,80	-	-	-
3	29901	0,602	-23,84	5867	-	-
4	56240	0,607	-22,90	24924	-9371	-
5	23224	0,028	6,07	11773	-4871	0,951

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.29’da verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R² değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.30’da verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.30’da sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.30. Ankara için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.30.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	255450,00	196130,00	0,9360	284390,00	232330,00	0,9190
2	293450,00	220740,00	0,8750	321460,00	264090,00	0,8470
3	395750,00	340540,00	0,8770	198520,00	138220,00	0,9590
4	183920,00	158060,00	0,9500	321460,00	265870,00	0,9570
5	43933,00	32791,00	0,9950	73948,00	49205,00	0,9910

4.30.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	996880,00	868290,00	0,6960	334700,00	254370,00	0,9380
2	996610,00	868290,00	0,6940	330370,00	233810,00	0,8730
3	1004800,00	868290,00	0,7420	322570,00	240100,00	0,9140
4	1015400,00	872120,00	0,8040	370190,00	282310,00	0,9550
5	1046800,00	868290,00	0,9918	70837,00	41671,00	0,9918

4.30.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	182450,00	125900,00	0,9350	374980,00	290640,00	0,9010
2	170200,00	123620,00	0,9240	378180,00	281640,00	0,9090
3	76632,00	57556,00	0,9830	369180,00	309260,00	0,8680
4	121870,00	91407,00	0,9570	407390,00	329570,00	0,9390
5	10789,00	3986,70	0,9997	188510,00	161060,00	0,9420

4.30.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	196571,16	154490,00	0,9190	321643,94	254171,00	0,9650
2	180956,81	134367,00	0,9110	434678,47	383507,00	0,9280
3	1048191,96	868291,00	NaN	1542874,80	1334350,00	NaN
4	287975,95	208510,00	0,8300	389019,83	298959,00	0,8650
5	608152,68	450639,00	0,4320	1195133,79	1030920,00	0,0720

4.30.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	136212,74	101950,26	0,9462	433759,92	359112,55	0,9709
2	131003,89	98862,45	0,9502	432448,75	355675,71	0,9703
3	130839,36	99907,14	0,9503	431225,61	353041,03	0,9711
4	129440,59	97729,44	0,9514	423041,59	345734,49	0,9683
5	64834,56	50280,85	0,9878	75538,38	46790,78	0,9914

Tablo 4.31. Ankara için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	43933,00	32791,00	0,9950	73948,00	49205,00	0,9910
RBF	1046800,00	868290,00	0,9918	70837,00	41671,00	0,9918
GPA	10789,00	3986,70	0,9997	188510,00	161060,00	0,9420
SCA	196571,16	154490,00	0,9190	321643,94	254171,00	0,9650
MLR	64834,56	50280,85	0,9878	75538,38	46790,78	0,9914

Tablo 4.31’de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri GPA yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:3, iterasyon sayısı:19 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için diğer bütün kombinezonların optimum sonuçlarında aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:9 ve dağılım parametresi:1,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-9-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç da; beşinci ve son kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için üçüncü ve dördüncü kombinezonların optimum sonuçlarında da giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,19 ve iterasyon sayısı:8 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da beşinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 23224 + 0,028.x_1 + 6,07.x_2 + 11773.x_3 - 4871.x_4 + 0,951.x_5 \quad (4.26)$$

Şeklinde dir.

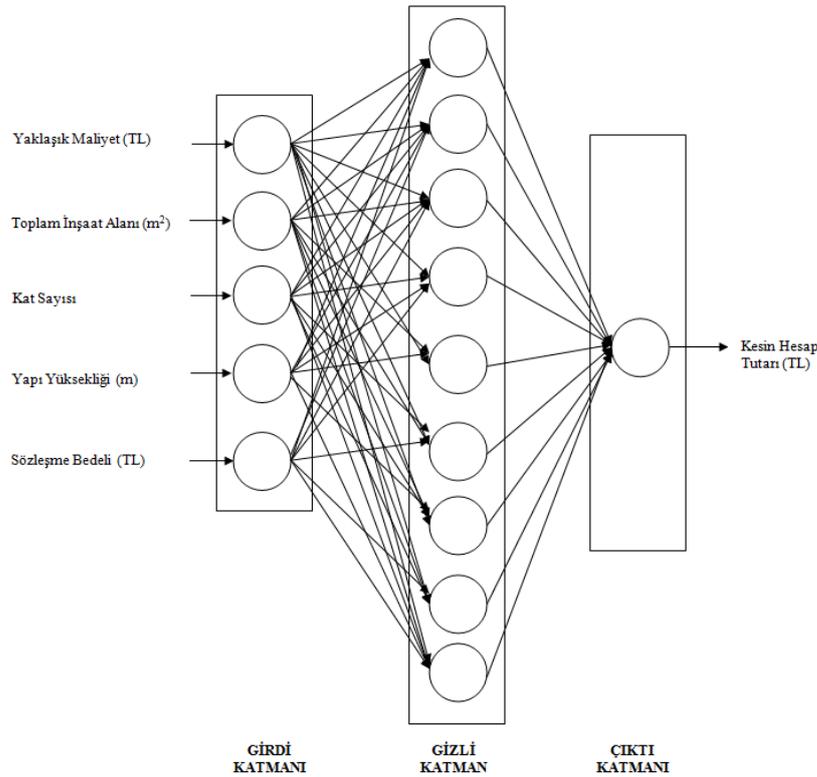
Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Ankara için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.27 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bu yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.32. Ankara için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	62	82.089.292,00	66.499.906,00	23,44
MLP	61	61.002.401,27	61.354.897,00	-0,57
RBF	61	61.503.490,16	61.354.897,00	0,24
GPA	61	61.144.787,90	61.354.897,00	-0,34
SCA	61	60.607.714,34	61.354.897,00	-1,22
MLR	61	61.491.804,98	61.354.897,00	0,22

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %23,44'lük sapma oranı ile daha yüksek hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP'den %0,57'lik sapma oranı, GPA'dan %0,34'lük sapma oranı ve SCA'dan %1,22'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmışken; RBF'den %0,24'lük sapma oranı ve MLR'den %0,22'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışlardır. Bu durumda; bütün yöntemlerin BAMY'ye göre yüksek performanslar gösterdikleri, kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise MLR yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği söylenebilir. Ancak analizin özellikle test aşamasındaki RMSE ve MAE değerleri göz

önüne alındığında, RBF yaklaşımının MLR yaklaşımına göre daha üstün olduğu görülmektedir. Bu durumda, toplamda en iyi sonuç MLR yönteminden elde edilmesine rağmen, RBF yönteminin test aşamasındaki öğrenme yeteneğinin MLR yöntemine göre daha yüksek ve dolayısıyla RBF analizinin daha başarılı olduğu söylenebilir. Beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.49. Ankara için maliyet modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (5-9-1)

SCA yöntemi dışındaki bütün yöntemlerde optimum sonuçların beşinci ve son kombinezonlardan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 273.000 TL, ortancanın 1.549.714 TL ve en büyüğünün 2.904.027 TL olduğu düşünüldüğünde, RBF yönteminin test aşamasından

elde edilen $RMSE=70837$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

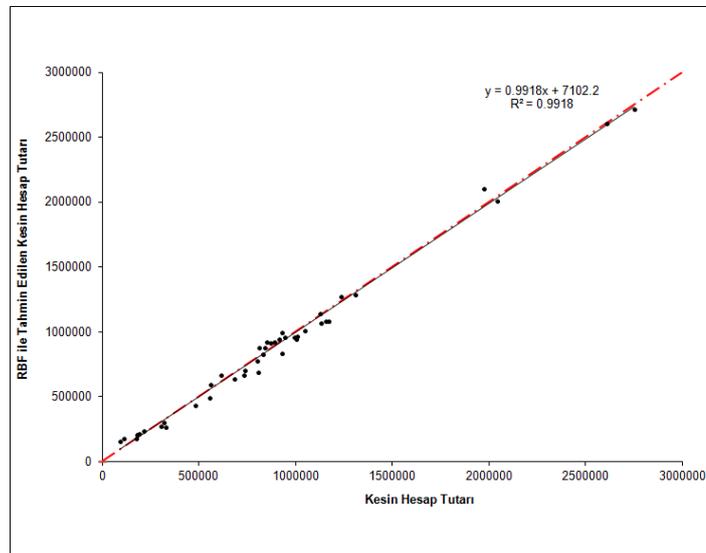
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{70.837,00}{273.000,00} \right) \times 100 = \%25,95 \quad (4.27)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{70.837,00}{1.549.714,00} \right) \times 100 = \%4,57 \quad (4.28)$$

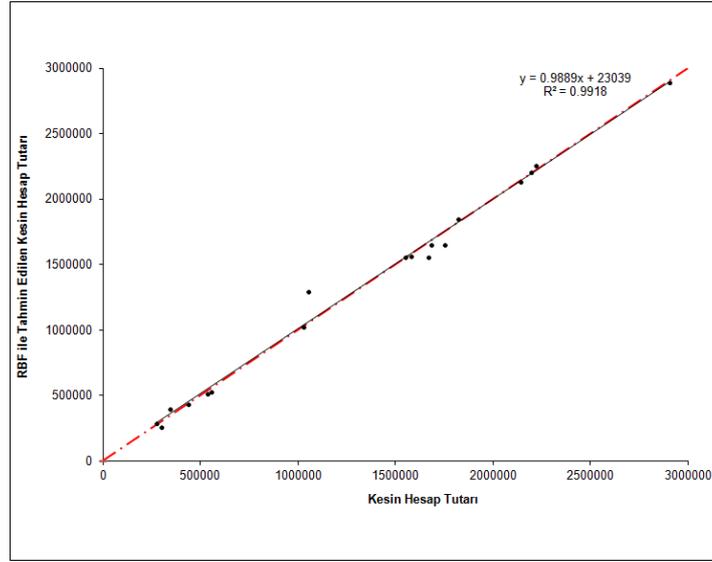
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{70.837,00}{2.904.027,00} \right) \times 100 = \%2,44 \quad (4.29)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen $MAE=41671$ değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %15,26, %2,69 ve %1,43 sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri 0,9918 olup, bu değer, kesin hesap tutarlarının %99,18 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9918 > 0,80$ sonucu, güçlü korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.50'de ve Şekil 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.50. Ankara için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



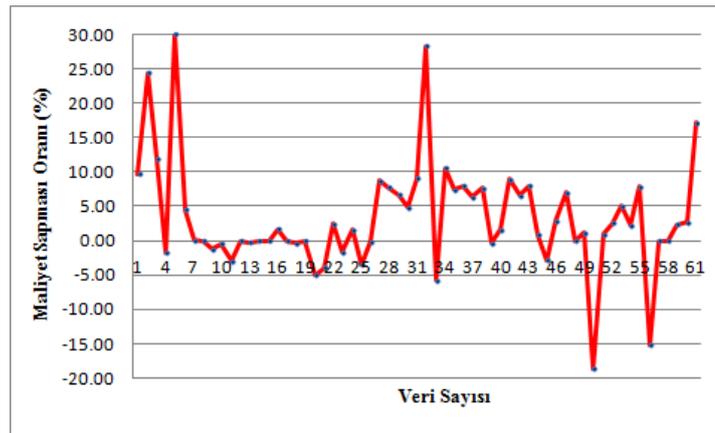
Şekil 4.51. Ankara için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.50’de, RBF modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 43 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.51’de ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan 18 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. $y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.50’de görülen doğrusal $y=0.9918x+7102.2$ denklemi ile Şekil 4.51’de görülen doğrusal $y=0.9889x+23039$ denklemi, her iki şekil için de eğilim çizgilerinin $y=x$ doğrusu üzerinde seyrettiklerini göstermektedir. Ayrıca her iki şekil için de, verilerin, eğilim çizgisinin etrafında toplu saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın seyrettiği ve modellemelerin başarılı olduğu söylenebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime ve test aşamalarında R^2 değerleri 0,9918 olarak hesaplanmıştır. Ancak iki aşamanın genel performansları incelendiğinde, R^2 değerleri aynı olmasına rağmen test aşamasındaki hata değerlerinin eğitime aşamasındaki hata değerlerine göre daha düşük olduğu ve test aşamasının daha başarılı geçtiği ifade edilebilir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9918 > 0,80$ ve $R^2 = 0,9918 > 0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin çok kuvvetli olduğunu göstermektedirler [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 61 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.28'deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 61 adet verinin 2003-2005 yılları arasına ait olan 43 tanesi (%70) eğitime aşaması için, 2006-2010 yılları arasına ait 18 tanesi (%30) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.48'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi verilerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.52'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.52. Ankara için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri %-18,60 ile %30,00 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %3,37 olarak elde

edilmiştir. Buna göre; Ankara’da yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehirde kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre küçük farklılıklara sahip olduğu söylenebilir.

Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.33’de verilmiştir.

Tablo 4.33. Ankara için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	5,643	- 0,000001	-	-	-	-
2	4,408	- 0,000003	0,000657	-	-	-
3	4,047	- 0,000003	0,000599	0,16	-	-
4	4,558	- 0,000003	0,000625	0,53	- 0,181	-
5	4,898	- 0,000013	0,000240	0,68	- 0,259	0,000007

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.33’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.34’de verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.34’de sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.35’de verilmiştir.

Tablo 4.34. Ankara için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.34.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	7,25	5,33	0,1430	7,86	5,86	0,0180
2	9,75	7,25	0,0590	7,38	4,90	0,1010
3	8,04	5,54	0,0860	7,65	5,13	0,0010
4	8,85	5,58	0,0040	7,48	4,55	0,0370
5	7,89	5,77	0,0425	7,24	4,37	0,1722

4.34.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	4,14	4,03	0,0150	8,20	5,15	0,0100
2	4,69	4,03	0,0980	7,89	4,91	0,0220
3	4,49	4,03	0,0670	7,89	4,90	0,0130
4	5,48	4,45	0,2330	7,60	4,92	0,0500
5	5,07	4,25	0,1597	7,59	4,94	0,0390

4.34.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	7,84	5,72	0,0200	7,94	4,97	0,0060
2	7,69	6,05	0,0360	8,01	5,31	0,0020
3	7,01	5,29	0,1980	8,10	4,93	0,0020
4	5,62	4,56	0,4860	12,05	7,78	0,0050
5	10,98	9,85	0,0000	13,53	11,76	0,0000

4.34.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	23,88	17,35	0,0200	7,91	6,46	0,2970
2	4821216,46	1412360,00	0,0110	6344327,48	1530520,00	0,0000
3	8,98	5,68	NaN	7,65	4,97	NaN
4	8,18	5,44	0,0160	8,36	4,82	0,0000
5	49632263,02	15079800,00	0,0060	55,67	20,49	0,0180

4.34.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	7,80	5,99	0,0121	8,38	5,47	0,0108
2	7,70	5,99	0,0353	7,97	5,12	0,0047
3	7,69	5,95	0,0359	7,99	5,14	0,0059
4	7,69	5,90	0,0379	7,96	5,18	0,0002
5	7,60	5,87	0,0614	8,05	6,25	0,0035

Tablo 4.35. Ankara için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

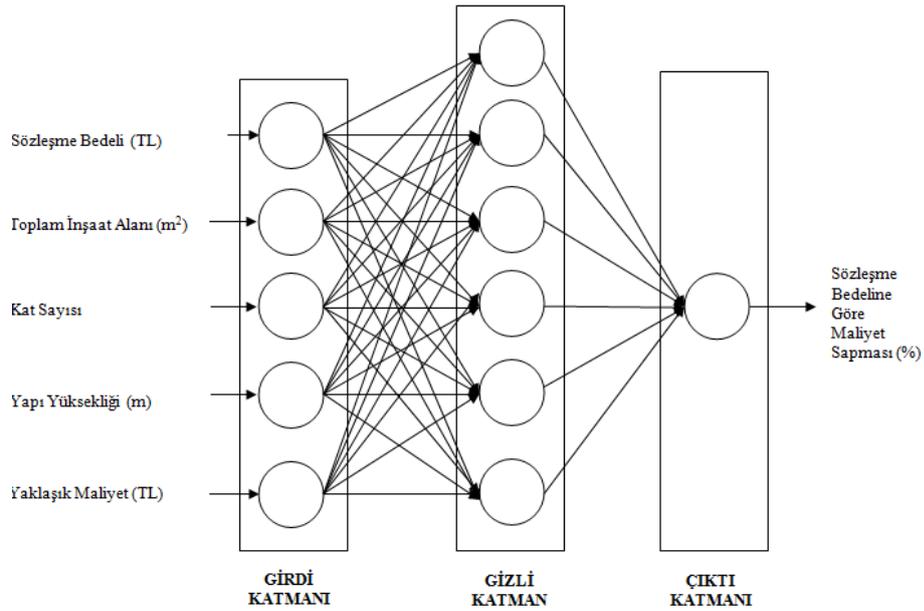
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	7,89	5,77	0,0425	7,24	4,37	0,1722
RBF	5,07	4,25	0,1597	7,59	4,94	0,0390
GPA	7,84	5,72	0,0200	7,94	4,97	0,0060
SCA	8,98	5,68	NaN	7,65	4,97	NaN
MLR	7,69	5,90	0,0379	7,96	5,18	0,0002

Tablo 4.35’de yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE değeri MLP yönteminden ve minimum MAE değeri RBF yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri de MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:6, iterasyon sayısı:2 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-6-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için birinci ve dördüncü kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:6 ve dağılma parametresi:0,9 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile MLP yöntemindeki gibi 5-6-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için beşinci kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren dördüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 4,558 - 0,000003 \cdot x_1 + 0,000625 \cdot x_2 + 0,53 \cdot x_3 - 0,181 \cdot x_4 \quad (4.30)$$

Şeklinde dir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Ankara için oluşturulan maliyet sapması modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden büyük oldukları için, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizinin anlamsız olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} < F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın kabul edileceği anlamı taşımaktadır. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı söylenebilir. Optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.53'de gösterilmiştir.



Şekil 4.53. Ankara için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-6-1)

Maliyet sapması modellemesi için en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların beşinci kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan yaklaşık maliyet sahiptir. Modellemenin test

aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-18,60, ortancanın %1,13 ve en büyüğünün %17,16 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=7,24 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

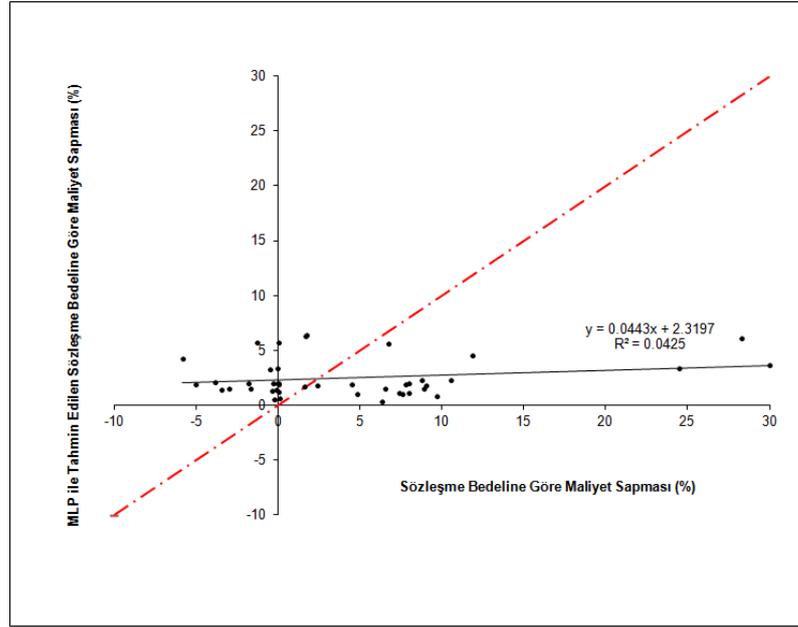
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{7,24}{-18,60} \right) \times 100 = \% -38,92 \quad (4.31)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{7,24}{1,13} \right) \times 100 = \%640,71 \quad (4.32)$$

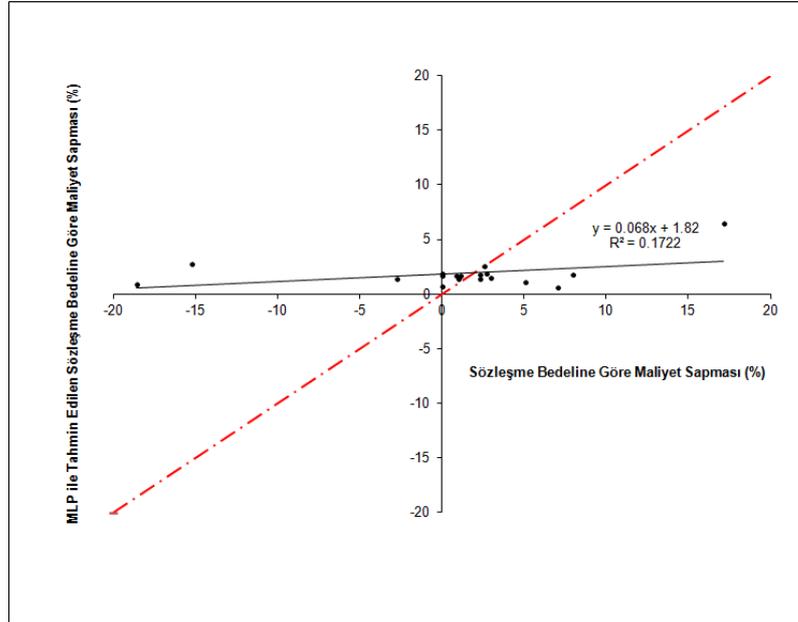
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{7,24}{17,16} \right) \times 100 = \%42,19 \quad (4.33)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=4,37 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-23,49, %386,73 ve %25,47 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,1722 olup, bu değer, modellemeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin %17,22 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,1722 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ve optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.54'de ve Şekil 4.55'de verilmiştir.



Şekil 4.54. Ankara için optimum MLP modelinin eğitim aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.55. Ankara için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.54’de, MLP modellemesinin eğitim aşamasında kullanılan 43 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.55’de ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 18 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, verilerin $y=x$

doğrusundan uzak ve eğilim çizgisinin etrafında dağınık bir saçılım gösterdikleri görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında büyük farklılıklar olduğu ve modellemenin başarısızlıkla sonuçlandığı söylenebilir. Eğitim ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Süresel Sapma Modeli

Ankara için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 67 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.36'da verilmiştir.

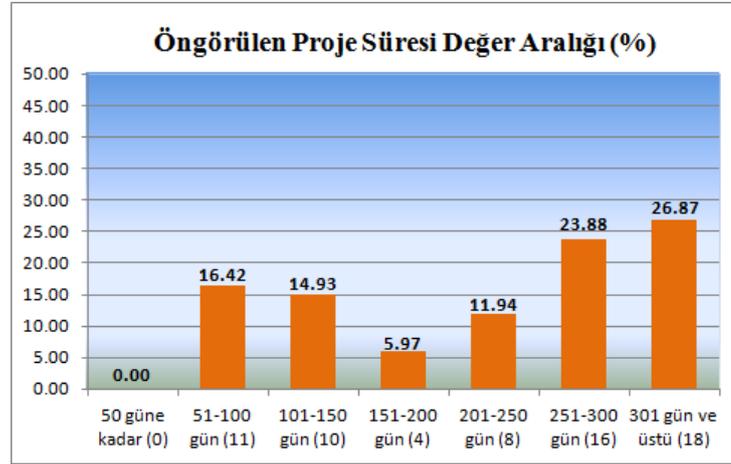
Tablo 4.36. Ankara için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	75,00	315,00	1,00	3,20	82000,00
Maks. Değer	1210,00	8410,00	6,00	19,45	4.733.000,00
Aritmetik Ortalama	278,67	3478,97	3,94	11,67	1.093.694,58
Standart Sapma	204,62	2038,13	1,38	3,75	831.051,64
Değişim Katsayısı (%)	73,43	58,58	35,03	32,14	75,99

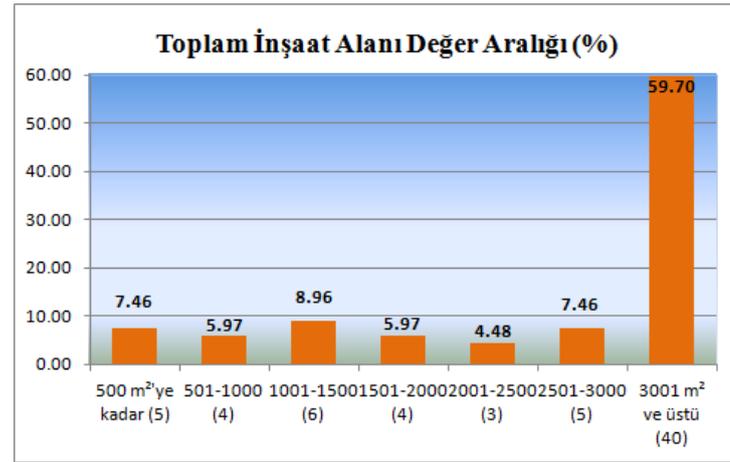
Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 75-1210 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 315-8410 m² aralığında, kat sayısı 1-6 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-19,45 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 82000-4.733.000 TL aralığında değişmektedir. Öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bu parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Homojenliği en az olan verilerin sözleşme bedeli verileri olduğu söylenebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise yapı yüksekliği verileridir.

Süresel sapma modeli için; Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 67 verinin 2003-2005 yılları arasına ait 45 tanesi (%67) eğitim aşaması için, 2006-2010 yılları arasına ait 22 tanesi (%33) de test aşaması için kullanılmak üzere

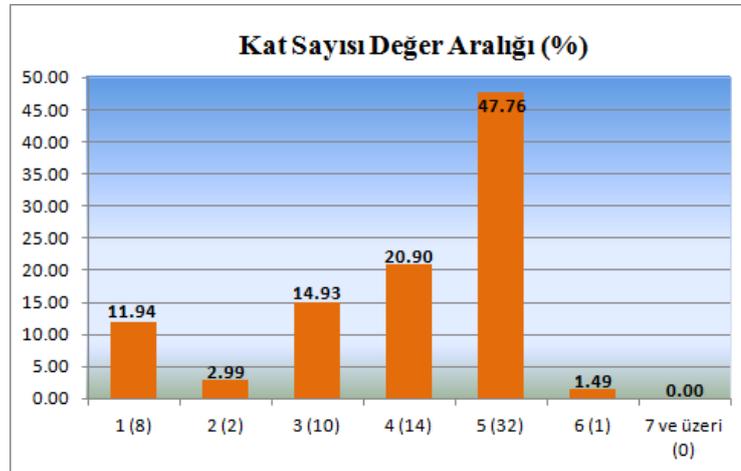
ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 67'şer verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.56'daki gibidir.



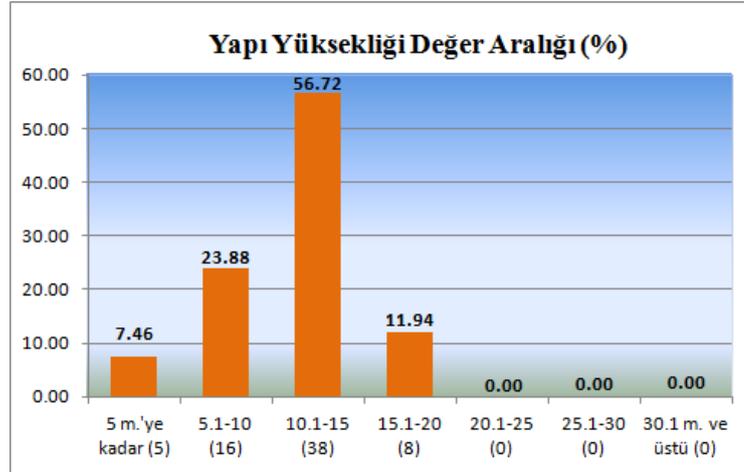
4.56.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



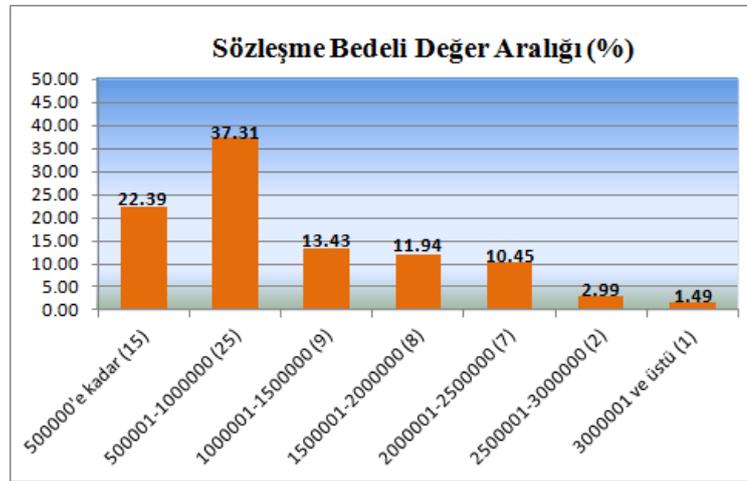
4.56.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.56.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.56.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

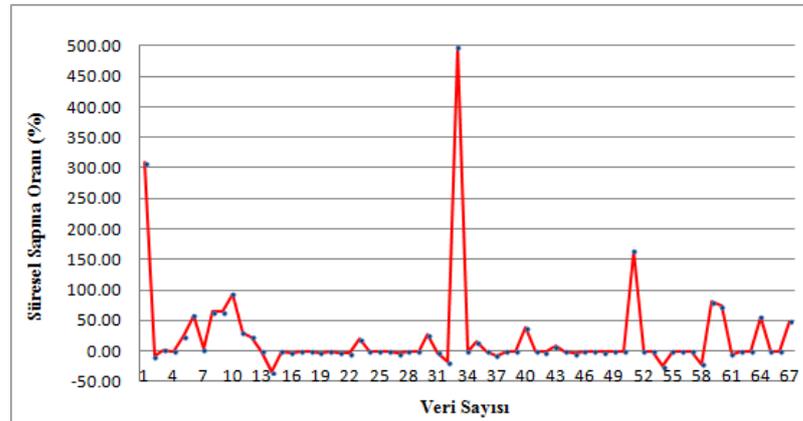


4.56.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.56. Ankara için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.56'da yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %26,87'sinin öngörülen proje süresi 301 gün ve üzerinde, %59,70'inin toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %47,76'sı beş katlı, %56,72'sinin yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %37,31'inin sözleşme bedeli 500.001-1.000.000 TL aralığındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.57'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.57. Ankara için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-34,45 ile %497,33 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %23,24 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Ankara’da yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapmanın yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirde, gerçekleşen proje süreleri ile öngörülen proje süreleri arasında büyük farklılıkların olduğu söylenebilir.

Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.37’de verilmiştir.

Tablo 4.37. Ankara için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	47,30	-0,0756	-	-	-	-
2	73,92	-0,0087	-0,0133	-	-	-
3	119,86	0,0112	-0,0063	-19,45	-	-
4	142,33	0,0334	-0,0058	-4,31	-7,54	-
5	146,08	0,0758	-0,0057	-3,58	-7,35	-0,000024

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.37’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.38’de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.38’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.38. Ankara için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.38.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	81,59	36,59	0,1141	33,90	19,20	0,3668
2	79,14	30,95	0,2720	38,21	22,00	0,1950
3	81,54	40,72	0,1190	37,40	27,27	0,2620
4	78,29	33,83	0,2510	36,12	27,12	0,2950
5	76,53	33,43	0,2610	38,78	27,57	0,1790

4.38.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	37,24	27,31	0,0940	36,82	21,65	0,2460
2	33,17	26,12	0,0560	36,19	26,25	0,2880
3	37,53	26,75	0,0969	33,95	23,33	0,3810
4	40,58	31,67	0,1290	38,41	24,48	0,2030
5	40,31	32,88	0,1260	37,84	24,98	0,2170

4.38.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	83,37	37,95	0,0750	38,72	24,59	0,1660
2	81,10	41,84	0,1250	38,89	25,69	0,2070
3	76,10	39,58	0,2290	41,74	34,09	0,2400
4	68,23	36,86	0,3800	68,83	48,53	0,1050
5	222,62	220,29	0,0000	218,75	214,63	0,0000

4.38.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	80,85	39,10	0,1320	34,19	25,67	0,3740
2	68,74	31,18	0,3730	54,02	32,19	0,0940
3	90,61	30,41	NaN	45,50	21,64	NaN
4	7,73	3,17	0,9930	105,19	44,64	0,0250
5	71,96	32,04	0,3140	44,99	30,25	0,2340

4.38.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	85,03	42,51	0,0379	41,07	33,60	0,1054
2	81,83	43,81	0,1089	41,42	30,39	0,1547
3	78,92	39,52	0,1711	39,99	30,08	0,2194
4	77,49	41,56	0,2008	43,12	34,07	0,2114
5	76,81	40,93	0,2148	51,89	41,71	0,1695

Tablo 4.39. Ankara için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	81,59	36,59	0,1141	33,90	19,20	0,3668
RBF	37,53	26,75	0,0969	33,95	23,33	0,3810
GPA	83,37	37,95	0,0750	38,72	24,59	0,1660
SCA	80,85	39,10	0,1320	34,19	25,67	0,3740
MLR	78,92	39,52	0,1711	39,99	30,08	0,2194

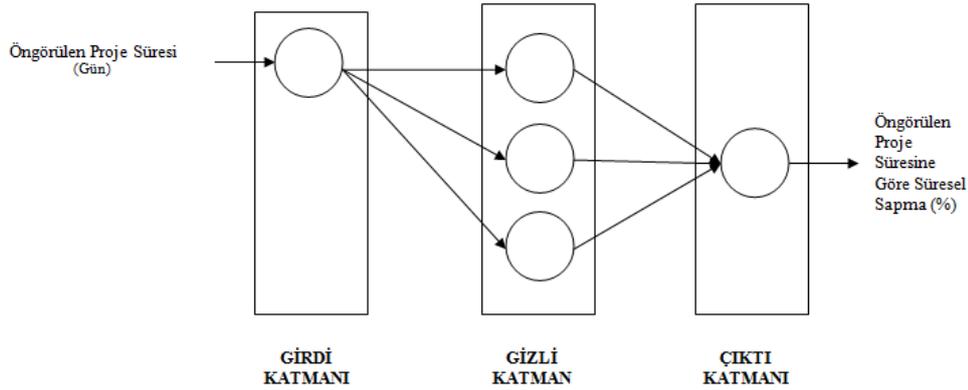
Tablo 4.39'da yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri de MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:3, iterasyon sayısı:15 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 1-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için üçüncü kombinezondan elde edilen optimum sonuçta da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. RBF yöntemi için, bütün kombinezonların optimum sonuçlarında ara tabaka hücre sayısı ve dağılma parametresi küçük değerler ile elde edilmiş olup, bu yöntem için ara tabaka hücre

sayısının ve dağılıma parametresinin artırılmalarının RBF modellemesine bir fayda sağlamadığı söylenebilir. GPA yönteminden optimum sonuç; MLP yöntemindeki gibi birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için beşinci ve son kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olmuştur. GPA yönteminde, bütün kombinezonların optimum sonuçlarının 1 iterasyon sayısı ile elde edilmiş olması, iterasyon sayısının artırılmasının GPA modellemesine etkisinin olmadığını göstermektedir. SCA yönteminden optimum sonuç; MLP ve GPA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise RBF yöntemindeki gibi üçüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren üçüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 119,86 + 0,0112.x_1 - 0,0063.x_2 - 19,45.x_3 \quad (4.34)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Ankara için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden büyük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizinin anlamsız olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} < F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın kabul edileceği anlamı taşımaktadır. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı ifade edilebilir. Optimum sonuçları veren ve birinci kombinezondan elde edilen MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



Şekil 4.58. Ankara için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (1-3-1)

Süresel sapma modeli için en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların birinci kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan öngörülen proje süresi (gün) verisinin tek başına kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye de birinci girdi konumunda bulunan öngörülen proje süresi sahiptir. Aynı değerlendirme, GPA ve SCA yöntemleri için de yapılabilir. RBF ve MLR yöntemlerinde ise; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²) ve kat sayısı verilerinin birlikte kullanımından daha yüksek performans elde edilmiştir. Analizin test aşamasında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-24,69, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %164,44 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=33,90 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{33,90}{-24,69} \right) \times 100 = \% -137,30 \quad (4.35)$$

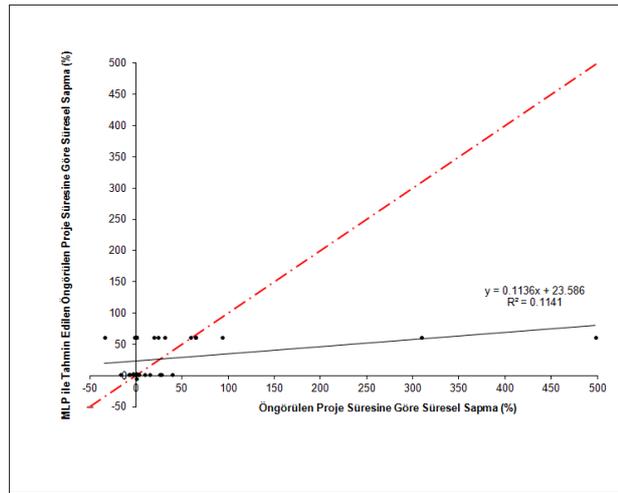
$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{33,90}{0,00} \right) \times 100 = \infty \quad (4.36)$$

$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{33,90}{164,44} \right) \times 100 = \%20,62 \quad (4.37)$$

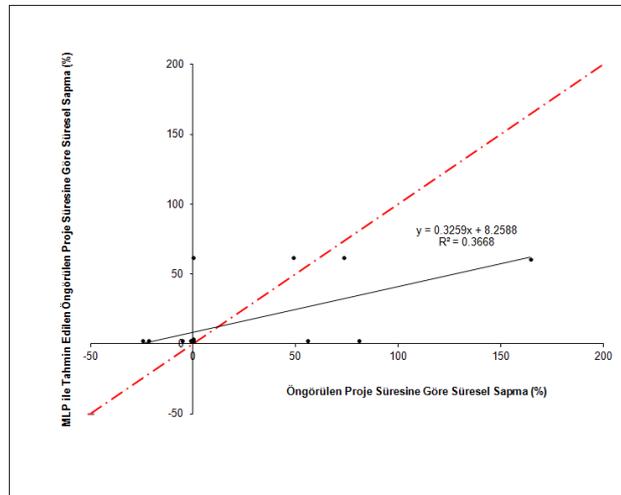
Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=19,20 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre

sırasıyla; % -77,76 ve %11,68 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,3668 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %36,68 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,3668 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen; öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanmış olan süresel sapma değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.59'da ve Şekil 4.60'da verilmiştir.



Şekil 4.59. Ankara için optimum MLP modelinin eğitim aşamasındaki saçılma diyagramı.

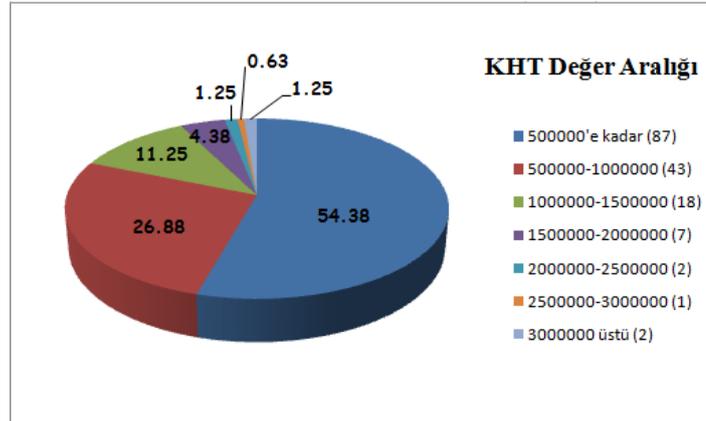


Şekil 4.60. Ankara için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.59’da, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 45 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.60’da ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 22 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgisinin yatay eksene yakın seyrettiği ve verilerin eğilim çizgisinin etrafında dağınık bir saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirinden uzak değerlere sahip oldukları ve modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Modellemenin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.1.4. Gaziantep’ten Elde Edilen Bulgular

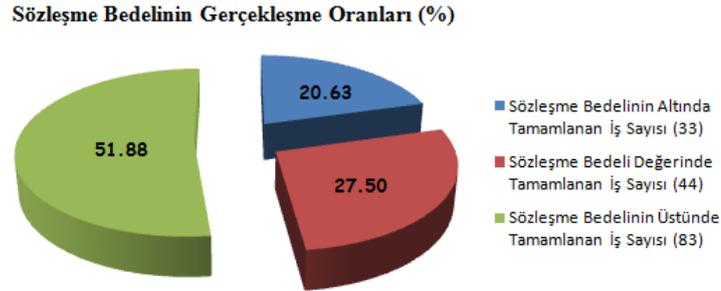
Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nün arşiv kayıtları incelenerek, 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 185 kamu yapım işinin 160’ının kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.61’de verilmiştir.



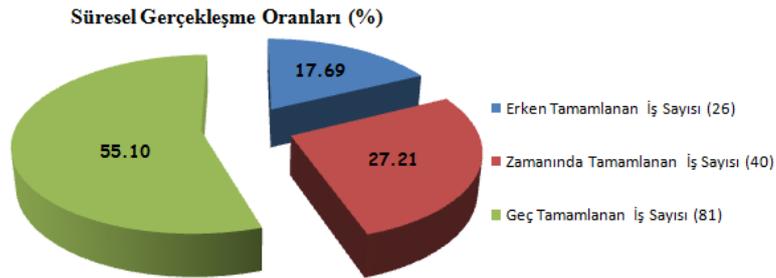
Şekil 4.61. Gaziantep’teki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %54,38’i 500.000 TL’nin altındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 31.000 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 22.560.000 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 802.669 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Gaziantep’te yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının düşük olduğu ve kamu yapım işi hacminin dar

olduğu söylenebilir. Gaziantep'te tamamlanan 160 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.62'de, 147 yapım işinin süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.63'de gösterilmiştir.



Şekil 4.62. Gaziantep'teki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)



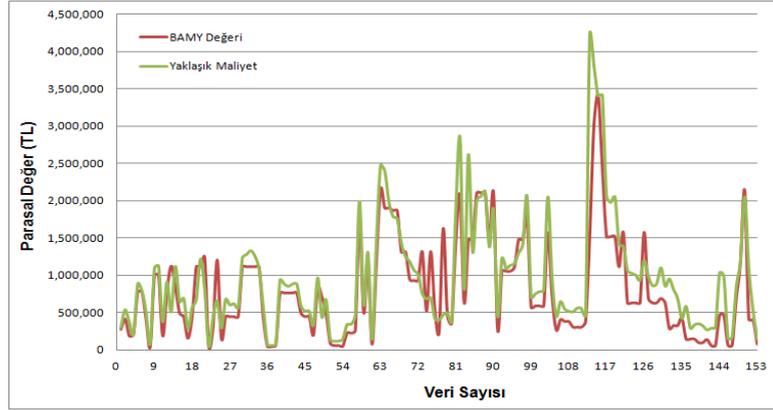
Şekil 4.63. Gaziantep'teki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

Gaziantep'te, yapım işlerinin %51,88'i, yani yarısından fazlası, sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, %27,50'si sözleşme bedeli değerinde ve %20,63'ü sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı ile tamamlanmıştır. Bununla birlikte, yapım işlerinin %55,10'u öngörülen proje süresinden daha geç, %27,21'i zamanında ve %17,69'u öngörülen proje süresinden daha erken tamamlanmıştır.

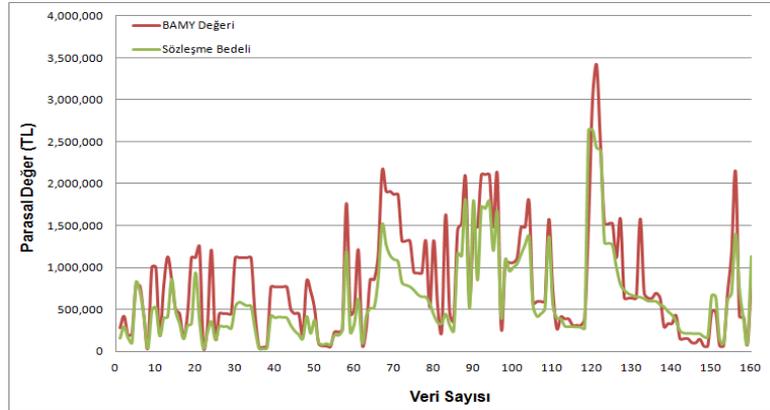
Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

Arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 153 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.64'de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli

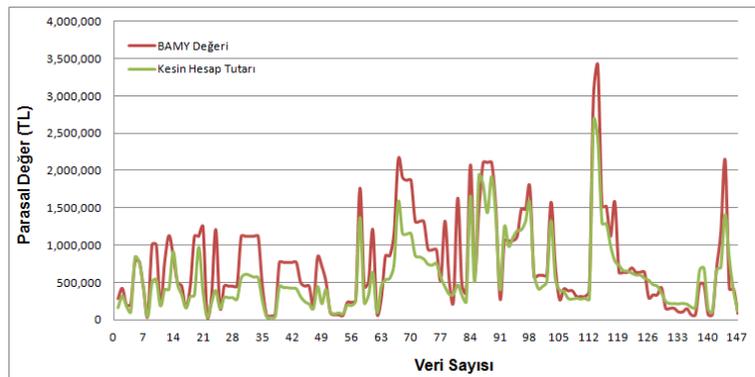
değerleri temin edilmiş olan 160 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.65’de verilmiştir. 147 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.66’da verilmiştir.



Şekil 4.64. Gaziantep için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.

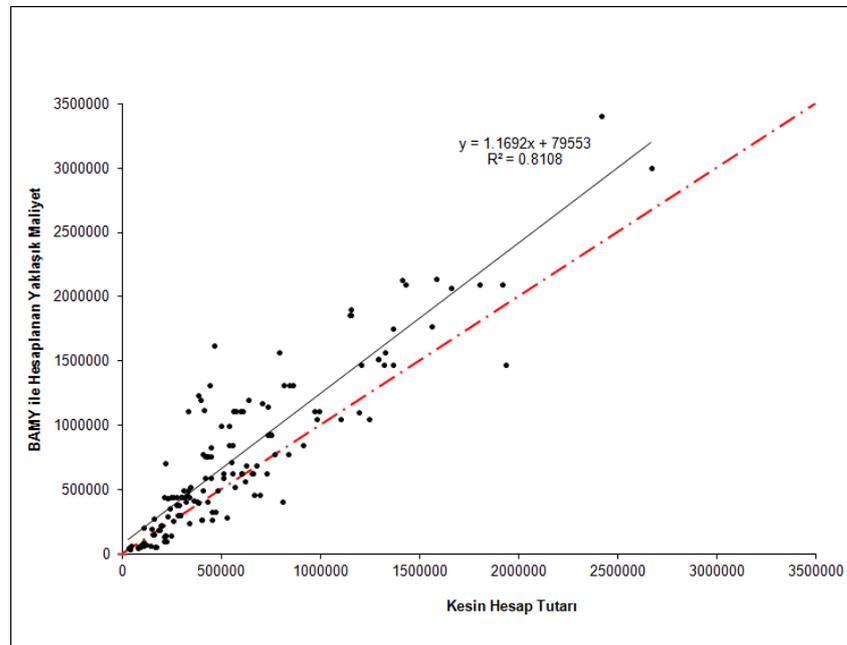


Şekil 4.65. Gaziantep için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.66. Gaziantep için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her bir şekilde; kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.66, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin neredeyse tamamının kesin hesap tutarlarına göre daha büyük olduğunu göstermektedir. Şekil 4.66'nın anlam düzeyini artırabilmek adına, 147 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.67'de verilmiştir.



Şekil 4.67. Gaziantep için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.67'de görülen doğrusal $y=1.1692x+79553$ denklemi, eğilim çizgisinin y eksenine doğru kaydığını göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,8108>0,80$ sonucu, iki değişken arasındaki korelasyonun güçlü olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.67'de verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.40'da verilmiştir.

Tablo 4.40. Gaziantep için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2003	13	7.465.530,50	4.871.734,00	53,24
2004	36	23.456.982,50	12.783.062,00	83,50
2005	16	7.739.147,00	5.588.296,00	38,49
2006	18	21.837.402,50	13.219.012,00	65,20
2007	29	29.001.990,50	25.926.922,00	11,86
2008	29	20.574.621,50	18.904.694,00	8,83
2009	2	1.887.598,00	1.378.692,00	36,91
2010	1	2.239.470,00	1.408.726,00	58,97
2011	3	899.929,50	1.304.869,00	-31,03
TOPLAM	147	115.102.672,00	85.386.007,00	34,80

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %34,80'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak; 2011 yılına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre %31,03'lük sapma oranıyla daha düşük hesaplanmıştır. Yıl bazında sapma oranının 2004 yılında %83,50'ye ulaştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan; tatminkâr R^2 değeri elde edilmiş olsa da, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin gerçeği yansıtmadığı söylenebilir. Bu nedenle, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarını tahmin edebilmek için öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

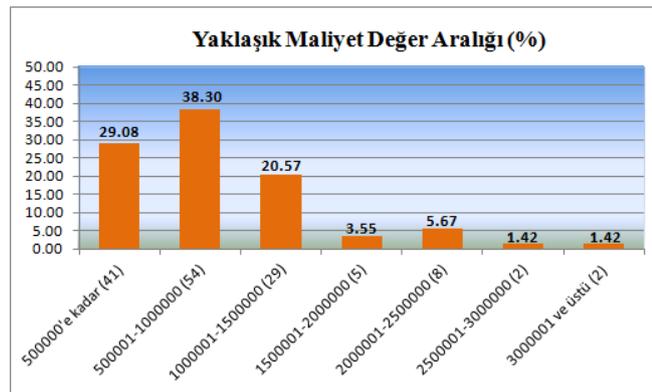
Gaziantep için maliyet modelinde kullanılan toplam 141 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.41'de verilmiştir.

Tablo 4.41. Gaziantep için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

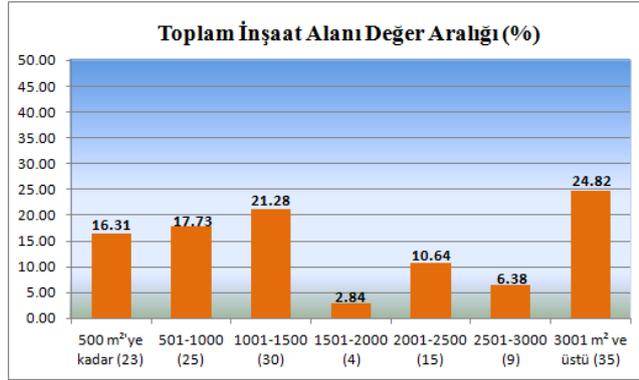
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	42163,00	136,00	1,00	3,20	31000,00
Maks. Değer	3.807.421,00	7500,00	6,00	19,20	2.638.000,00
Aritmetik Ortalama	889.327,28	1940,57	2,94	9,80	570.677,40
Standart Sapma	657.810,25	1485,44	1,20	3,73	472.319,67
Değişim Katsayısı (%)	73,97	76,55	40,77	38,07	82,76

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 42163-3.807.421 TL aralığında, toplam inşaat alanı 136-7500 m² aralığında, kat sayısı 1-6 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-19,20 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 31000-2.638.000 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bütün parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan veriler sözleşme bedeli verileri, dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu verilerse yapı yüksekliği verileridir.

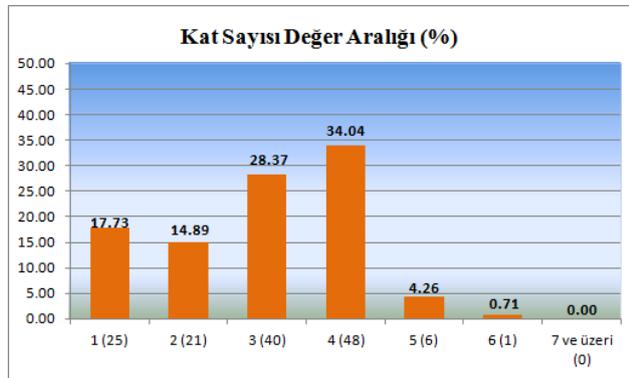
Maliyet modeli için; Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 141 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 106 tanesi (%75) eğitime aşaması için, 2008-2011 yılları arasına ait 35 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 141'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.68'de verilmiştir.



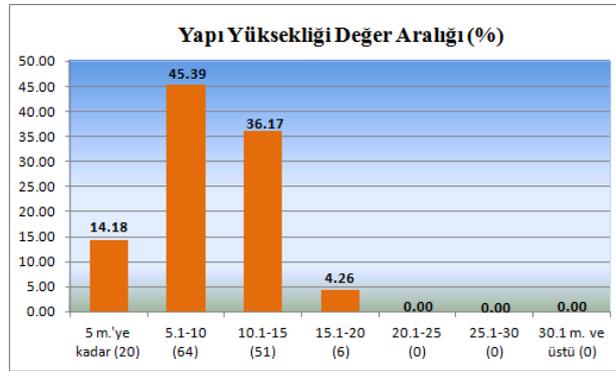
4.68.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



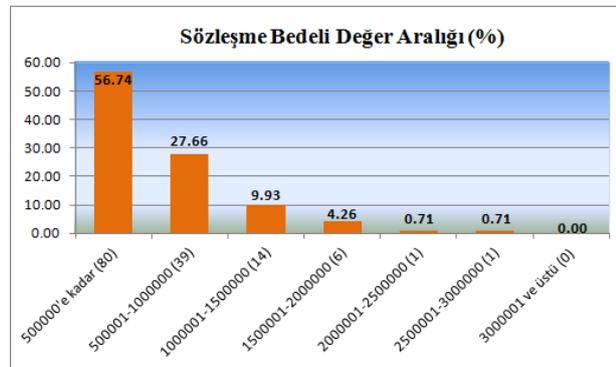
4.68.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.68.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.68.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.68.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.68. Gaziantep için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.68’de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %38,30’unun yaklaşık maliyeti 500.001-1.000.000 TL aralığında, %24,82’sinin toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %34,04’ü dört katlı, %45,39’unun yüksekliği 5,1-10 m. arasında ve %56,74’ünün sözleşme bedeli 500.000 TL’nin altındadır.

Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.42’de verilmiştir.

Tablo 4.42. Gaziantep için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	-48245	0,712	-	-	-	-
2	-44942	0,738	-12,28	-	-	-
3	4345	0,735	3,73	-25981	-	-
4	-2504	0,731	3,56	-40016	5240	-
5	-7333	-0,049	11,35	-13361	5025	1,06

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.42’de verilen kesişim sabitleri ve katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R² değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.43’de verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.43’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.44’de verilmiştir.

Tablo 4.43. Gaziantep için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.43.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	209550,00	147730,00	0,7930	68928,00	56380,00	0,9860
2	159750,00	115680,00	0,8730	124790,00	74579,00	0,9600
3	214750,00	160530,00	0,7840	178060,00	147030,00	0,9170
4	302810,00	221300,00	0,8000	182200,00	136440,00	0,9240
5	40491,00	19946,00	0,9919	44977,00	32062,00	0,9939

4.43.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	700840,00	563050,00	0,8680	65220,00	51914,00	0,9880
2	700930,00	562890,00	0,8690	67295,00	52375,00	0,9860
3	701140,00	562850,00	0,8700	67058,00	51094,00	0,9860
4	700930,00	562850,00	0,8680	62763,00	47659,00	0,9890
5	718060,00	562850,00	0,9895	58986,00	42431,00	0,9908

4.43.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	164980,00	124280,00	0,8671	61680,00	45455,00	0,9888
2	163120,00	118710,00	0,8680	145280,00	77276,00	0,9500
3	160130,00	117550,00	0,8720	120090,00	74889,00	0,9620
4	150800,00	109960,00	0,8870	566290,00	241230,00	0,1890
5	36359,00	17444,00	0,9930	86761,00	56519,00	0,9800

4.43.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	165731,95	128752,00	0,8684	62281,17	45538,70	0,9894
2	160858,00	113933,00	0,8710	74616,71	55513,10	0,9880
3	719529,86	562852,00	NaN	871121,25	657057,00	NaN
4	442041,61	280030,00	0,4370	5503459,03	1451870,00	0,1470
5	3734966,25	2285500,00	0,0450	1500178,65	955120,00	0,0700

4.43.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	163402,07	120218,00	0,8671	64696,34	50577,79	0,9883
2	163217,50	119910,62	0,8674	65734,83	50384,20	0,9880
3	162042,88	116699,73	0,8693	68269,13	49928,72	0,9870
4	161935,29	117102,06	0,8695	69753,60	51047,56	0,9861
5	52786,08	25996,95	0,9861	26343,68	18232,64	0,9983

Tablo 4.44. Gaziantep için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	40491,00	19946,00	0,9919	44977,00	32062,00	0,9939
RBF	718060,00	562850,00	0,9895	58986,00	42431,00	0,9908
GPA	164980,00	124280,00	0,8671	61680,00	45455,00	0,9888
SCA	165731,95	128752,00	0,8684	62281,17	45538,70	0,9894
MLR	52786,08	25996,95	0,9861	26343,68	18232,64	0,9983

Tablo 4.44'de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLR yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:10, iterasyon sayısı:13 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-10-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için birinci ve dördüncü kombinezonların optimum sonuçlarında da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:9 ve dağılım parametresi:1,2 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-9-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için bütün kombinezonların optimum sonuçlarında giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf olup, optimum sonucun elde edildiği birinci kombinezon dışındaki diğer bütün kombinezonlarda çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da GPA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,35 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise MLP ve RBF yöntemlerindeki gibi beşinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -7333 - 0,049.x_1 + 11,35.x_2 - 13361.x_3 + 5025.x_4 + 1,06.x_5 \quad (4.38)$$

Şeklinde dir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Gaziantep için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.40 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bu yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.45'de verilmiştir.

Tablo 4.45. Gaziantep için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	147	115.102.672,00	85.386.007,00	34,80
MLP	141	82.434.645,16	82.659.298,00	-0,27
RBF	141	82.187.776,65	82.659.298,00	-0,57
GPA	141	85.142.861,12	82.659.298,00	3,00
SCA	141	86.281.461,93	82.659.298,00	4,38
MLR	141	82.619.043,63	82.659.298,00	-0,05

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %34,80'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; GPA'dan %3,00'lük sapma oranı ve SCA'dan %4,38'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmışken; MLP'den %0,27'lik sapma oranı, RBF'den %0,57'lik sapma oranı ve MLR'den %0,05'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışlardır. Bu durumda; bütün yöntemlerin BAMY'ye göre yüksek performanslar gösterdikleri, kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise MLR yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği söylenebilir. Maliyet modelinin test aşamasındaki optimum RMSE ve MAE

değerlerinin MLR yönteminden elde edilmiş olması da, bu öngörüyü doğrular niteliktedir.

Modellemede sırasıyla en iyi performansı gösteren; MLR, MLP ve RBF yöntemlerinde optimum sonuçların beşinci ve son kombinezonlardan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 103.950 TL, ortancanın 597.300 TL ve en büyüğünün 2.667.488 TL olduğu düşünüldüğünde, MLR yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=26343,68 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

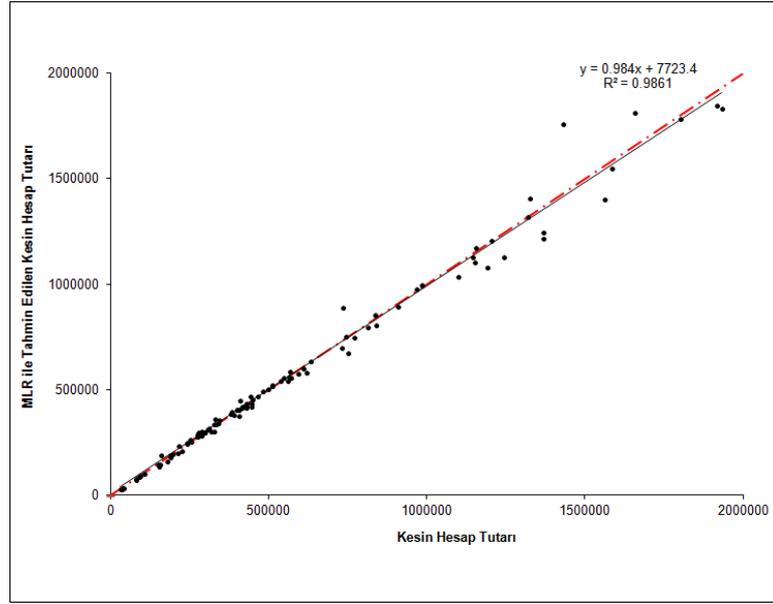
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{26.343,68}{103.950,00} \right) \times 100 = \%25,34 \quad (4.39)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{26.343,68}{597.300,00} \right) \times 100 = \%4,41 \quad (4.40)$$

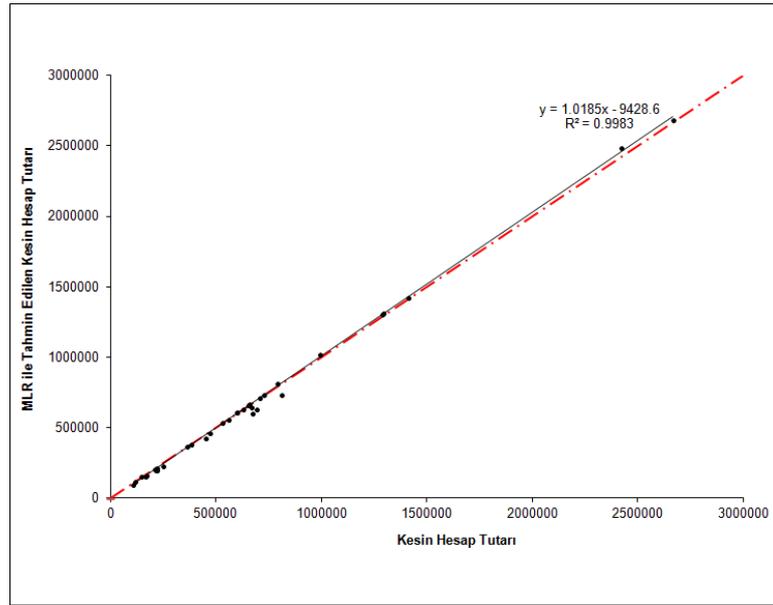
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{26.343,68}{2.667.488,00} \right) \times 100 = \%0,99 \quad (4.41)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLR yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=18232,64 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %17,54, %3,05 ve %0,68 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLR yönteminin test aşamasından elde edilen R² değeri de 0,9983 olup, bu değer, kesin hesap tutarlarının %99,83 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. R²>0,80 durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, R²=0,9983>0,80 sonucu, oldukça güçlü bir korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum MLR modellemesinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.69'da ve Şekil 4.70'de verilmiştir.



Şekil 4.69. Gaziantep için optimum MLR modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.70. Gaziantep için optimum MLR modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

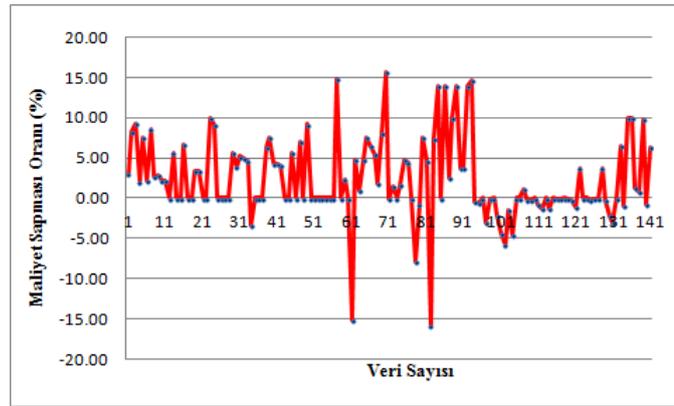
Şekil 4.69’da, MLR modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 106 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.70’de ise MLR modellemesinin test aşamasında kullanılan 35 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. $y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.69’da görülen doğrusal $y=0.984x+7723,4$ denklemi ile Şekil

4.70'de görülen doğrusal $y=1.0185x-9428,6$ denklemi, her iki şekil için de eğilim çizgisinin $y=x$ doğrusu üzerinde seyrettiğini göstermektedir. Bunun yanısıra, özellikle Şekil 4.70'te yer alan test verilerinin, eğilim çizgisinin etrafında toplu saçılıma sahip oldukları görülmektedir. MLR analizinin gerek eğitime aşaması gerek test aşaması gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın seyrettiği ve modellemenin başarılı olduğu söylenebilir. Ancak MLR yönteminin test aşamasındaki tahmin kapasitesinin, eğitime aşamasındaki tahmin kapasitesinden yüksek olduğu görülmektedir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime aşamasında R^2 değeri 0,9861 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9983 olarak hesaplanmıştır. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9861 > 0,80$ ve $R^2 = 0,9983 > 0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedirler [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 141 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.41'deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 141 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 106 tanesi (%75) eğitime aşaması için, 2008-2011 yılları arasına ait 35 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.68'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi verilerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.71'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.71. Gaziantep için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri %-15,86 ile %15,60 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %2,35 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Gaziantep'te yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehirde kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre küçük farklılıklara sahip olduğu söylenebilir. Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.46'da verilmiştir.

Tablo 4.46. Gaziantep için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	1,614	0,000002	-	-	-	-
2	0,915	-0,000001	0,00110	-	-	-
3	2,129	-0,000001	0,00153	-0,641	-	-
4	1,270	-0,000002	0,00143	-2,381	0,647	-
5	1,315	0,000003	0,00208	-2,482	0,715	-0,000005

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.46’da verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.47’de verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.47’de sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.48’de verilmiştir.

Tablo 4.47. Gaziantep için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.47.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	5,28	3,81	0,0490	3,38	2,84	0,0070
2	5,95	4,25	0,0210	3,40	2,16	0,0070
3	5,35	3,83	0,0040	3,34	2,67	0,0080
4	5,56	3,76	0,0570	3,61	2,17	0,0460
5	5,50	4,01	0,0140	3,26	2,40	0,0437

4.47.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	2,30	2,19	0,0190	3,74	3,43	0,0000
2	2,33	2,19	0,0250	3,66	3,27	0,0000
3	2,20	2,19	0,0020	3,63	3,31	0,0010
4	2,64	2,19	0,0830	3,58	3,06	0,0330
5	2,65	2,19	0,0849	3,52	3,04	0,0321

4.47.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	5,16	3,65	0,0290	3,90	3,59	0,0080
2	4,99	3,48	0,0920	3,90	3,28	0,0040
3	5,97	4,08	0,0000	3,54	1,89	NaN
4	5,97	4,08	0,0000	3,54	1,89	NaN
5	5,97	4,08	0,0000	3,54	1,89	NaN

4.47.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	4,98	3,60	0,0980	4,12	3,69	0,0030
2	5,35	3,74	0,0110	3,56	2,56	0,0060
3	5,91	3,98	NaN	3,49	1,88	NaN
4	4,53	2,88	0,2550	4,38	2,94	0,0120
5	72,96	42,44	0,0160	90,41	44,10	0,1860

4.47.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	5,16	3,65	0,0288	3,98	3,65	0,0071
2	5,09	3,46	0,0564	3,79	3,13	0,0270
3	5,07	3,50	0,0648	3,91	3,31	0,0199
4	5,03	3,45	0,0830	3,89	3,08	0,0416
5	4,96	3,45	0,1035	3,94	2,95	0,0374

Tablo 4.48. Gaziantep için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	5,50	4,01	0,0140	3,26	2,40	0,0437
RBF	2,65	2,19	0,0849	3,52	3,04	0,0321
GPA	5,97	4,08	0,0000	3,54	1,89	NaN
SCA	5,91	3,98	NaN	3,49	1,88	NaN
MLR	5,09	3,46	0,0564	3,79	3,13	0,0270

Tablo 4.48'de yer alan değerlere göre, eğitim aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden, test aşaması için minimum RMSE değeri MLP yönteminden ve minimum MAE değeri de SCA yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:1, iterasyon sayısı:3 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-1-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için diğer bütün kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:1 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. RBF yönteminin bütün kombinezonlarının optimum sonuçlarında dağılma parametresi değerinin 0,1 olması, dağılma parametresi değerinin artırılmasının RBF analizinin performansına bir etkisinin

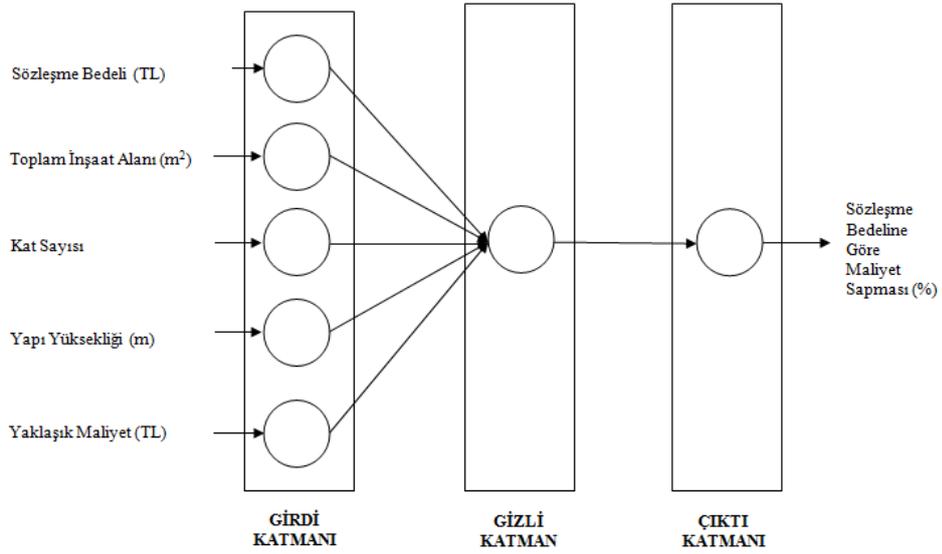
olmadığını göstermektedir. GPA yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için üçüncü, dördüncü ve beşinci kombinezonlardan aynı hata değerlerinin elde edilmiş olması, dördüncü girdi olan yapı yüksekliği ve beşinci girdi olan yaklaşık maliyetin GPA analizinin performansına olumlu etkilerinin olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, GPA için üçüncü, dördüncü ve beşinci kombinezonlarda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olmuştur. Ayrıca GPA yönteminin bütün kombinezonlarının optimum sonuçlarında iterasyon sayısının 1 olması, iterasyon sayısının artırılmasının modelleme performansına bir etkisinin olmadığını göstermektedir. SCA yönteminden optimum sonuç da GPA yöntemindeki gibi üçüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren ikinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 0,915 - 0,000001 \cdot x_1 + 0,00110 \cdot x_2 \quad (4.42)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Gaziantep için oluşturulan maliyet sapması modelinin ikinci ve beşinci kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük (ya da eşit) oldukları için, maliyet sapması modelinin ikinci ve beşinci kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin ikinci ve beşinci kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet sapması modelinin; birinci, üçüncü ve dördüncü kombinezonları içinse yapılan analizlerin anlamsız olduğu söylenebilir. Zaten maliyet sapması modeli için optimum

sonuçlar da RBF analizinin beşinci kombinezonundan elde edilmiştir. Optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.72’de gösterilmiştir.



Şekil 4.72. Gaziantep için maliyet sapması modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (5-1-1)

Modellemenin eğitme ve test aşamalarında en yüksek performansları gösteren RBF ve MLP yöntemleri için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezonlardan elde edilmesi, modellemelerde girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan yaklaşık maliyet sahiptir. Analizin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün % -2,98, ortancanın % -0,04 ve en büyüğünün % 10,00 olduğu düşünüldüğünde, RBF yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=3,52 değer; dikkate alınan en kk değere göre, ortanca değerine göre ve en büyük değerine göre sırasıyla;

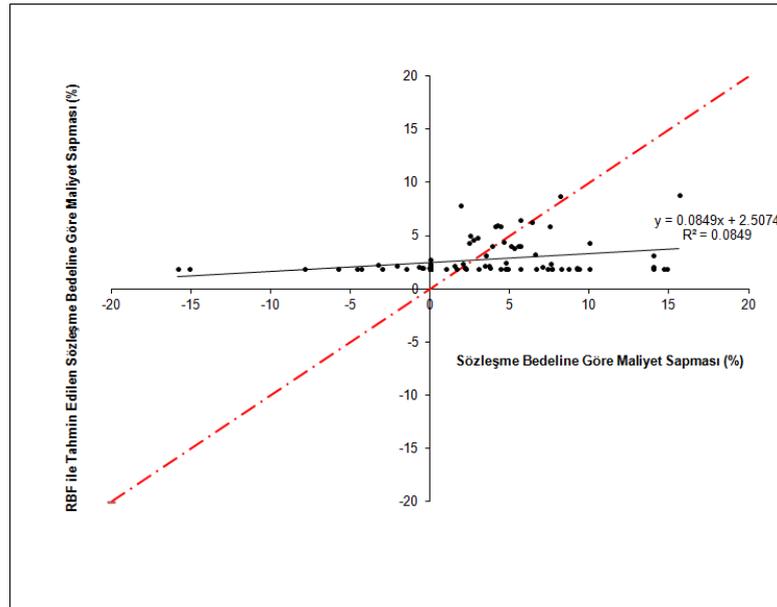
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{3,52}{-2,98} \right) \times 100 = \% -118,12 \quad (4.43)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{3,52}{-0,04} \right) \times 100 = \% -8800,00 \quad (4.44)$$

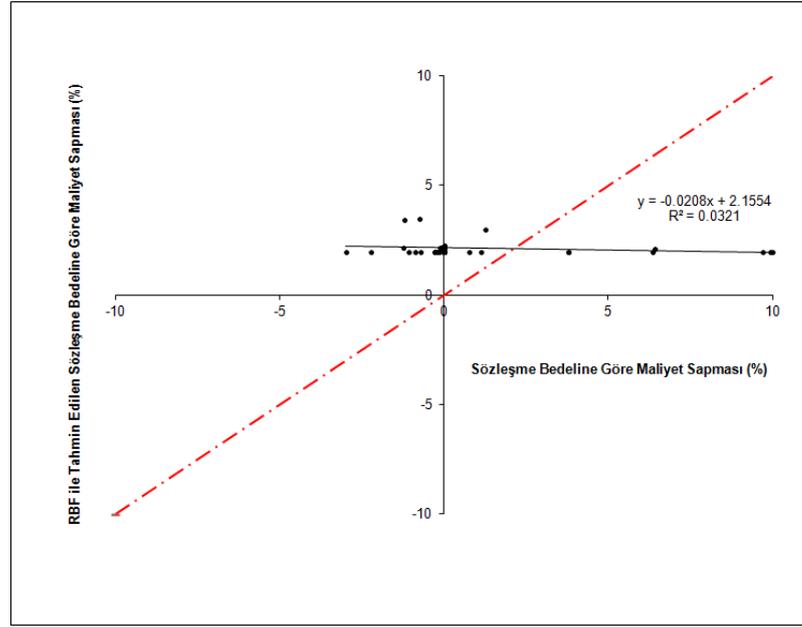
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{3,52}{10,00} \right) \times 100 = \%35,20 \quad (4.45)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=3,04 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-102,01, %-7600,00 ve %30,40 sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,0321 olup, bu değer, modelmeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin %3,21 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,0321 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ve optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.73’de ve Şekil 4.74’de verilmiştir.



Şekil 4.73. Gaziantep için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.74. Gaziantep için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.73’de, RBF modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 106 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.74’de ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan 35 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, verilerin eğilim çizgisinin etrafında dağınık bir saçılma sahip oldukları ve eğilim çizgisinin $y=x$ doğrusuna yakın olmaktan ziyade yatay x eksenine paralel seyrettiği görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirinden uzak ve modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. RBF analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

Süresel Sapma Modeli

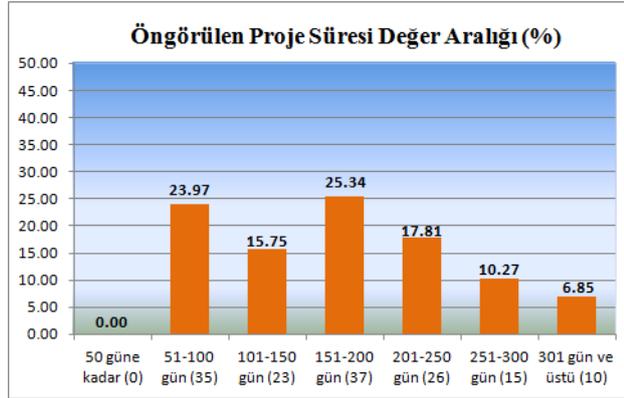
Gaziantep için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 67 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.49’da verilmiştir.

Tablo 4.49. Gaziantep için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

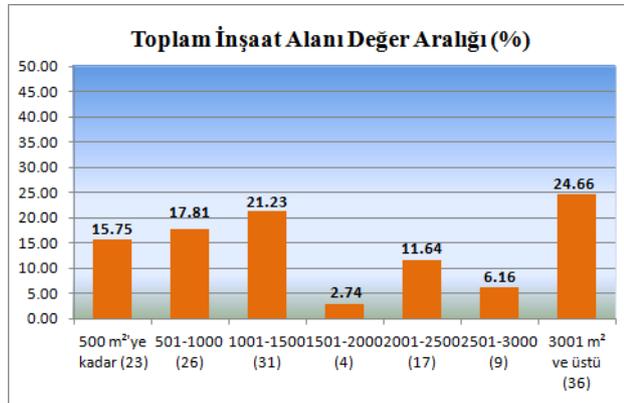
Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	59,00	136,00	1,00	3,20	31000,00
Maks. Değer	750,00	7500,00	6,00	19,20	2.638.000,00
Aritmetik Ortalama	181,50	1943,65	2,96	9,83	568.287,76
Standart Sapma	89,81	1470,53	1,19	3,73	465.631,77
Değişim Katsayısı (%)	49,48	75,66	40,26	37,90	81,94

Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 59-750 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 136-7500 m² aralığında, kat sayısı 1-6 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-19,20 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 31000-2.638.000 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettiği görülmektedir. Yani bütün parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verilerin sözleşme bedeli verileri, dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu verilerinse yapı yüksekliği verileri olduğu söylenebilir.

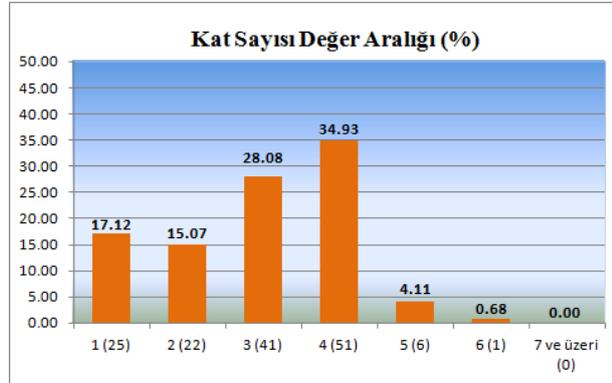
Süresel sapma modeli için; Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 146 verinin 2003-2007 yılları arasına ait 111 tanesi (%76) eğitim aşaması için, 2008-2011 yılları arasına ait 35 tanesi (%24) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 146'şar verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.75'deki gibidir.



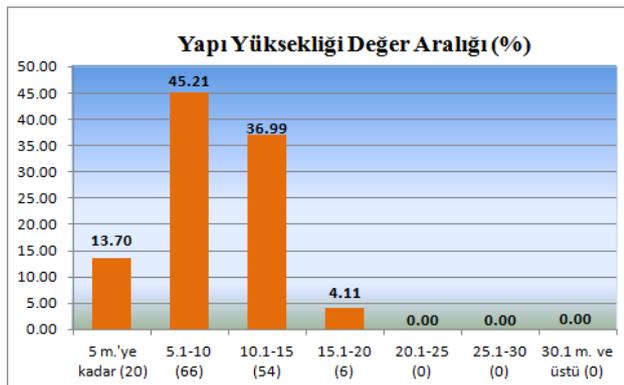
4.75.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



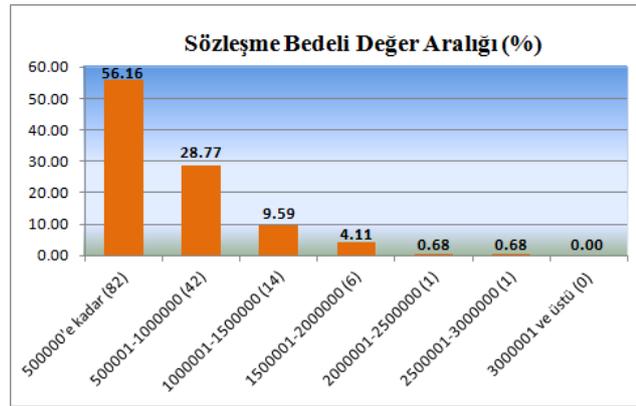
4.75.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.75.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.75.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

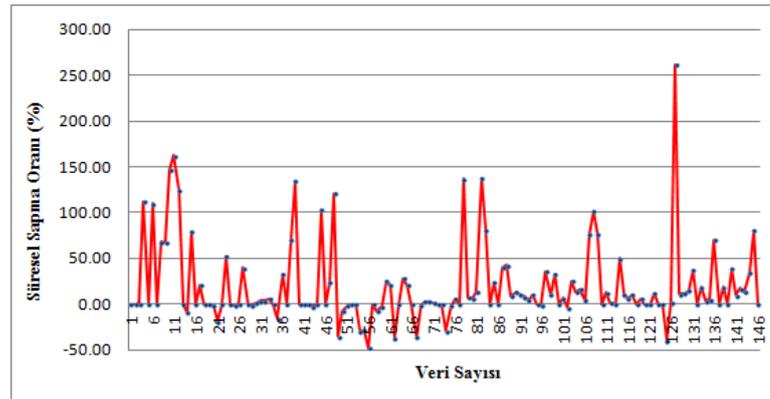


4.75.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.75. Gaziantep için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.75'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %25,34'ünün öngörülen proje süresi 151-200 gün arasında, %24,66'sının toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %34,93'ü dört katlı, %45,21'inin yüksekliği 5,1-10 m. arasında ve %56,16'sının sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.76'da yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.76. Gaziantep için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-47,64 ile %261,11 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %20,06 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Gaziantep'te yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine

göre süresel sapmanın yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirde, gerçekleşen proje süreleri ile öngörülen proje süreleri arasında büyük farklılıkların olduğu söylenebilir.

Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.50'de verilmiştir.

Tablo 4.50. Gaziantep için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x₁) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x₂) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x₃) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x₄) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x₅) Katsayı Parametresi (f)
1	49,74	-0,155	-	-	-	-
2	44,60	-0,208	0,00732	-	-	-
3	33,23	-0,223	0,00370	6,94	-	-
4	34,82	-0,224	0,00411	9,99	-1,13	-
5	35,37	-0,223	0,00779	8,38	-0,72	-0,000014

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.50'de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R² değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.51'de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.51'de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.52'de verilmiştir.

Tablo 4.51. Gaziantep için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.51.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	40,47	29,59	0,1020	45,08	25,64	0,0640
2	35,66	26,52	0,3540	44,70	26,90	0,0800
3	29,38	21,43	0,5240	44,12	28,91	0,1370
4	35,81	26,96	0,3120	43,60	28,52	0,1430
5	33,16	25,52	0,3892	42,94	25,37	0,1516

4.51.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	23,57	21,74	0,0950	45,39	27,03	0,0580
2	27,90	24,14	0,2190	44,70	29,14	0,0950
3	26,64	20,23	0,1808	43,52	25,15	0,1290
4	25,96	22,94	0,1610	45,51	28,71	0,0550
5	24,23	19,64	0,1130	45,03	23,73	0,0850

4.51.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	40,63	30,82	0,0830	45,46	26,54	0,0610
2	39,34	30,64	0,1400	45,54	28,45	0,0620
3	31,64	24,43	0,4440	47,59	29,80	0,0560
4	33,35	25,87	0,3820	48,39	30,37	0,0420
5	56,40	52,95	0,0000	59,49	50,82	0,0000

4.51.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	38,24	28,10	0,1880	46,73	31,15	0,0760
2	33,39	24,46	0,3820	47,76	30,30	0,0450
3	46,92	25,83	NaN	50,72	22,41	NaN
4	27,51	20,65	0,5840	44,29	26,97	0,1200
5	110,87	54,70	0,2750	96,79	47,57	0,0020

4.51.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	39,95	30,60	0,1130	45,47	27,62	0,0639
2	38,97	29,40	0,1563	46,08	28,08	0,0343
3	38,64	29,11	0,1703	46,22	27,87	0,0293
4	38,62	29,15	0,1713	46,13	27,73	0,0326
5	38,48	29,12	0,1774	46,08	26,46	0,0345

Tablo 4.52. Gaziantep için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

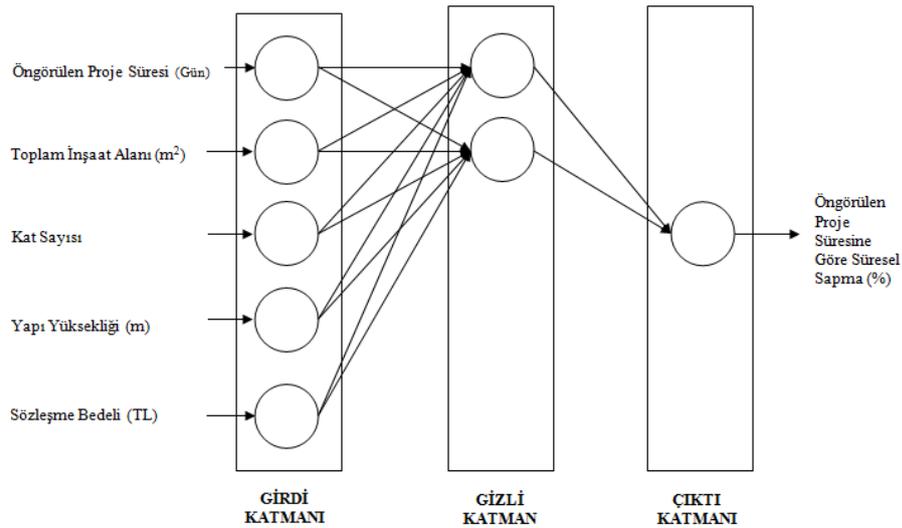
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	33,16	25,52	0,3892	42,94	25,37	0,1516
RBF	26,64	20,23	0,1808	43,52	25,15	0,1290
GPA	40,63	30,82	0,0830	45,46	26,54	0,0610
SCA	27,51	20,65	0,5840	44,29	26,97	0,1200
MLR	39,95	30,60	0,1130	45,47	27,62	0,0639

Tablo 4.52’de yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden, test aşaması için minimum RMSE değeri MLP yönteminden, minimum MAE değeri de RBF yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2, iterasyon sayısı:13 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için birinci ve dördüncü kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:5 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-5-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:gaussmf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için ikinci ve dördüncü kombinezonlarda da giriş üyelik fonksiyonu türü:gaussmf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,39 ve iterasyon sayısı:15 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da GPA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerine sahip olan birinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 49,74 - 0,155.x_1 \quad (4.46)$$

Şeklinde dir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Gaziantep için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.77'de gösterilmiştir.



Şekil 4.77. Gaziantep için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-2-1)

Süresel sapma modeli için en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. MLP yöntemine yakın bir performans gösteren RBF yönteminde ise; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²) ve kat sayısı verilerinin birlikte kullanımı daha yüksek

performans göstermiş olup, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin kullanımının, RBF analizinin performansına etkisi olumsuz olmuştur. Analizin test aşamasında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-39,64, ortancanın %9,58 ve en büyüğünün %261,11 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=42,94 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

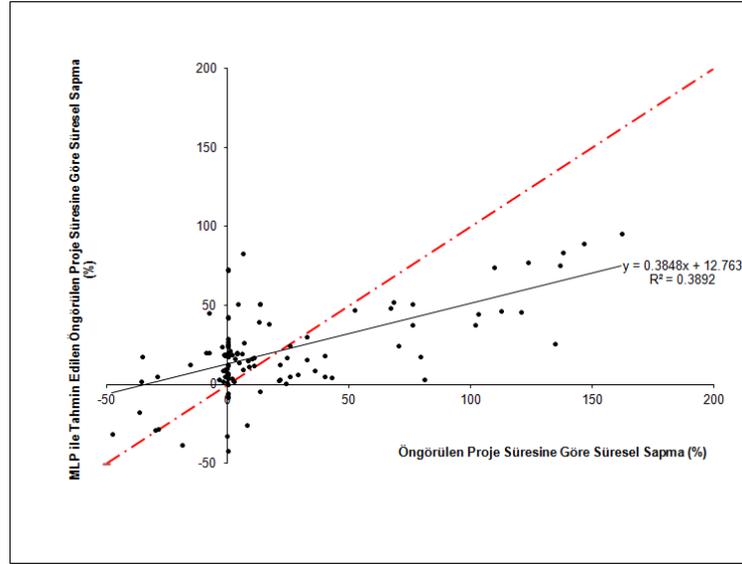
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{42,94}{-39,64} \right) \times 100 = \% -108,32 \quad (4.47)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{42,94}{9,58} \right) \times 100 = \%448,23 \quad (4.48)$$

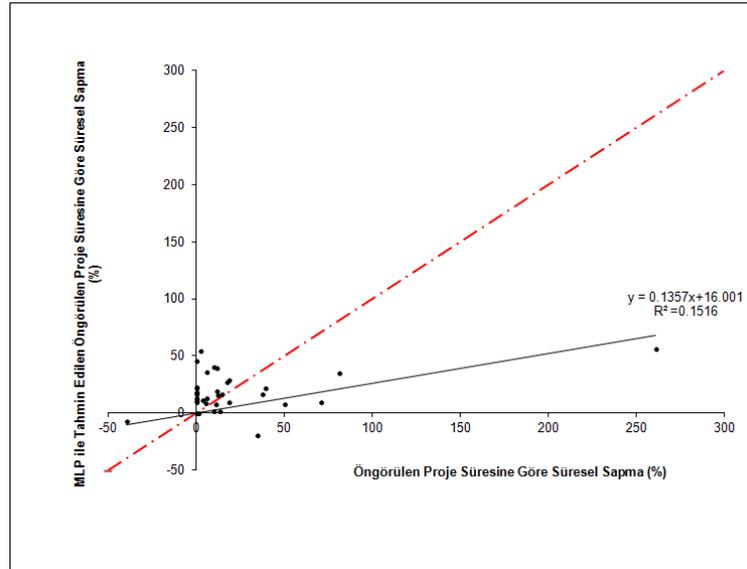
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{42,94}{261,11} \right) \times 100 = \%16,45 \quad (4.49)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=25,37 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-64,00, %264,82 ve %9,72 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,1516 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %15,16 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,1516 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen; öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanmış olan süresel sapma değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.78'de ve Şekil 4.79'da verilmiştir.



Şekil 4.78. Gaziantep için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



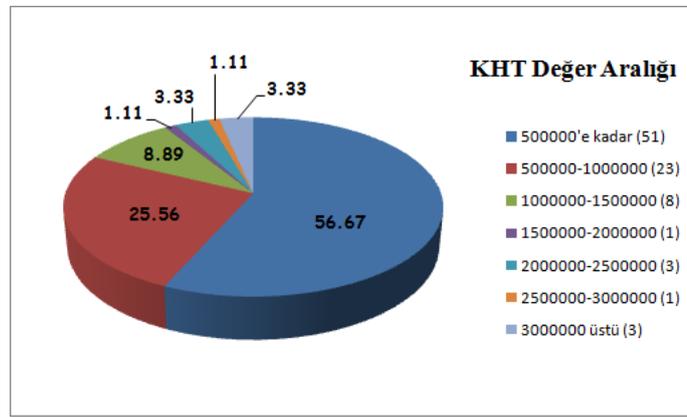
Şekil 4.79. Gaziantep için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.78’de, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 111 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.79’da ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 35 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgisinin $y=x$ doğrusundan ziyade yatay x eksenine yakın seyrettiği ve verilerin eğilim çizgilerinin etrafında dağınık saçılma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin

birbirine uzak seyrettiği ve modellemenin başarısız oldukları söylenebilir. MLP analizinin eğitim ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.1.5. Malatya'dan Elde Edilen Bulgular

Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün arşiv kayıtları incelenerek, 2005-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 98 kamu yapım işinin 90'ının kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.80'de verilmiştir.

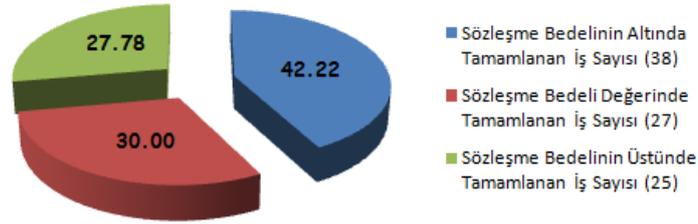


Şekil 4.80. Malatya'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %56,67'si 500.000 TL'nin altındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 35169 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 15.032.149 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 813.837 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Malatya'da yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının düşük ve kamu yapım işi hacminin dar olduğu söylenebilir.

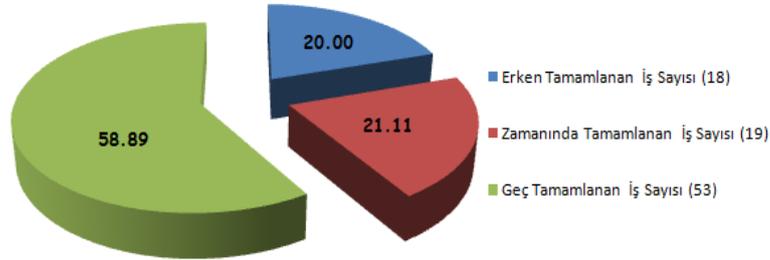
Malatya'da tamamlanan 90 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.81'de, süresel gerçekleşme oranları ise Şekil 4.82'de gösterilmiştir.

Sözleşme Bedelinin Gerçekleşme Oranları (%)



Şekil 4.81. Malatya'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)

Süresel Gerçekleşme Oranları (%)

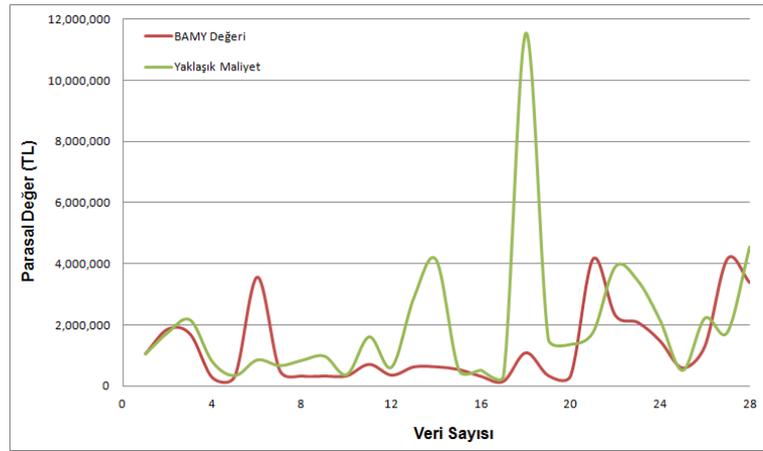


Şekil 4.82. Malatya'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

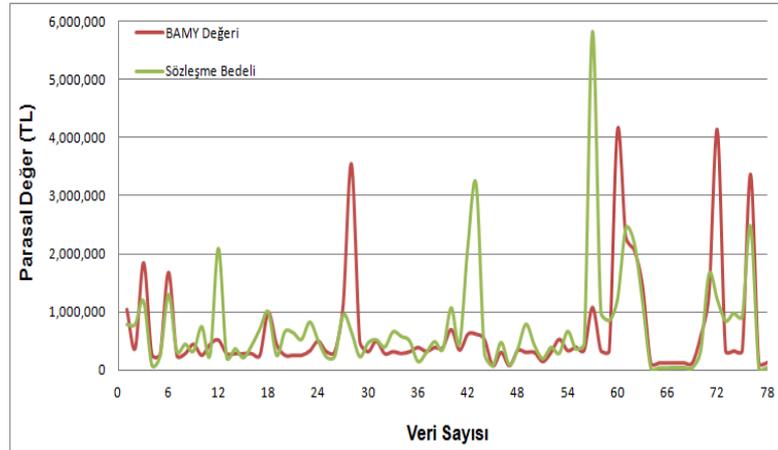
Malatya'da, yapım işlerinin %42,22'si, sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, %27,78'i sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile ve %30,00'u sözleşme bedeli değerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmıştır. Bununla birlikte, yapım işlerinin %58,89'u öngörülen proje süresinden daha geç tamamlanmışken, %20,00'si öngörülen proje süresinden daha erken ve %21,11'i zamanında tamamlanmıştır.

Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

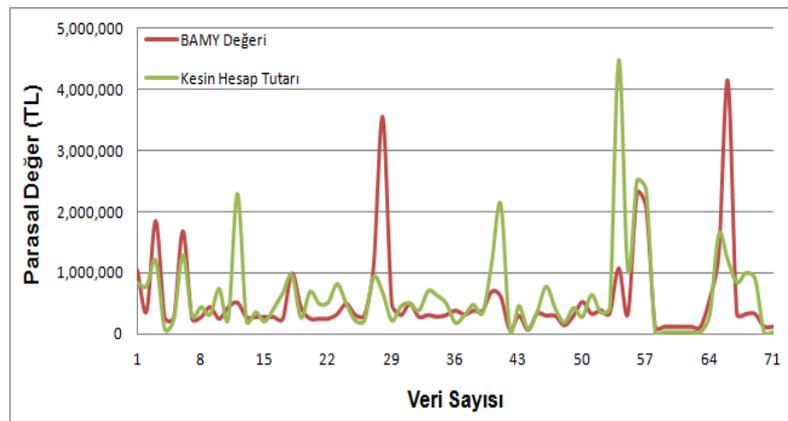
Arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 28 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.83'de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli değerleri temin edilmiş olan 78 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.84'de verilmiştir. 71 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.85'de verilmiştir.



Şekil 4.83. Malatya için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.



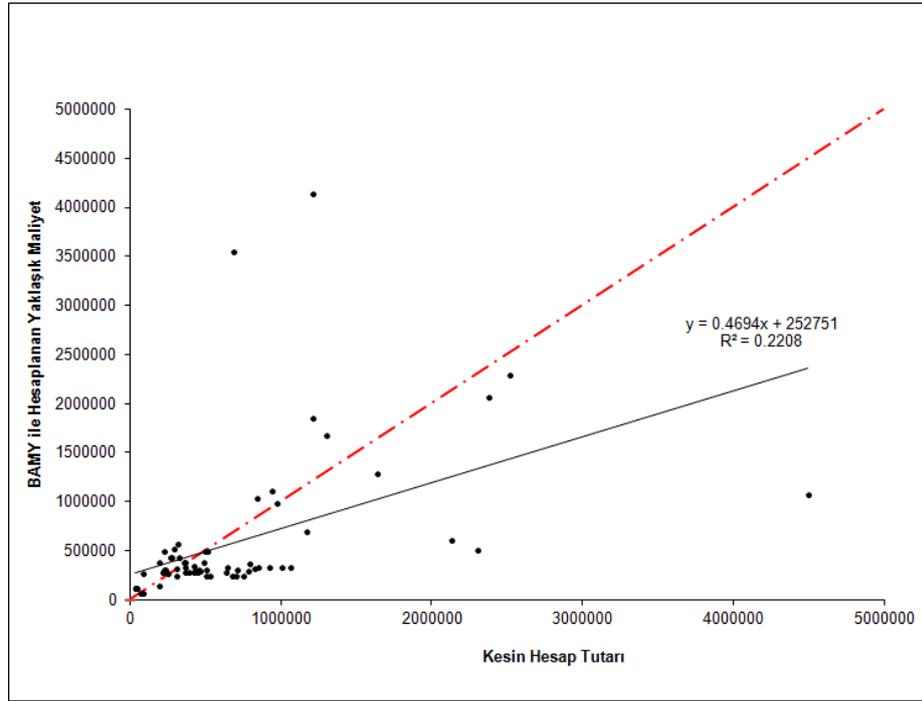
Şekil 4.84. Malatya için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.85. Malatya için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her bir şekil için, kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.85,

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin kesin hesap tutarlarına göre büyük farklılıklara sahip olduklarını göstermektedir. Şekil 4.85'in anlam düzeyini artırabilmek adına, 71 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.86'da verilmiştir.



Şekil 4.86. Malatya için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.86'da görülen doğrusal $y=0.4694x+252751$ denklemi, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığını göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünülürse, $R^2=0,2208<0,80$ sonucu, kesin hesap tutarı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyet arasındaki korelasyonun zayıf olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.86'de verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.53'de verilmiştir.

Tablo 4.53. Malatya için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2005	5	3.798.579,00	3.174.087,00	19,67
2006	18	7.732.104,00	11.357.716,00	-31,92
2007	16	9.735.923,00	7.333.936,00	32,75
2008	15	5.789.007,00	12.321.049,00	-53,02
2009	15	12.411.746,00	12.111.097,00	2,48
2010	2	245.504,00	73.969,00	231,90
TOPLAM	71	39.712.863,00	46.371.854,00	-14,36

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %14,36'lık sapma oranı ile daha düşük hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak; 2005, 2007, 2009 ve 2010 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %19,67, %32,75, %2,48 ve %231,90 oranlarında daha yüksek hesaplanmışlardır. Yıl bazında sapma oranının 2010 yılında %231,90'a ulaştığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlardan, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin gerçeği yansıtmadığı söylenebilir. Bu nedenle, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarını tahmin edebilmek için öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

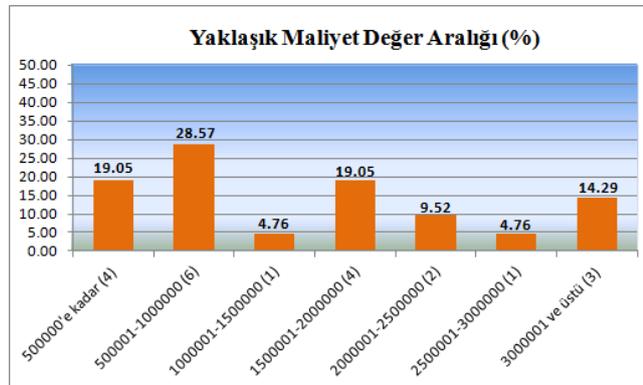
Malatya için maliyet modelinde kullanılan toplam 21 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.54'de verilmiştir.

Tablo 4.54. Malatya için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

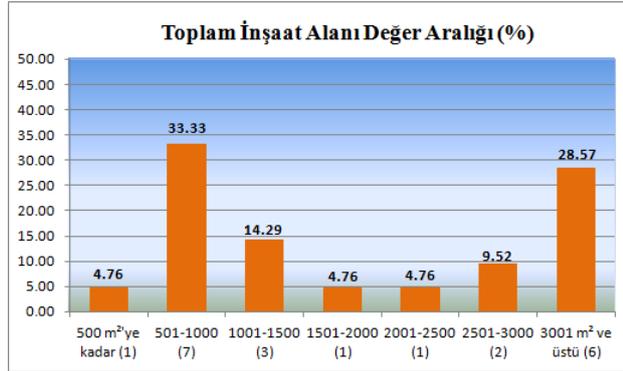
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	314.128,00	315,00	1,00	3,20	195.000,00
Maks. Değer	11.533.758,00	8316,00	5,00	16,80	5.829.924,00
Aritmetik Ortalama	1.893.033,33	2551,43	3,62	11,43	1.189.198,57
Standart Sapma	2.434.905,03	2430,35	1,16	3,43	1.258.042,33
Değişim Katsayısı (%)	128,62	95,25	32,08	30,02	105,79

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 314.128-11.533.758 TL aralığında, toplam inşaat alanı 315-8316 m² aralığında, kat sayısı 1-5 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-16,80 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 195.000-5.829.924 TL aralığında değişmektedir. Yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bu parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerinin veri yığılmaları ise maksimum değerlerine doğrudur. Yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin değişim katsayılarının, kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin, kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verinin yaklaşık maliyet olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise yapı yüksekliği verileridir.

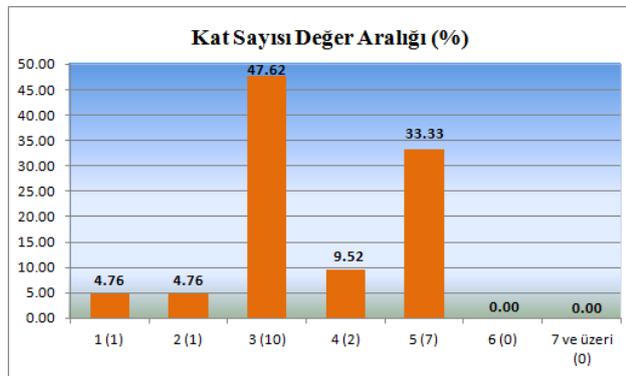
Maliyet modeli için; Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 21 adet verinin 2005-2008 yılları arasına ait olan 15 tanesi (%71) eğitim aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 6 tanesi (%29) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 21'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.87'de verilmiştir.



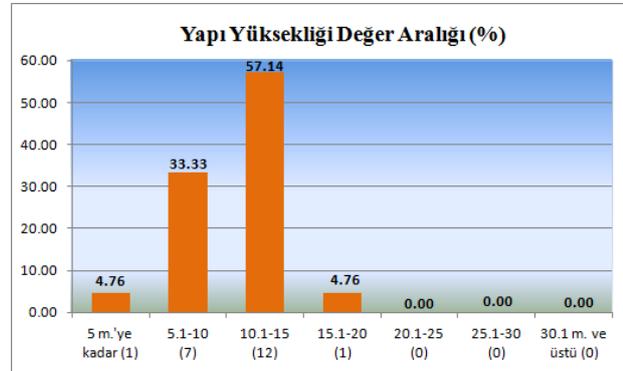
4.87.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



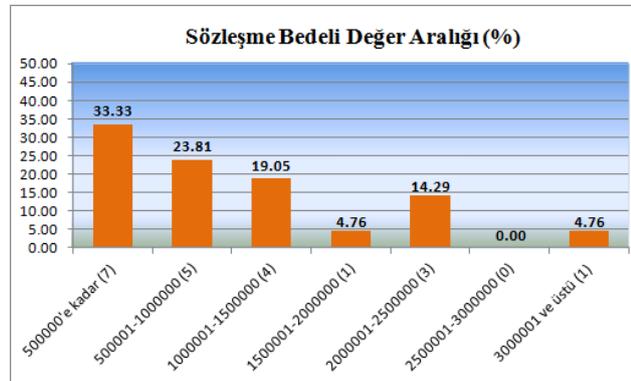
4.87.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.87.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.87.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.87.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.87. Malatya için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.87’de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %28,57’sinin yaklaşık maliyeti 500.001-1.000.000 TL aralığında, %33,33’ünün toplam inşaat alanı 501-1000 m² arasında, %47,62’si üç katlı, %57,14’ünün yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %33,33’ünün sözleşme bedeli 500.000 TL’nin altındadır.

Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.55’de verilmiştir.

Tablo 4.55. Malatya için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	332795	0,380	-	-	-	-
2	266022	0,377	33,74	-	-	-
3	-358515	0,376	-50,92	228228	-	-
4	-315082	0,383	-53,31	377725	-51274	-
5	-95340	- 0,205	-13,46	60938	1434	1,17

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.55’de verilen kesişim sabitleri ve katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R² değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.56’da verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.56’da sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.57’de verilmiştir.

Tablo 4.56. Malatya için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.56.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3332900,00	958990,00	0,5864	45041,00	37916,00	0,9969
2	119230,00	90767,00	0,9890	122250,00	94045,00	0,9870
3	57519,00	30810,00	0,9970	91384,00	78410,00	0,9880
4	90699,00	71090,00	0,9930	126460,00	97840,00	0,9960
5	37012,00	27017,00	0,9990	63756,00	54427,00	0,9950

4.56.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	1453900,00	1003100,00	0,9874	56325,00	49759,00	0,9952
2	1454400,00	1003100,00	0,9890	63062,00	55614,00	0,9950
3	1457100,00	1003100,00	0,9960	140870,00	113010,00	0,9800
4	1457600,00	1003100,00	0,9970	131080,00	106380,00	0,9750
5	1458500,00	1003100,00	0,9990	97973,00	90948,00	0,9980

4.56.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	115290,00	90977,00	0,9881	88178,00	60894,00	0,9901
2	95123,00	61156,00	0,9920	301400,00	243550,00	0,9470
3	73313,00	55815,00	0,9950	344420,00	322220,00	0,9600
4	54676,00	27579,00	0,9970	230870,00	170080,00	0,9390
5	4374,70	2545,90	1,0000	176770,00	96873,00	0,9610

4.56.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	134926,60	102733,00	0,9847	138816,18	119036,00	0,9913
2	100848,05	79947,90	0,9910	433882,07	339338,00	0,9710
3	1458734,20	1003150,00	NaN	1699944,02	1518590,00	NaN
4	1115241419,04	308531000,00	0,7850	81976917,86	34426600,00	0,2490
5	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

4.56.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	255226,16	201352,68	0,9419	478033,09	414218,66	0,9901
2	244676,83	182082,58	0,9466	433194,14	357894,09	0,9615
3	134477,81	101226,58	0,9839	461153,15	398112,83	0,9367
4	128395,94	100726,25	0,9853	454776,17	390877,96	0,9257
5	45720,43	40282,49	0,9982	209560,60	161080,36	0,9908

Tablo 4.57. Malatya için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	3332900,00	958990,00	0,5864	45041,00	37916,00	0,9969
RBF	1453900,00	1003100,00	0,9874	56325,00	49759,00	0,9952
GPA	115290,00	90977,00	0,9881	88178,00	60894,00	0,9901
SCA	134926,60	102733,00	0,9847	138816,18	119036,00	0,9913
MLR	45720,43	40282,49	0,9982	209560,60	161080,36	0,9908

Tablo 4.57'de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLR yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:5, iterasyon sayısı:20 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 1-5-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için bütün kombinezonların optimum sonuçlarında da aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi birinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2 ve dağılma parametresi:0,9 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 1-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç da önceki yöntemlerdeki gibi birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için beşinci kombinezon dışındaki bütün kombinezonların optimum sonuçlarında giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da; birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,25 ve iterasyon sayısı:17 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç, beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -95340 - 0,205.x_1 - 13,46.x_2 + 60938.x_3 + 1434.x_4 + 1,17.x_5 \quad (4.50)$$

Şeklinde dir.

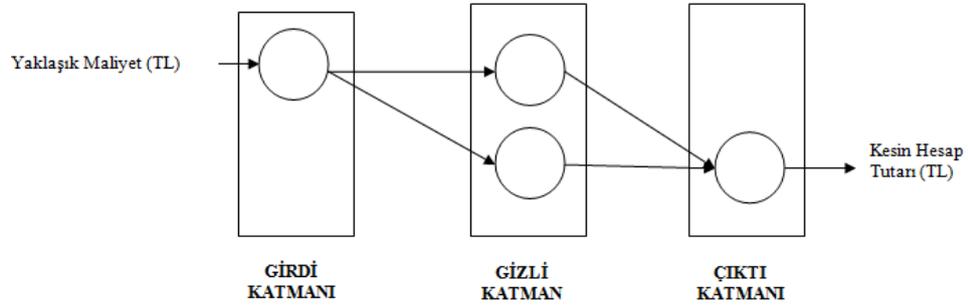
Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Malatya için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet modeli için; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.53 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bu yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.58'de verilmiştir.

Tablo 4.58. Malatya için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	71	39.712.863,00	46.371.854,00	-14,36
MLP	21	28.026.969,07	24.158.773,00	16,01
RBF	21	24.125.532,12	24.158.773,00	-0,14
GPA	21	24.330.878,62	24.158.773,00	0,71
SCA	21	24.465.196,85	24.158.773,00	1,27
MLR	21	23.321.164,24	24.158.773,00	-3,47

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %14,36'lık sapma oranı ile daha düşük hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP'den %16,01'lik sapma oranı, GPA'dan %0,71'lik sapma oranı ve SCA'dan %1,27'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmışken; RBF'den %0,14'lük sapma oranı ve MLR'den %3,47'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışlardır. Bu durumda; MLP haricindeki bütün yöntemlerin BAMY'ye göre yüksek performanslar gösterdikleri, kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise RBF yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği

söylenbilir. Birinci kombinezondan elde edilen optimum RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.88’de gösterilmiştir.



Şekil 4.88. Malatya için maliyet modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi.
(1-2-1)

MLR yönteminin dışındaki bütün yöntemlerin optimum sonuçlarının birinci kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak tek başına kullanılan yaklaşık maliyet (TL) verisinin modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Bu nedenle, modellemede en yüksek etkiye birinci girdi konumunda bulunan yaklaşık maliyet sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 310.664 TL, ortancanın 1.638.297 TL ve en büyüğünün 2.517.766 TL olduğu düşünüldüğünde, RBF yönteminin test aşamasından elde edilen $RMSE=56325$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{56325}{310.664} \right) \times 100 = \%18,13 \quad (4.51)$$

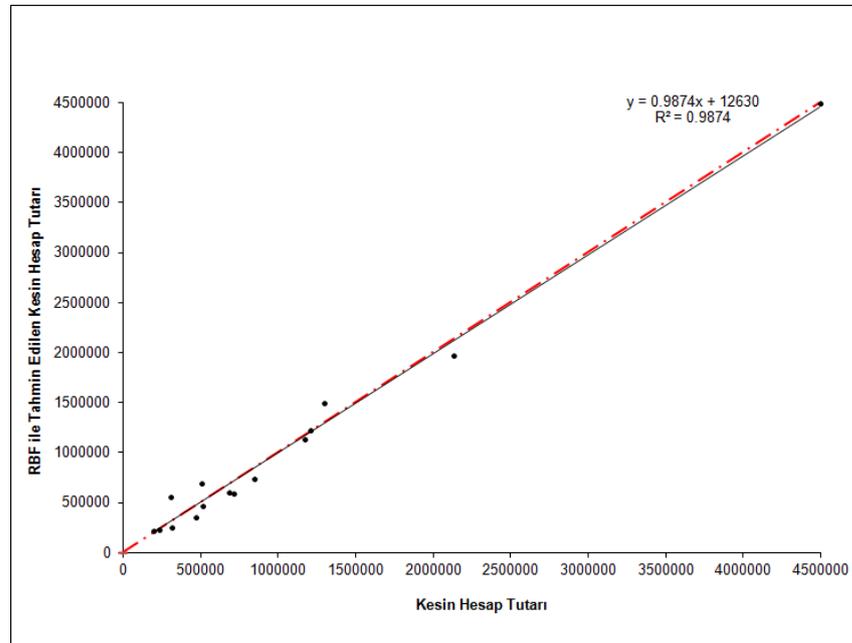
$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{56325}{1.638.297} \right) \times 100 = \%3,44 \quad (4.52)$$

$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{56325}{2.517.766} \right) \times 100 = \%2,24 \quad (4.53)$$

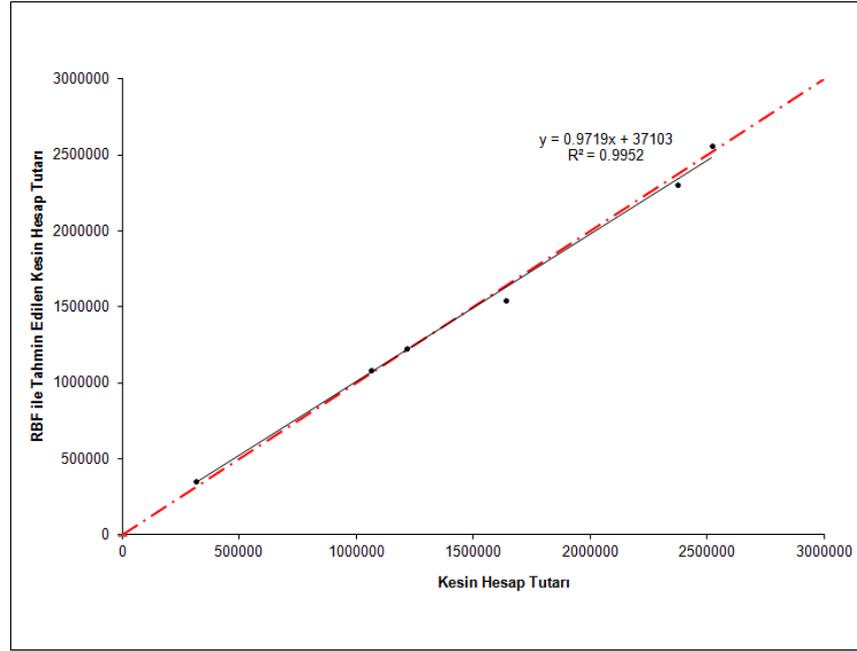
Sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen $MAE=49759$ değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %16,02, %3,04 ve %1,98 sapma oranları ile elde edilmiştir.

RBF yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri de 0,9952 olarak elde edilmiş olup, bu değer, kesin hesap tutarlarının %99,52 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9952 > 0,80$ sonucu, oldukça güçlü korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.89'da ve Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.89. Malatya için optimum RBF modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



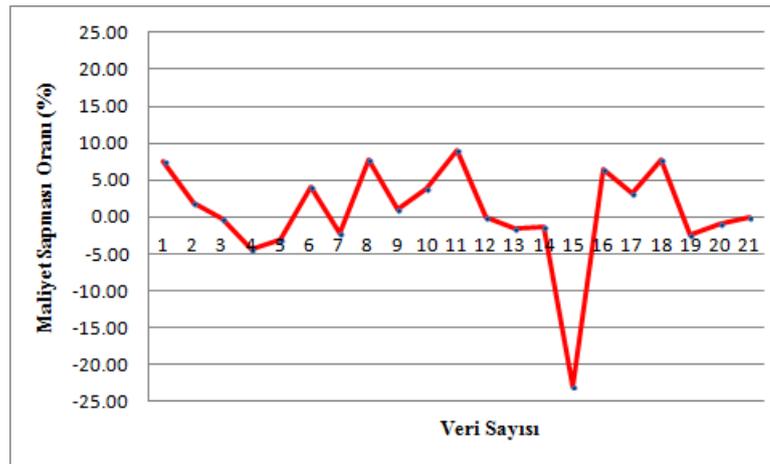
Şekil 4.90. Malatya için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.89’da, RBF modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 15 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.90’da ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan 6 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekilde de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile aynı doğrultuda ve çok yakın seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında toplu dağılımlara sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın oldukları ve maliyet modeli için RBF yöntemi ile yapılan tahminin başarılı olduğu söylenebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime aşamasında R^2 değeri 0,9874 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9952 olarak hesaplanmıştır. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9874 > 0,80$ ve $R^2 = 0,9952 > 0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedir [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 21 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.54'deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 21 adet verinin 2005-2008 yılları arasına ait olan 15 tanesi (%71) eğitime aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 6 tanesi (%29) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.87'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.91'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.91. Malatya için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri %-22,94 ile %8,97 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %0,67 olarak elde

edilmiştir. Buna göre; Malatya’da yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehir için kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre küçük farklılıklara sahip olduğu söylenebilir.

Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.59’da verilmiştir.

Tablo 4.59. Malatya için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	4,25	-0,000004	-	-	-	-
2	2,92	-0,000004	0,000702	-	-	-
3	-6,71	-0,000004	-0,000612	3,59	-	-
4	-7,12	-0,000004	-0,000595	2,29	0,45	-
5	-5,56	0,000004	-0,000307	-0,06	0,86	-0,000004

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.59’da verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.60’da verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.60’da sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.61’de verilmiştir.

Tablo 4.60. Malatya için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.60.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,61	3,05	0,7640	3,24	2,91	0,2850
2	5,75	4,59	0,4250	3,51	3,00	0,2110
3	3,05	2,44	0,8255	2,29	1,80	0,6447
4	2,82	2,26	0,8550	2,73	2,38	0,8110
5	3,17	2,54	0,8130	3,20	2,76	0,5120

4.60.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	6,29	2,95	0,7650	3,15	3,12	0,3460
2	6,26	2,78	0,7580	3,66	3,44	0,0650
3	6,87	3,87	0,9130	2,80	2,48	0,4590
4	5,96	3,44	0,6860	3,36	2,83	0,2280
5	6,33	3,53	0,7740	3,25	2,51	0,4400

4.60.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,87	3,27	0,7190	3,36	3,17	0,2620
2	2,78	1,94	0,8550	5,52	4,25	0,0010
3	3,21	2,67	0,8060	9,88	8,28	0,1550
4	0,55	0,23	0,9940	6,19	5,43	0,1930
5	0,00	0,00	1,0000	5,38	4,46	0,1830

4.60.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	6,89	4,32	0,3100	4,15	3,62	0,0020
2	15001,95	4010,43	0,7030	71,80	32,73	0,0820
3	7,29	4,72	NaN	4,48	3,48	NaN
4	25297,62	6628,94	0,7020	4,02	3,12	0,2360
5	107,61	36,51	0,0240	4,48	3,48	NaN

4.60.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	4,89	4,27	0,5505	7,07	5,80	0,2627
2	4,66	3,91	0,5931	6,52	5,77	0,3513
3	3,43	2,96	0,7844	6,21	5,32	0,1712
4	3,45	3,02	0,7856	6,05	5,23	0,1127
5	3,38	2,95	0,7985	4,76	3,97	0,1110

Tablo 4.61. Malatya için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	3,05	2,44	0,8255	2,29	1,80	0,6447
RBF	6,87	3,87	0,9130	2,80	2,48	0,4590
GPA	3,87	3,27	0,7190	3,36	3,17	0,2620
SCA	25297,62	6628,94	0,7020	4,02	3,12	0,2360
MLR	3,38	2,95	0,7985	4,76	3,97	0,1110

Tablo 4.61’de yer alan değerlere göre, eğitime ve test aşamaları için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:10, iterasyon sayısı:16 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-10-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için beşinci kombinezondan elde edilen optimum sonuçta da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:10 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-10-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için ikinci kombinezon dışındaki bütün kombinezonlarda giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,12 ve iterasyon sayısı:12 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

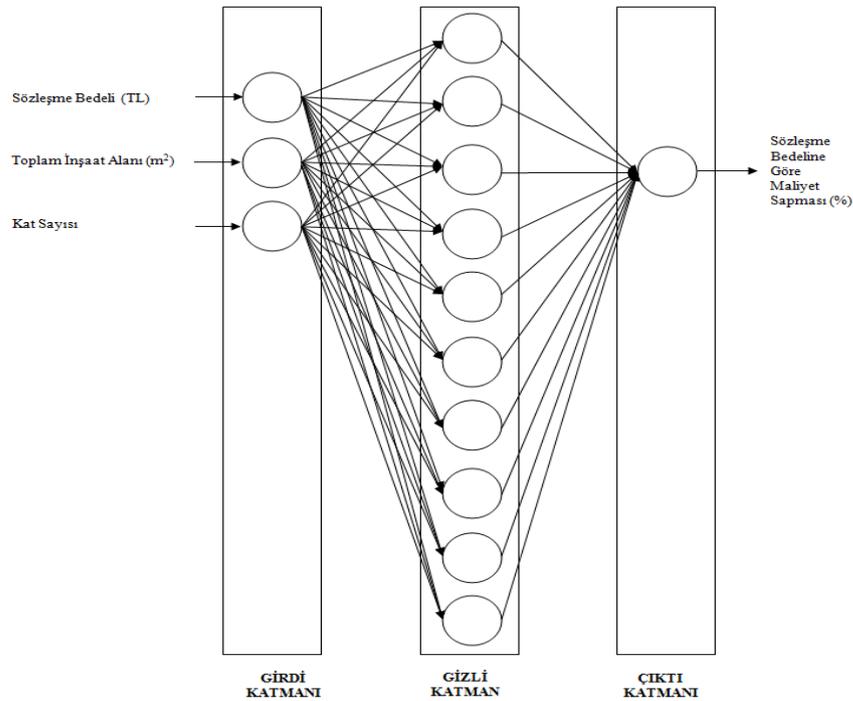
$$y = -5,56 + 0,000004.x_1 - 0,000307.x_2 - 0,06.x_3 + 0,86.x_4 - 0,000004.x_5 \quad (4.54)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5’den de görüleceği üzere, Malatya için oluşturulan maliyet sapması modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen P_{örneklem}

değerleri, $P_{kritik}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için $F_{örneklem}>F_{kritik}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet sapması modeli için optimum sonuçları veren ve üçüncü kombinezondan elde edilen MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.92'de gösterilmiştir.

Modellemenin eğitime ve test aşamalarında en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların üçüncü kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m^2) ve kat sayısı verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise üçüncü girdi konumunda bulunan kat sayısı sahiptir.



Şekil 4.92. Malatya için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (3-10-1)

Analizin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-2,35, ortancanın %3,31 ve en büyüğünün %7,80 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen $RMSE=2,29$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

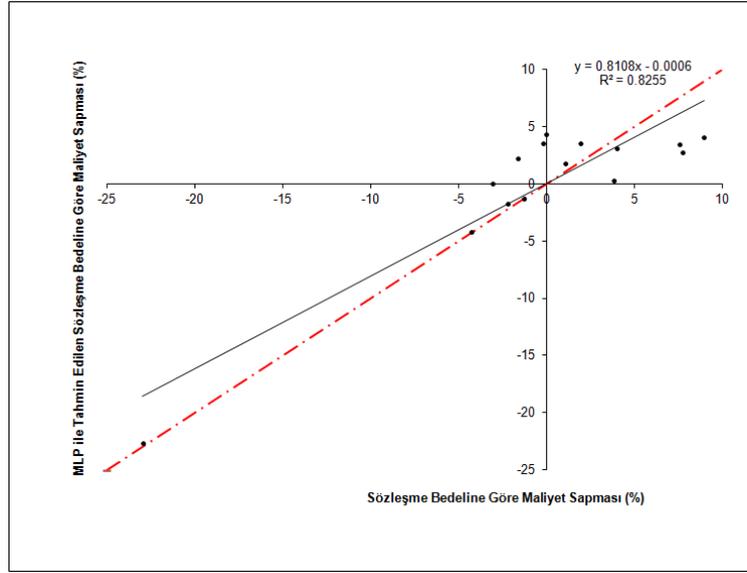
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{2,29}{-2,35} \right) \times 100 = \% -97,45 \quad (4.55)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{2,29}{3,31} \right) \times 100 = \%69,18 \quad (4.56)$$

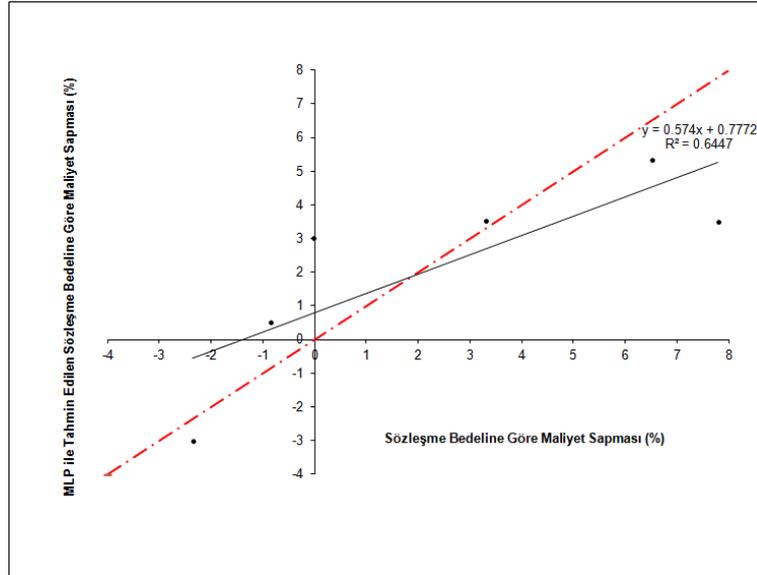
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{2,29}{7,80} \right) \times 100 = \%29,36 \quad (4.57)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen $MAE=1,80$ değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-76,60, %54,38 ve %23,08 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından optimum R^2 değeri 0,6447 olarak elde edilmiş olup, bu değer, modellemeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin %64,47 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,6447 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ve optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.93'de ve Şekil 4.94'de verilmiştir.



Şekil 4.93. Malatya için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.94. Malatya için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.93'de, MLP modellemesinin eğitme aşamasında kullanılan 15 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.94'de ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 6 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile farklı doğrultularda ve birbirlerine uzak seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim

çizgilerinin etrafında dağınık saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin farklılıklara sahip oldukları ve dolayısıyla modellemenin de başarısız olduğu söylenebilir. Optimum MLP analizinin eğitime aşamasından tatminkâr R^2 değeri elde edilmiş olsa da, test aşamasından elde edilen R^2 değeri, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle, optimum MLP analizinin eğitime aşaması verimli geçmiş ancak test aşamasında sinir ağının tahmin kapasitesi istenilen düzeye ulaşamamıştır.

Süresel Sapma Modeli

Malatya için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 72 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.62’de verilmiştir.

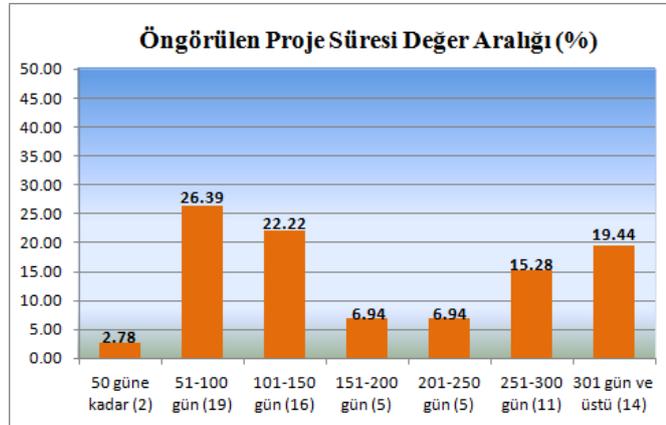
Tablo 4.62. Malatya için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	45,00	155,00	1,00	3,20	35169,00
Maks. Değer	850,00	8316,00	5,00	16,80	5.829.924,00
Aritmetik Ortalama	210,10	1448,63	2,93	9,41	687.715,17
Standart Sapma	152,31	1776,35	1,04	2,96	813.376,21
Değişim Katsayısı (%)	72,50	122,62	35,46	31,40	118,27

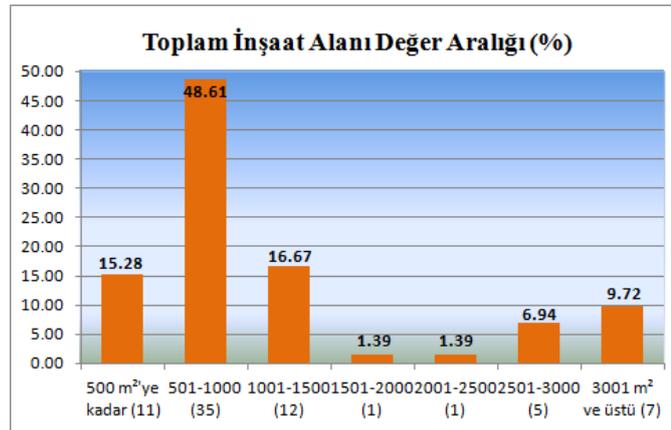
Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 45-850 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 155-8316 m² aralığında, kat sayısı 1-5 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-16,80 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 35169-5.829.924 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettiği görülmektedir. Yani bütün parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan

verilerin toplam inşaat alanı verileri olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu verilerse yapı yüksekliği verileridir.

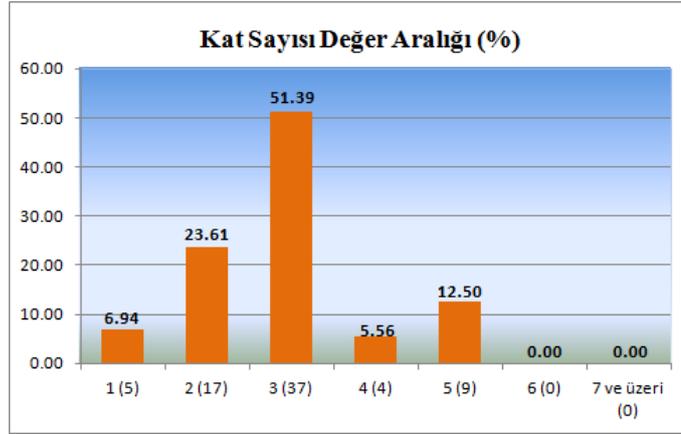
Süresel sapma modeli için; Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 72 verinin 2005-2008 yılları arasına ait 52 tanesi (%72) eğitime aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 20 tanesi (%28) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 72'şer verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.95'deki gibidir.



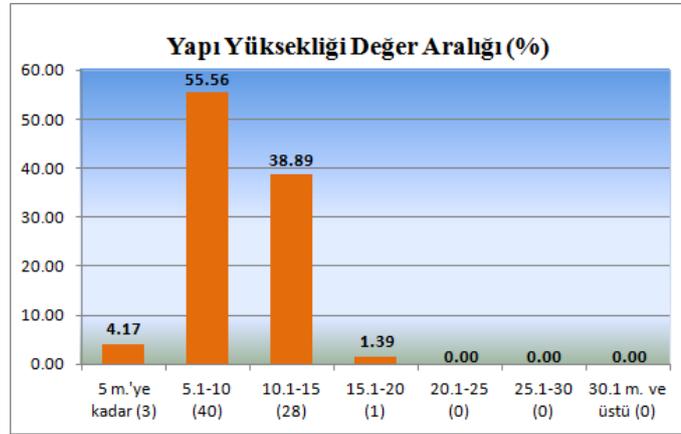
4.95.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



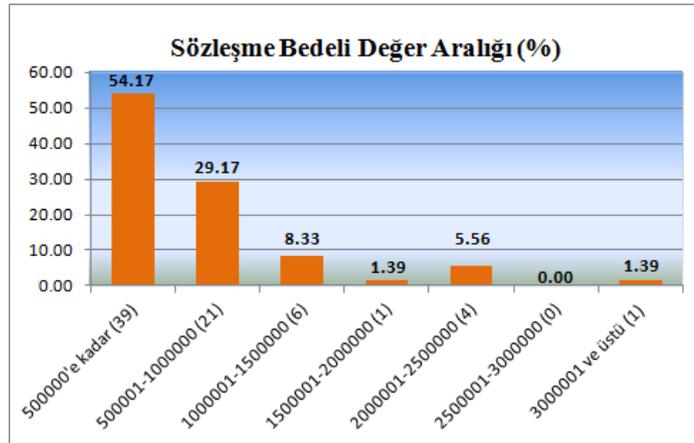
4.95.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.95.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.95.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



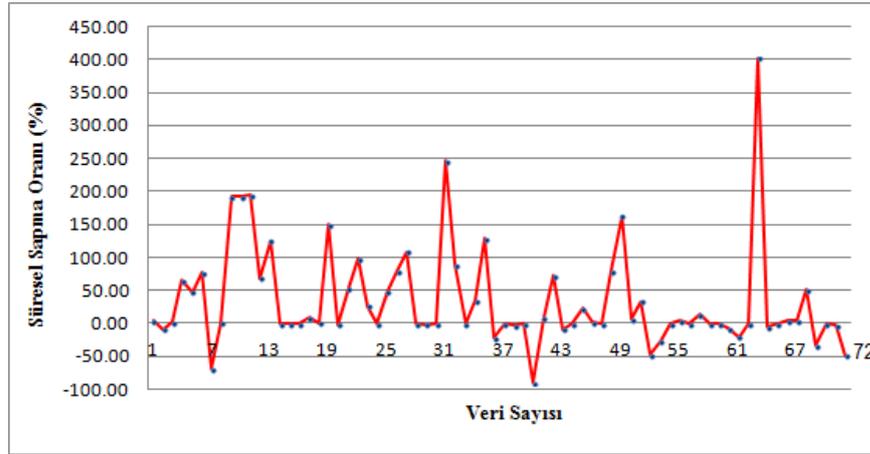
4.95.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.95. Malatya için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.95'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %26,39'unun öngörülen proje süresi 51-100 gün aralığında, %48,61'inin toplam inşaat alanı 501-1000

m² aralığında, %51,39'u üç katlı, %55,56'sının yüksekliği 5,1-10 m. arasında ve %54,17'sinin sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.96'da yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.96. Malatya için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-90,00 ile %402,22 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %34,99 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Malatya'da yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapma ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısı ile bu şehirde, öngörülen proje süreleri ile gerçekleşen proje süreleri arasında büyük farklılıkların olduğu söylenebilir.

Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinasyonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.63'de verilmiştir.

Tablo 4.63. Malatya için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	74,69	-0,156	-	-	-	-
2	77,25	-0,148	-0,0034	-	-	-
3	33,27	-0,178	-0,0116	20,59	-	-
4	-5,77	-0,195	-0,0132	-30,37	20,40	-
5	-4,95	-0,205	-0,0132	-29,91	20,22	0,000003

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.63’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.64’de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.64’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.65’de verilmiştir.

Tablo 4.64. Malatya için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.64.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	74,16	49,83	0,0760	85,33	40,55	0,1660
2	63,86	44,80	0,1980	86,07	43,98	0,0980
3	61,43	44,17	0,2260	86,34	50,68	0,1110
4	56,49	41,73	0,3440	85,63	44,46	0,1350
5	56,90	40,93	0,3310	85,39	46,23	0,1160

4.64.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	48,57	44,65	0,1310	89,90	58,11	0,0830
2	49,37	45,05	0,1470	89,43	57,77	0,0760
3	52,70	46,39	0,2180	89,23	56,16	0,0560
4	57,40	47,91	0,3250	87,67	49,20	0,0670
5	57,62	48,05	0,3306	87,66	49,95	0,0667

4.64.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	64,86	48,54	0,1290	87,04	58,26	0,1740
2	64,09	47,20	0,1490	90,07	58,05	0,0790
3	61,39	46,19	0,2190	89,94	51,37	0,0350
4	53,32	39,73	0,4110	91,69	55,79	0,0230
5	78,21	67,98	0,0000	109,24	93,64	0,0000

4.64.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	60,04	44,03	0,2619	78,61	49,26	0,3147
2	57,07	43,60	0,3290	96,16	43,73	0,0270
3	81,21	51,62	NaN	92,02	31,14	NaN
4	51,43	37,75	0,4540	87,78	53,05	0,0960
5	52,97	39,98	0,4210	86,59	55,27	0,1560

4.64.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	64,93	49,23	0,1269	90,64	59,25	0,0739
2	64,78	49,24	0,1308	90,66	57,63	0,0599
3	62,86	48,35	0,1815	89,56	55,27	0,0525
4	59,67	46,53	0,2625	91,77	55,50	0,0298
5	59,66	46,46	0,2629	91,53	55,05	0,0309

Tablo 4.65. Malatya için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

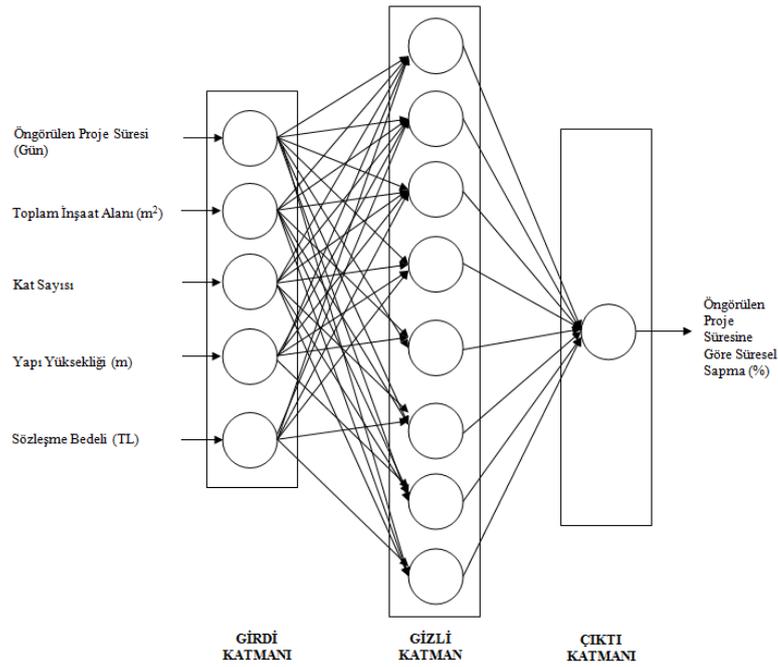
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	74,16	49,83	0,0760	85,33	40,55	0,1660
RBF	57,62	48,05	0,3306	87,66	49,95	0,0667
GPA	64,86	48,54	0,1290	87,04	58,26	0,1740
SCA	60,04	44,03	0,2619	78,61	49,26	0,3147
MLR	62,86	48,35	0,1815	89,56	55,27	0,0525

Tablo 4.65’de yer alan değerlere göre, eğitime aşaması için minimum RMSE değeri RBF yönteminden ve minimum MAE değeri SCA yönteminden, test aşaması için minimum RMSE değeri SCA yönteminden, minimum MAE değeri de MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:3, iterasyon sayısı:1 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 1-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için üçüncü kombinezon dışındaki bütün kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. Ayrıca; MLP için her bir kombinezondan elde edilen optimum sonucun ara tabaka hücre sayısının küçük olduğu (1, 2 veya 3) tespit edilmiştir. Bu durumda, ara tabaka hücre sayısının artırılmasının, MLP modellemesine olumlu etkisinin olmadığı ifade edilebilir. RBF yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:8 ve dağılıma parametresi:1,0 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-8-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Ancak RBF analizi için dördüncü ve beşinci kombinezonların sonuçlarının birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Bu nedenle, beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli verisinin, RBF analizine kayda değer bir katkısı olmamıştır. GPA yönteminden optimum sonuç, MLP yöntemindeki gibi birinci kombinezondan; üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:20 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için ikinci kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da MLP ve GPA yöntemlerindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,12 ve iterasyon sayısı:8 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise üçüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren üçüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 33,27 - 0,178.x_1 - 0,0116.x_2 + 20,59.x_3 \quad (4.58)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Malatya için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Süresel sapma modeli için optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen optimum RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.97'de gösterilmiştir.



Şekil 4.97. Malatya için süresel sapma modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (5-8-1)

Süresel sapma modeli için en yüksek performansı gösteren RBF yöntemi için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının

modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. MLP, GPA ve SCA yöntemlerinde ise; öngörülen proje süresi (gün) verisinin tek başına kullanımı daha yüksek performans göstermiş olup; toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin kullanımının, bu yöntemlerin analiz performanslarına etkisi olumsuz olmuştur. Analizlerin test aşamalarında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-48,89, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %402,22 olduğu düşünüldüğünde, RBF yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=87,66 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

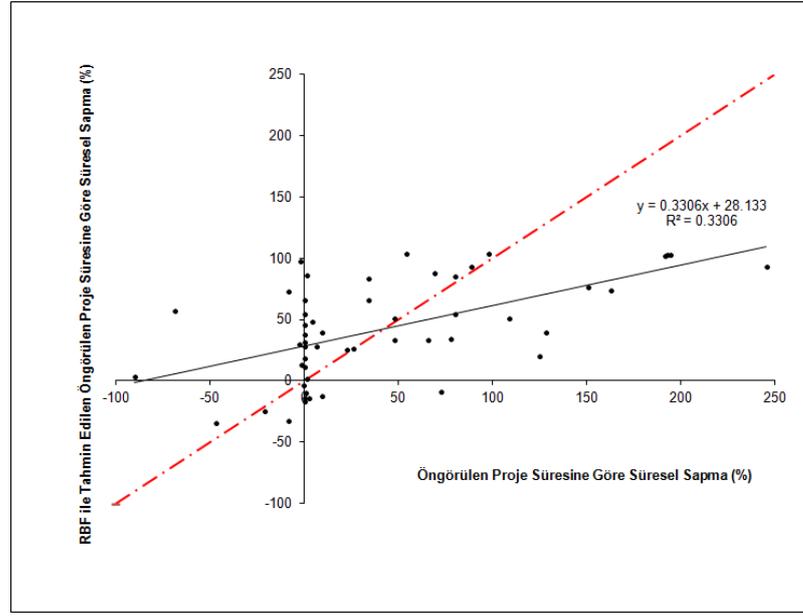
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{87,66}{-48,89} \right) \times 100 = \% -179,30 \quad (4.59)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{87,66}{0,00} \right) \times 100 = \infty \quad (4.60)$$

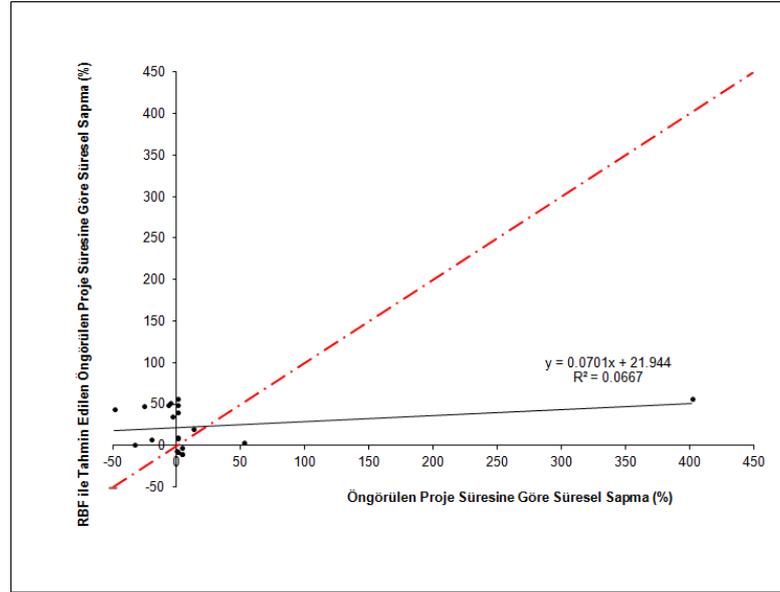
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{87,66}{402,22} \right) \times 100 = \%21,79 \quad (4.61)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=49,95 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-102,17 ve %12,42 sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen R² değeri ise 0,0667 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %6,67 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. R²>0,80 durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, R²=0,0667<0,80 sonucu, oldukça zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen; öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanmış olan süresel sapma değerleri ile optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.98'de ve Şekil 4.99'da verilmiştir.



Şekil 4.98. Malatya için optimum RBF modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



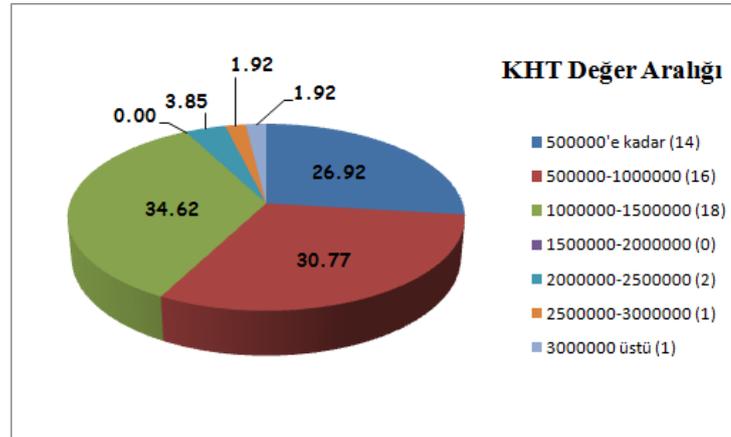
Şekil 4.99. Malatya için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.98’de, RBF modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 52 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.99’da ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan 20 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin yatay eksene yakın seyrettikleri, reel değerler ile tahmini değerlerin eşitliğini ifade eden simetrik $y=x$

doğrusu ile farklı doğrultularda yer aldıkları görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında dağınık saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında ciddi farklılıkların bulunduğu ve dolayısıyla modellenmenin başarısız olduğu söylenebilir. Beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum RBF analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.1.6. Adana'dan Elde Edilen Bulgular

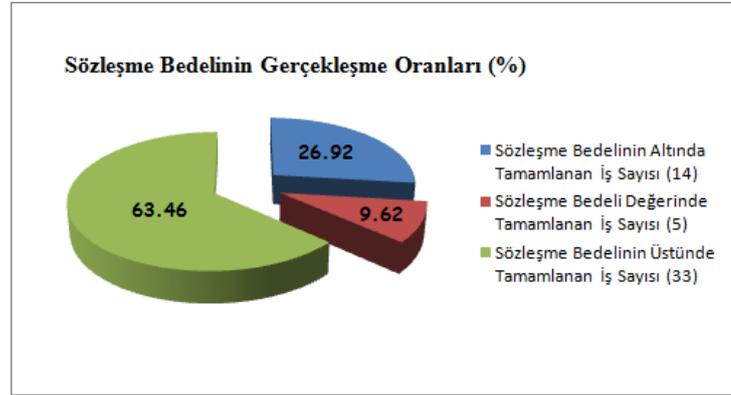
Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nün arşiv kayıtları incelenerek, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 70 kamu yapım işinin 52'sinin kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.100'de verilmiştir.



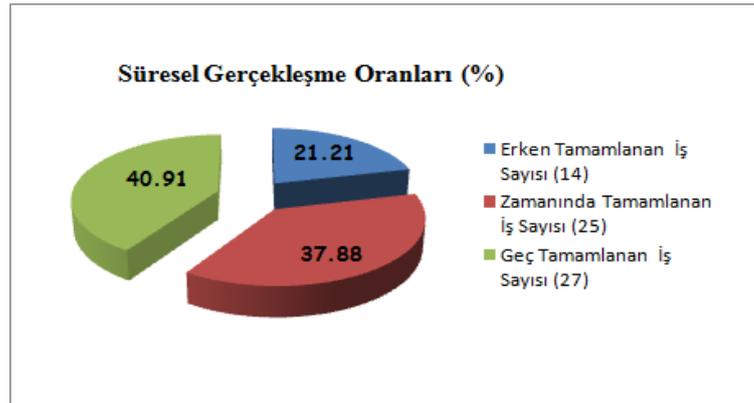
Şekil 4.100. Adana'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %34,62'si 1.000.000-1.500.000 TL aralığındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 104.925 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 4.996.116 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 959.964,58 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Adana'da yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının düşük olduğu ve kamu yapım işi hacminin dar olduğu söylenebilir.

Adana’da tamamlanan 52 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.101’de, 66 yapım işinin süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.102’de gösterilmiştir.



Şekil 4.101. Adana’daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)

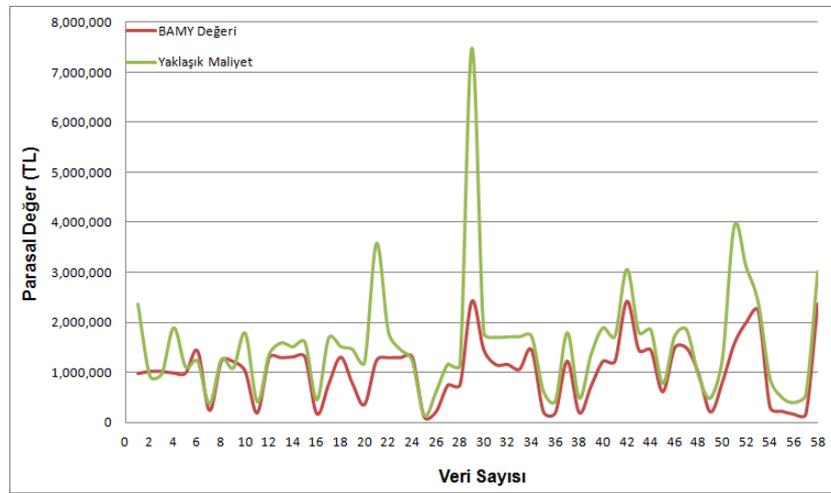


Şekil 4.102. Adana’daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

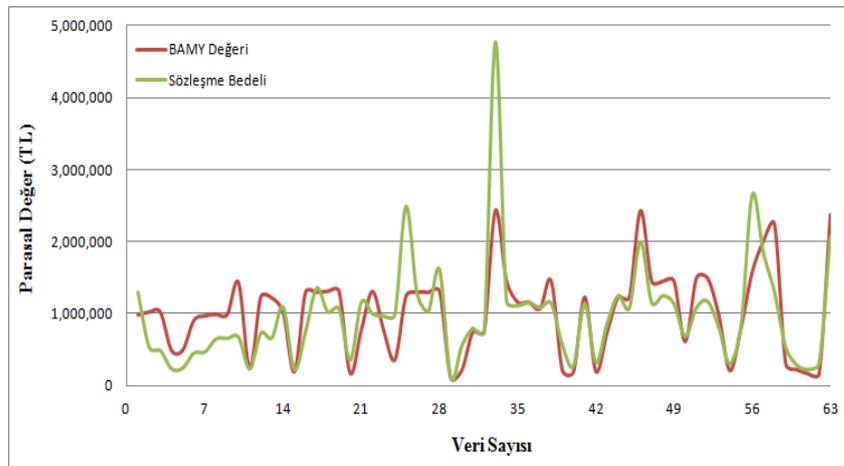
Adana’da, yapım işlerinin %63,46’sı sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, %26,92’si sözleşme bedelinin altında, %9,62’si ise sözleşme bedeli değeri ile tamamlanmıştır. Bunun yanısıra, yapım işlerinin %40,91’i öngörülen proje süresinden daha geç tamamlanmışken, %37,88’i zamanında ve %21,21’i öngörülen proje süresinden daha erken tamamlanmıştır.

Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

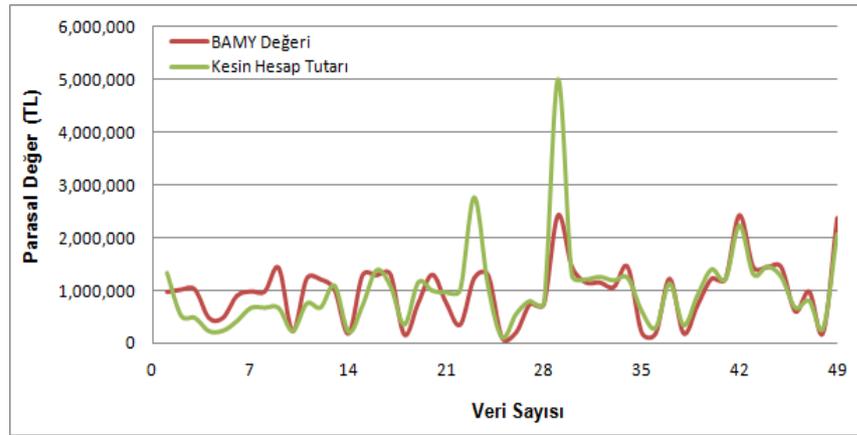
Arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 58 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.103’de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli değerleri temin edilmiş olan 63 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.104’de verilmiştir. 49 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.105’de verilmiştir.



Şekil 4.103. Adana için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.

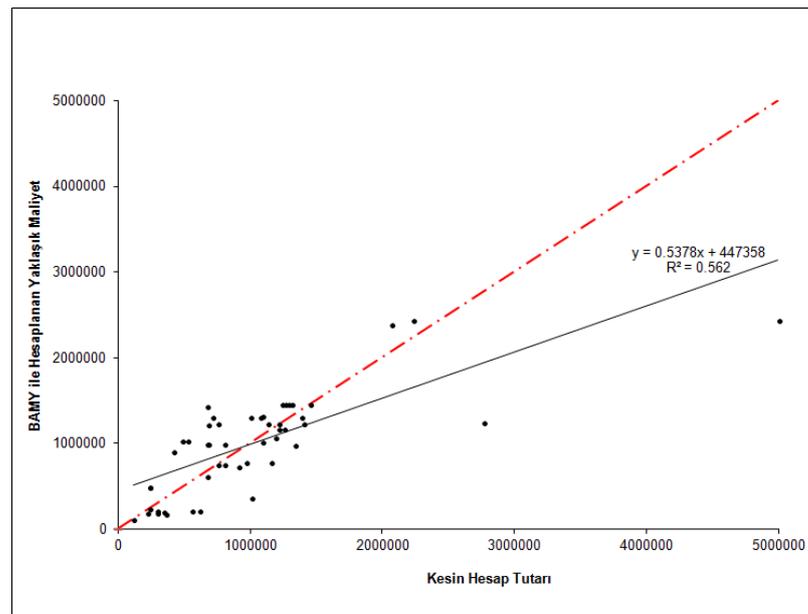


Şekil 4.104. Adana için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.105. Adana için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her bir şekil için, kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.105, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin kesin hesap tutarlarına göre genellikle daha düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 4.105'in anlam düzeyini artırabilmek adına, 49 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.106'da verilmiştir.



Şekil 4.106. Adana için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.106'da görülen doğrusal $y=0.5378x+447358$ denklemi, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığını göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,5620<0,80$ sonucu, iki değişken arasındaki korelasyonun zayıf olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.106'da verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.66'da verilmiştir.

Tablo 4.66. Adana için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2003	6	4.879.320,00	3.238.705,77	50,66
2005	6	6.075.357,00	3.689.000,16	64,69
2006	12	10.981.171,00	12.819.368,00	-14,34
2007	21	22.264.099,00	25.590.952,00	-13,00
2008	3	1.791.860,00	1.771.122,00	1,17
2010	1	2.376.150,00	2.066.000,00	15,01
TOPLAM	49	48.367.957,00	49.175.147,93	-1,64

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %1,64'lük sapma oranı ile daha düşük hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde; 2003, 2005, 2008 ve 2010 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %50,66, %64,69, %1,17 ve %15,01 oranlarında daha yüksek hesaplanmışlardır. Yıl bazında sapma oranının 2005 yılında %64,69'a ulaştığı görülmektedir. Akdeniz bölgesi için elde edilen %1,64'lük toplam sapma oranının, daha önce ele alınan coğrafi bölgeler için hesaplanan sapma oranlarına göre daha makul bir değer olduğu ifade edilebilir. Bu nedenle, Adana için BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının kabul edilebilir seviyede olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, bahsedilen toplam sapma oranının daha da azaltılıp azaltılamayacağını belirlemek amacıyla, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde kesin hesap tutarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

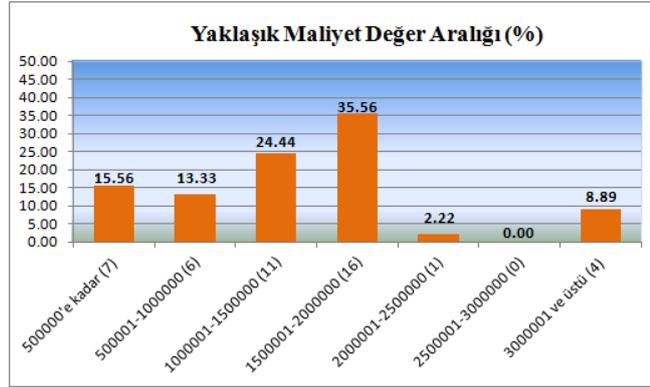
Adana için maliyet modelinde kullanılan toplam 45 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.67’de verilmiştir.

Tablo 4.67. Adana için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

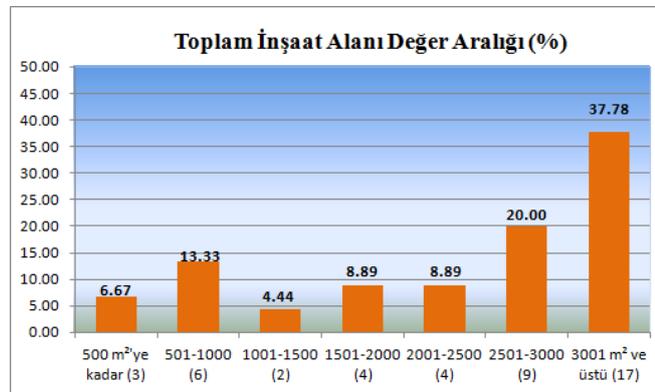
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	136.362,00	274,00	1,00	3,35	114.600,00
Maks. Değer	7.471.596,00	5691,00	10,00	16,80	4.772.000,00
Aritmetik Ortalama	1.523.725,79	2487,78	4,16	12,50	993.045,78
Standart Sapma	1.157.147,37	1356,71	2,07	3,69	749.636,34
Değişim Katsayısı (%)	75,94	54,54	49,73	29,53	75,49

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 136.362-7.471.596 TL aralığında, toplam inşaat alanı 274-5691 m² aralığında, kat sayısı 1-10 aralığında, yapı yüksekliği 3,35-16,80 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 114.600-4.772.000 TL aralığında değişmektedir. Yapı yüksekliği parametresinin dışındaki bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bahsedilen parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Yapı yüksekliği parametresinin veri yığılması ise maksimum değerine doğrudur. Yaklaşık maliyet ve sözleşme bedeli parametrelerinin değişim katsayılarının; toplam inşaat alanı, kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; yaklaşık maliyet ve sözleşme bedeli parametrelerinin; toplam inşaat alanı, kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verinin yaklaşık maliyet olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu verilerse yapı yüksekliği verileridir.

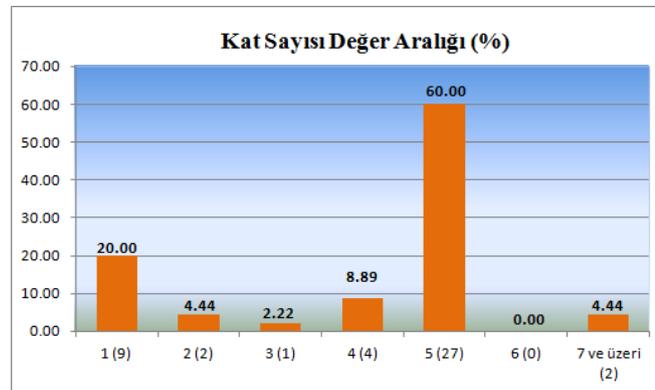
Maliyet modeli için; Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 45 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 33 tanesi (%73) eğitim aşaması için, 2007-2010 yılları arasına ait 12 tanesi (%27) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 45’er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.107’de verilmiştir.



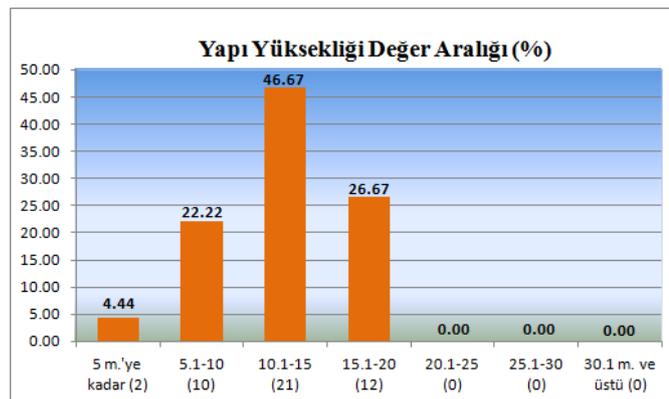
4.107.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



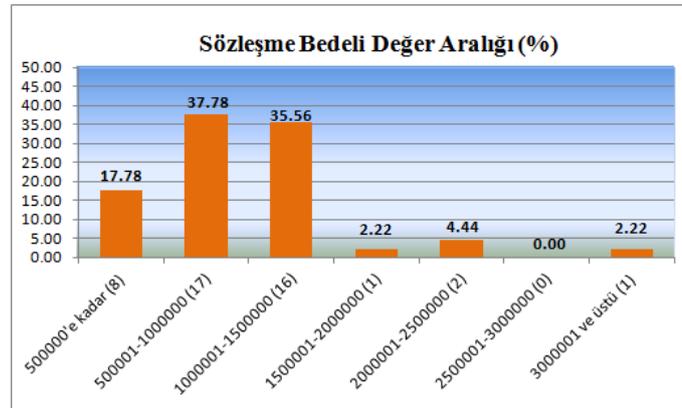
4.107.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.107.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.107.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.107.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.107. Adana için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.107'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %35,56'sının yaklaşık maliyeti 1.500.001-2.000.000 TL aralığında, %37,78'inin toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %60,00'ı beş katlı, %46,67'sinin yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %37,78'inin sözleşme bedeli 500.001-1.000.000 TL arasındadır.

Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.68'de verilmiştir.

Tablo 4.68. Adana için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x ₁) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x ₂) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x ₃) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x ₄) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x ₅) Katsayı Parametresi (f)
1	-4980	0,675	-	-	-	-
2	58358	0,705	-44,95	-	-	-
3	60645	0,705	-43,27	-1554	-	-
4	-63657	0,707	-76,90	-17182	21882	-
5	-57029	-0,026	-23,57	5522	5664	1,10

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.68’de verilen kesişim sabitleri ve katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.69’da verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.69’da sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.70’de verilmiştir.

Tablo 4.69. Adana için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.69.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	173910,00	131030,00	0,9630	107670,00	96242,00	0,9700
2	158720,00	107060,00	0,9660	124120,00	104870,00	0,9690
3	183660,00	139350,00	0,9590	128300,00	106840,00	0,9510
4	144960,00	98789,00	0,9720	140680,00	110650,00	0,9620
5	20583,00	15443,00	0,9994	54868,00	40150,00	0,9917

4.69.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	1311500,00	1005400,00	0,9730	113160,00	88857,00	0,9730
2	1290000,00	1005400,00	0,8960	111990,00	95717,00	0,9780
3	1306100,00	1005400,00	0,9530	116630,00	104120,00	0,9640
4	1310800,00	1005400,00	0,9700	109840,00	83553,00	0,9680
5	1318900,00	1005400,00	0,9994	59151,00	48307,00	0,9909

4.69.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	167300,00	112420,00	0,9616	114160,00	91678,00	0,9780
2	161160,00	104440,00	0,9640	148960,00	124720,00	0,9670
3	142500,00	93246,00	0,9720	140130,00	117420,00	0,9570
4	135660,00	93737,00	0,9750	213590,00	153660,00	0,9010
5	12591,00	7603,50	1,0000	118850,00	84067,00	0,9770

4.69.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	194073,62	140812,00	0,9611	89293,17	76298,70	0,9767
2	192702,05	122905,00	0,9560	214117,09	162644,00	0,8860
3	1319092,77	1005430,00	NaN	1289296,09	1153630,00	NaN
4	29834859,34	5775500,00	0,0170	780466,02	695664,00	0,3900
5	8951658,41	4527820,00	0,1750	8366107,82	5551310,00	0,0310

4.69.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	167843,37	114228,55	0,9614	119345,15	98100,53	0,9780
2	162052,91	108308,63	0,9640	145536,38	124080,19	0,9698
3	162035,64	108233,80	0,9640	144738,24	123491,18	0,9698
4	158194,77	105528,34	0,9657	142844,90	118533,42	0,9657
5	36330,15	29048,92	0,9982	89637,30	72480,79	0,9820

Tablo 4.70. Adana için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	20583,00	15443,00	0,9994	54868,00	40150,00	0,9917
RBF	1318900,00	1005400,00	0,9994	59151,00	48307,00	0,9909
GPA	167300,00	112420,00	0,9616	114160,00	91678,00	0,9780
SCA	194073,62	140812,00	0,9611	89293,17	76298,70	0,9767
MLR	36330,15	29048,92	0,9982	89637,30	72480,79	0,9820

Tablo 4.70'de yer alan değerlere göre; eğitim ve test aşamaları için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:4, iterasyon sayısı:19 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-4-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için birinci ve dördüncü kombinezonların optimum sonuçlarında da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:10 ve dağılma parametresi:1,5 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-10-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:3, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için

dördüncü kombinezon dışındaki bütün kombinezonların optimum sonuçlarında giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da GPA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,19 ve iterasyon sayısı:15 değerleri ile elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç ise MLP ve RBF yöntemlerindeki gibi beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

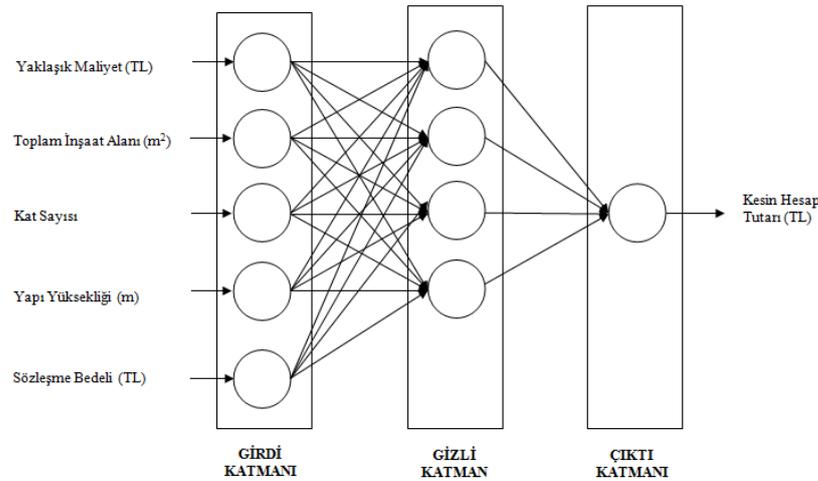
$$y = -57029 - 0,026.x_1 - 23,57.x_2 + 5522.x_3 + 5664.x_4 + 1,10.x_5 \quad (4.62)$$

Şeklinde. Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Adana için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet modeli için; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.66 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bu yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.71'de verilmiştir.

Tablo 4.71. Adana için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	49	48.367.957,00	49.175.147,93	-1,64
MLP	45	46.906.190,61	47.022.665,93	-0,25
RBF	45	46.808.977,93	47.022.665,93	-0,45
GPA	45	46.114.901,81	47.022.665,93	-1,93
SCA	45	50.245.919,52	47.022.665,93	6,85
MLR	45	46.386.031,29	47.022.665,93	-1,35

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %1,64'lük sapma oranı ile daha düşük hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP'den %0,25'lik sapma oranı, RBF'den %0,45'lik sapma oranı, GPA'dan %1,93'lük sapma oranı ve MLR'den %1,35'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışken; SCA'dan %6,85'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durumda; MLP, RBF ve MLR yöntemlerinin BAMY yaklaşımına göre daha yüksek performans gösterdikleri, GPA ve SCA yöntemlerininse BAMY yaklaşımına göre daha düşük performans gösterdikleri söylenebilir. MLP, RBF ve MLR yöntemleri kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise MLP yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği ifade edilebilir. Maliyet modeli için beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.108'de gösterilmiştir.



Şekil 4.108. Adana için maliyet modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-4-1)

Maliyet modeli için sırasıyla en yüksek performansları gösteren MLP, RBF ve MLR yöntemlerinin optimum sonuçlarının beşinci ve son kombinezonlardan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 290.412 TL, ortancanın

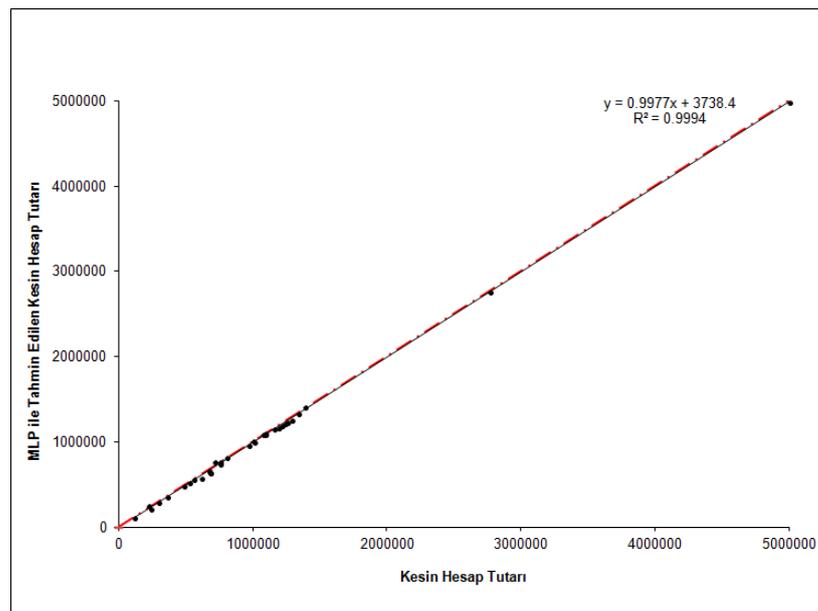
1.133.917 TL ve en büyüğünün 2.230.231 TL olduğu düşünülüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=54868 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{54868}{290.412} \right) \times 100 = \%18,89 \quad (4.63)$$

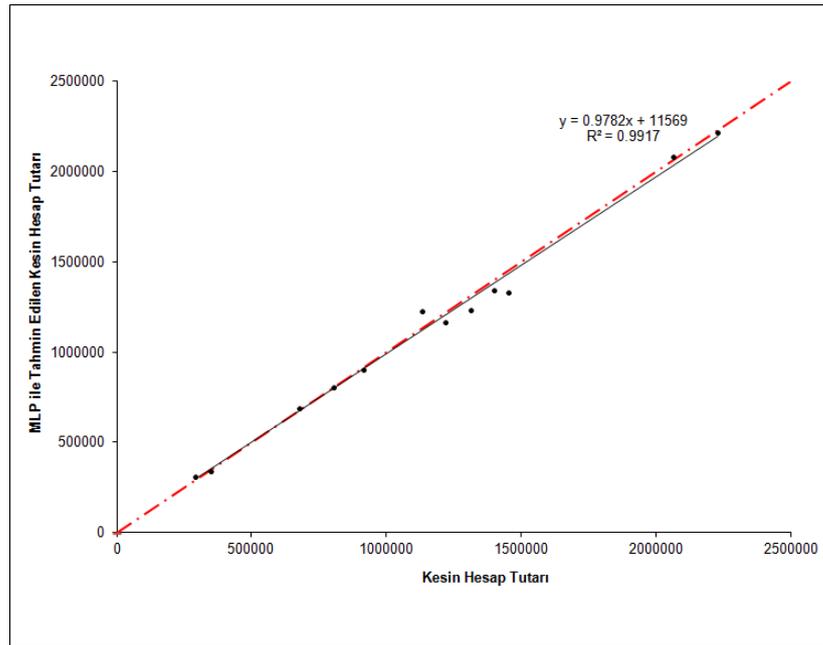
$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{54868}{1.133.917} \right) \times 100 = \%4,84 \quad (4.64)$$

$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{54868}{2.230.231} \right) \times 100 = \%2,46 \quad (4.65)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=40150 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %13,83, %3,54 ve %2,46 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,9917 olup, bu değer, kesin hesap tutarlarının %99,17 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünülüğünde, $R^2 = 0,9917 > 0,80$ sonucu, oldukça güçlü bir korelasyona işaret etmektedir [84].



Şekil 4.109. Adana için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.110. Adana için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

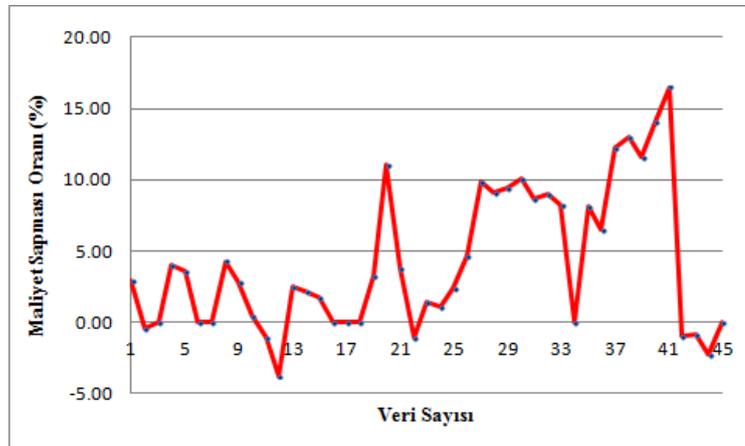
Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.109’da ve Şekil 4.110’da verilmiştir. Şekil 4.109’da, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 33 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.110’da ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 12 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekilde de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile aynı doğrultuda ve çok yakın seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında toplu saçılımlara sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın oldukları ve maliyet modeli için MLP ile yapılan tahminin başarılı olduğu söylenebilir. Eğitime ve test aşamaları arasında kıyaslama yapılacak olursa; eğitime aşamasının saçılma diyagramının, test aşamasının saçılma diyagramına göre daha toplu olduğu ifade edilebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime aşamasında R^2 değeri 0,9994 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9917 olarak hesaplanmıştır. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9994 > 0,80$ ve $R^2 = 0,9917 > 0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile

tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedir [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 45 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.67'deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 45 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 33 tanesi (%73) eğitime aşaması için, 2007-2010 yılları arasına ait 12 tanesi (%27) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.107'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.111'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.111. Adana için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri %-3,73 ile %16,51 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %4,18 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Adana’da yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehirde kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre küçük farklılıklara sahip oldukları söylenebilir. Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.72’de verilmiştir.

Tablo 4.72. Adana için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	1,89	0,000002	-	-	-	-
2	2,44	0,000002	-0,00037	-	-	-
3	1,80	0,000002	-0,00085	0,434	-	-
4	-2,71	0,000002	-0,00205	-0,130	0,794	-
5	-2,70	0,000004	-0,00186	-0,070	0,753	-0,000002

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.72’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.73’de verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.73’de sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.74’de verilmiştir.

Tablo 4.73. Adana için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.73.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	4,05	3,10	0,2240	5,40	5,12	0,3890
2	3,37	2,80	0,2780	6,04	5,75	0,3730
3	2,78	2,15	0,4940	5,77	5,01	0,3440
4	3,30	2,27	0,4360	5,20	4,40	0,4010
5	2,16	1,63	0,7037	5,22	4,36	0,4276

4.73.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,44	2,96	0,2670	6,48	6,01	0,3460
2	3,83	3,03	0,4730	6,40	5,87	0,1350
3	3,60	2,90	0,3510	6,22	5,82	0,2450
4	3,95	2,99	0,5370	5,49	5,04	0,3800
5	3,98	3,14	0,5580	5,33	4,77	0,4180

4.73.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,46	2,78	0,2050	6,67	6,13	0,1140
2	3,22	2,56	0,3140	6,71	6,26	0,0600
3	3,25	2,68	0,3000	7,21	6,65	0,0040
4	2,33	1,75	0,6390	7,07	5,88	0,0700
5	3,90	3,24	0,0000	7,25	6,58	0,0000

4.73.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,76	3,00	0,1840	6,14	5,78	0,1950
2	195,45	118,60	0,0100	456,16	166,83	0,1270
3	5,12	3,72	NaN	9,32	7,18	NaN
4	33544988,61	6410820,00	0,1260	13432,57	4283,24	0,0580
5	8,87	5,22	0,0270	6,62	4,92	0,1330

4.73.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	3,74	3,17	0,0966	6,91	6,38	0,0758
2	3,68	3,13	0,1060	7,21	6,56	0,0258
3	3,62	3,05	0,1357	7,24	6,51	0,0860
4	3,39	2,92	0,2428	6,81	5,89	0,1482
5	3,47	2,94	0,2357	7,36	6,20	0,0814

Tablo 4.74. Adana için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	2,16	1,63	0,7037	5,22	4,36	0,4276
RBF	3,98	3,14	0,5580	5,33	4,77	0,4180
GPA	3,46	2,78	0,2050	6,67	6,13	0,1140
SCA	3,76	3,00	0,1840	6,14	5,78	0,1950
MLR	3,39	2,92	0,2428	6,81	5,89	0,1482

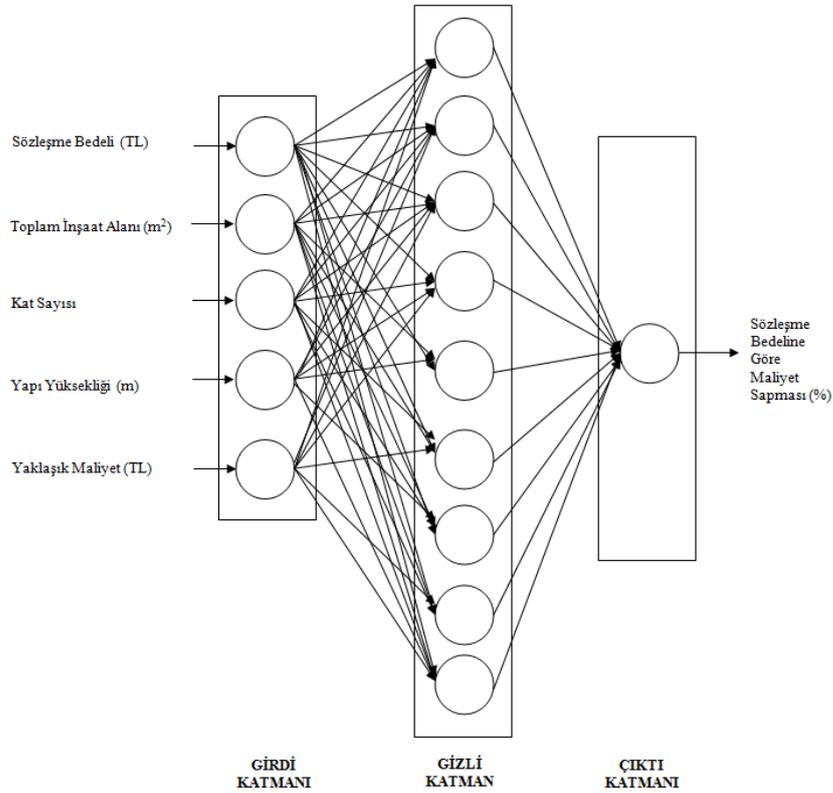
Tablo 4.74'de yer alan değerlere göre, eğitime ve test aşamaları için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:9, iterasyon sayısı:13 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-9-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için birinci ve ikinci kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:9 ve dağılma parametresi:1,8 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifadeyle 5-9-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:6 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için beşinci kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da GPA yöntemindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,20 ve iterasyon sayısı:10 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise dördüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren dördüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -2,71 + 0,000002 \cdot x_1 - 0,00205 \cdot x_2 - 0,130 \cdot x_3 + 0,794 \cdot x_4 \quad (4.66)$$

Şeklinde dir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Adana için oluşturulan maliyet sapması modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen P_{örneklem}

değerleri, $P_{kritik}=0,05$ değerinden büyük oldukları için, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizinin anlamsız olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin bütün kombinezonları için $F_{örneklem} < F_{kritik}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın kabul edileceği anlamı taşımaktadır. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı söylenebilir. Maliyet sapması modeli için optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.112'de gösterilmiştir.



Şekil 4.112. Adana için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-9-1)

Modellemenin eğitime ve test aşamalarında en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL) verilerinin her birinin birlikte

kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan yaklaşık maliyet sahiptir. Analizin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-2,22, ortancanın %6,52 ve en büyüğünün %16,51 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=5,22 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

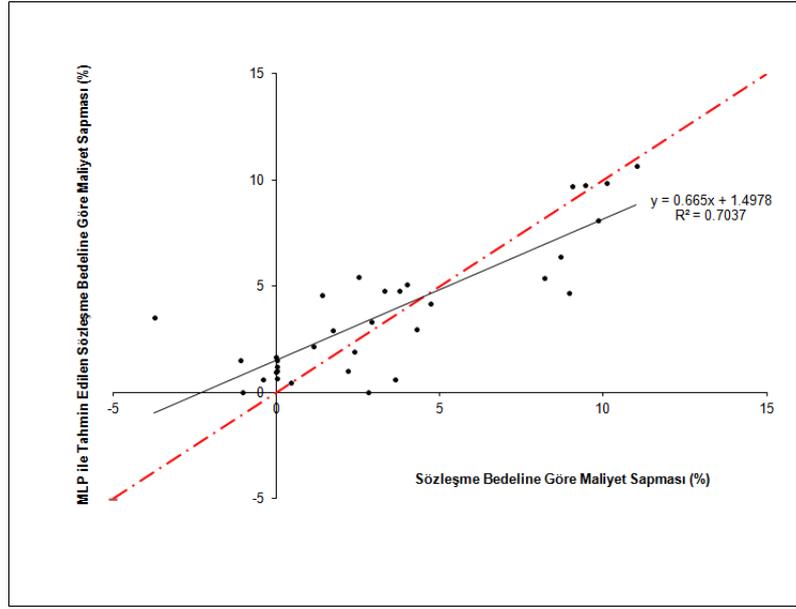
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{5,22}{-2,22} \right) x 100 = \% -235,13 \quad (4.67)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{5,22}{6,52} \right) x 100 = \%80,06 \quad (4.68)$$

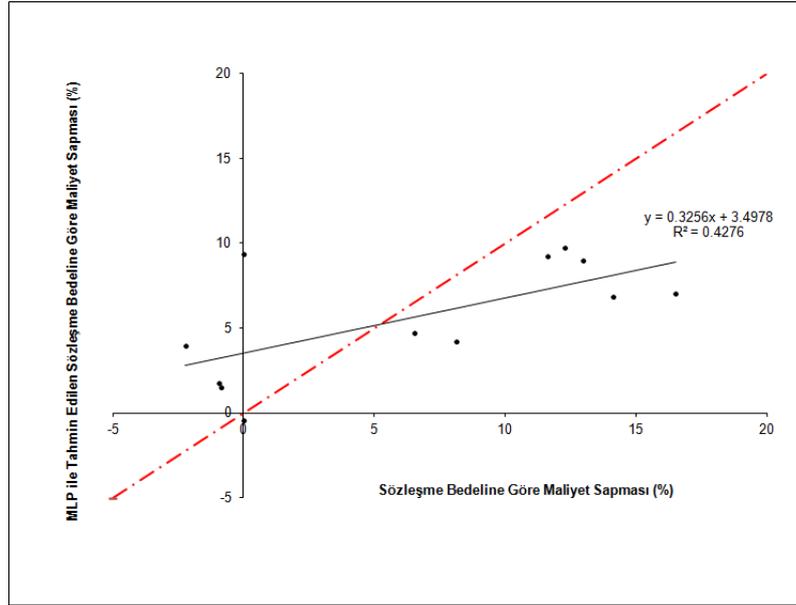
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{5,22}{16,51} \right) x 100 = \%31,62 \quad (4.69)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=4,36 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-196,40, %66,87 ve %26,41 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,4276 olup, bu değer, modellemeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin %42,76 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,4276 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ve optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.113'de ve Şekil 4.114'de verilmiştir.



Şekil 4.113. Adana için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.114. Adana için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.113’de, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 33 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.114’de ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 12 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$

doğrusu ile farklı doğrultularda seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında dağınık saçılma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerlerle tahmini değerlerin birbirinden uzak oldukları ve dolayısıyla modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Optimum MLP analizinin eğitme ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu göstermektedir.

Süresel Sapma Modeli

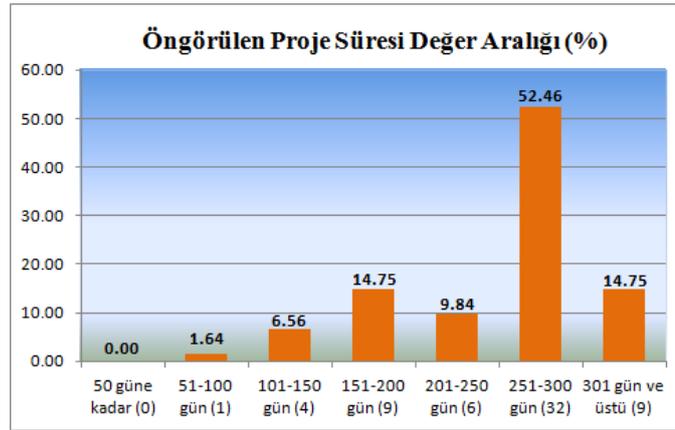
Adana için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 61 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.75’de verilmiştir.

Tablo 4.75. Adana için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

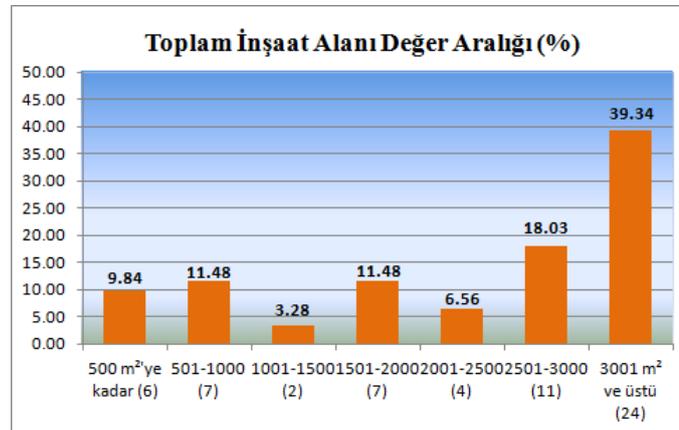
Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	80,00	274,00	1,00	3,20	114.600,00
Maks. Değer	760,00	5691,00	10,00	21,25	4.772.000,00
Aritmetik Ortalama	275,80	2474,95	4,10	12,49	971.074,31
Standart Sapma	101,64	1378,88	1,96	4,20	733.502,74
Değişim Katsayısı (%)	36,85	55,71	47,71	33,63	75,54

Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 80-760 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 274-5691 m² aralığında, kat sayısı 1-10 aralığında, yapı yüksekliği 3,20-21,25 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 114.600-4.772.000 TL aralığında değişmektedir. Yapı yüksekliği parametresi dışındaki bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bütün parametrelerin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verinin sözleşme bedeli olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise yapı yüksekliği verileridir.

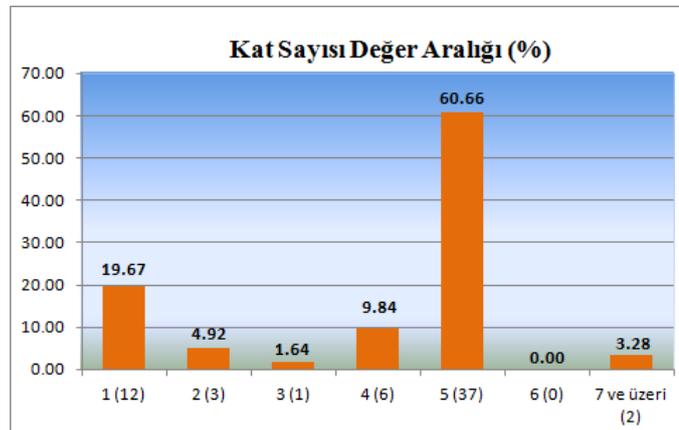
Süresel sapma modeli için; Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden temin edilen toplam 61 verinin 2003-2007 yılları arasına ait 48 tanesi (%79) eğitim aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 13 tanesi (%21) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 61'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.115'deki gibidir.



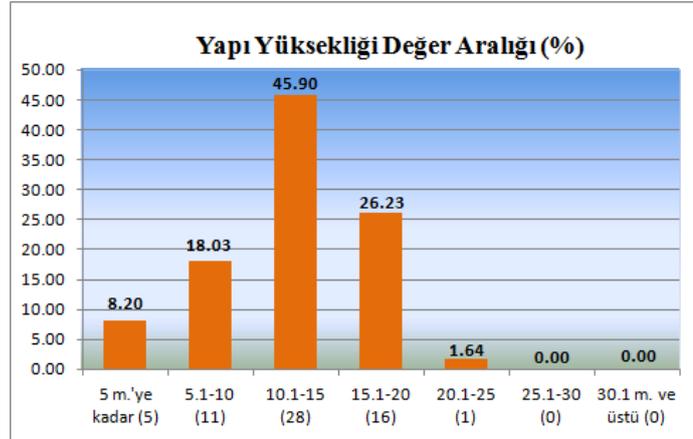
4.115.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



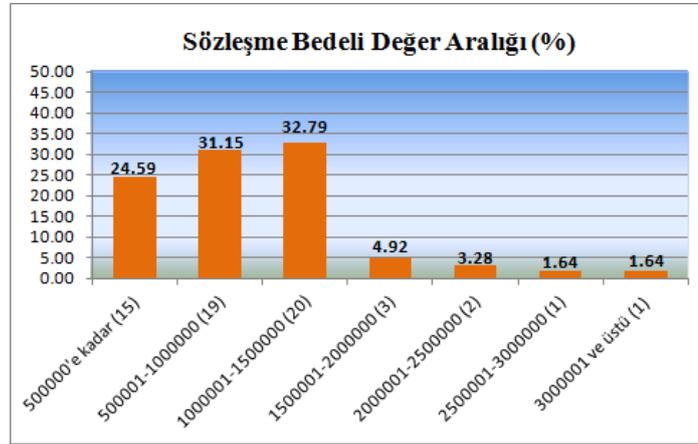
4.115.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.115.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.115.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

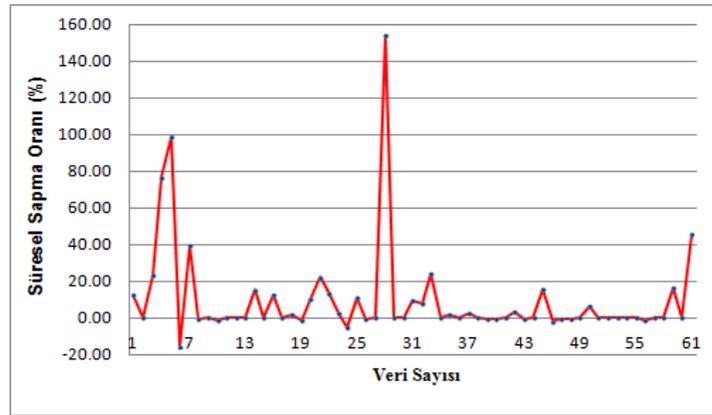


4.115.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.115. Adana için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.115'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %52,46'sının öngörülen proje süresi 251-300 gün aralığında, %39,34'ünün toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %60,66'sı beş katlı, %45,90'ının yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %32,79'unun sözleşme bedeli 1.000.001-1.500.000 TL aralığındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.116'da yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.116. Adana için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-15,60 ile %153,75 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %9,77 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Adana’da yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapmanın düşük olduğu ve dolayısı ile bu şehirde, gerçekleşen proje süreleri ile öngörülen proje süreleri arasında makul düzeyde farklılıkların olduğu söylenebilir.

Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinasyonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.76’da verilmiştir.

Tablo 4.76. Adana için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	36,60	-0,0942	-	-	-	-
2	37,15	-0,0849	-0,00120	-	-	-
3	34,30	-0,1518	-0,00503	7,00	-	-
4	19,16	-0,1442	-0,00770	4,53	2,37	-
5	24,31	-0,1954	-0,01016	6,03	2,32	0,000009

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.76'da verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.77'de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.77'de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.78'de verilmiştir.

Tablo 4.77. Adana için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.77.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	20,30	12,97	0,4840	11,90	9,51	0,1890
2	29,51	15,96	0,0110	12,56	9,70	0,0850
3	22,21	12,32	0,6110	12,68	8,30	0,0060
4	8,99	6,16	0,8992	11,78	7,32	0,2294
5	10,28	8,06	0,8710	12,30	7,31	0,0560

4.77.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	18,70	11,04	0,2960	13,14	10,49	0,1070
2	11,28	10,95	0,0150	15,32	11,96	0,1150
3	11,23	10,90	0,0140	14,29	11,49	0,1090
4	10,77	10,72	0,0010	13,65	11,80	0,0030
5	10,77	10,72	0,0010	13,59	11,59	0,0060

4.77.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	27,28	16,75	0,0670	17,60	13,55	0,0310
2	25,72	16,33	0,1710	16,39	13,21	0,0050
3	13,42	9,01	0,7740	29,12	17,45	0,1350
4	10,80	7,77	0,8540	52,19	33,80	0,5420
5	8,27	5,38	0,9140	52,83	37,25	0,1820

4.77.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	24,31	14,80	0,2590	13,31	10,87	0,0730
2	20,40	11,95	0,4870	17,65	11,15	0,0040
3	30,32	12,22	NaN	13,56	5,37	NaN
4	247,83	42,32	0,0040	15,43	8,76	0,4980
5	34,93	14,07	0,1050	68,98	35,49	0,0230

4.77.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	26,70	16,86	0,1064	18,01	13,81	0,0292
2	26,67	16,91	0,1082	18,75	14,38	0,0416
3	25,34	16,49	0,1953	24,23	14,97	0,0691
4	24,96	16,40	0,2191	23,80	14,48	0,1512
5	24,63	16,20	0,2396	25,45	15,79	0,1254

Tablo 4.78. Adana için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	8,99	6,16	0,8992	11,78	7,32	0,2294
RBF	18,70	11,04	0,2960	13,14	10,49	0,1070
GPA	25,72	16,33	0,1710	16,39	13,21	0,0050
SCA	24,31	14,80	0,2590	13,31	10,87	0,0730
MLR	26,70	16,86	0,1064	18,01	13,81	0,0292

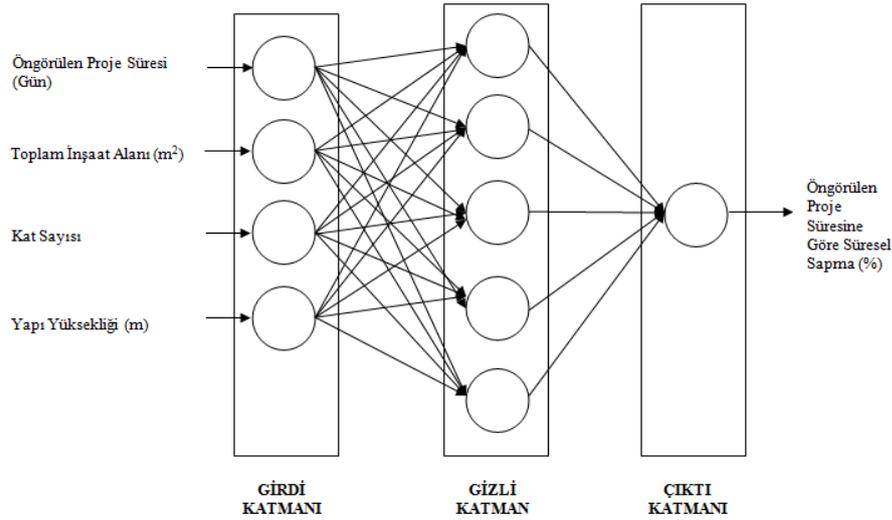
Tablo 4.78'de yer alan değerlere göre, eğitime ve test aşamaları için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:5, iterasyon sayısı:18 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 4-5-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için beşinci kombinezondan elde edilen optimum sonuçta da aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:4 ve dağılma parametresi:0,2 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 1-4-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan, üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için birinci kombinezon dışındaki bütün kombinezonlarda giriş

üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da RBF yöntemindeki gibi birinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,14 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da RBF ve SCA yöntemlerindeki gibi birinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren birinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 36,60 - 0,0942 \cdot x_1 \quad (4.70)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Adana için oluşturulan süresel sapma modelinin ikinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, süresel sapma modelinin ikinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin ikinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Süresel sapma modelinin ikinci kombinezonu içinse yapılan analizin anlamsız olduğu söylenebilir. Zaten süresel sapma modeli için optimum sonuçlar, MLP analizinin dördüncü kombinezonundan elde edilmiştir. Dördüncü kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.117'de gösterilmiştir.



Şekil 4.117. Adana için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (4-5-1)

Süresel sapma modeli için en yüksek performansı gösteren MLP yöntemi için optimum sonuçların dördüncü kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı ve yapı yüksekliği (m) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı, beşinci girdi olan sözleşme bedeli (TL) verisinin ise modellemenin performansını azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise dördüncü girdi konumunda bulunan yapı yüksekliği sahiptir. Analizlerin test aşamalarında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-1,37, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %45,50 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=11,78 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

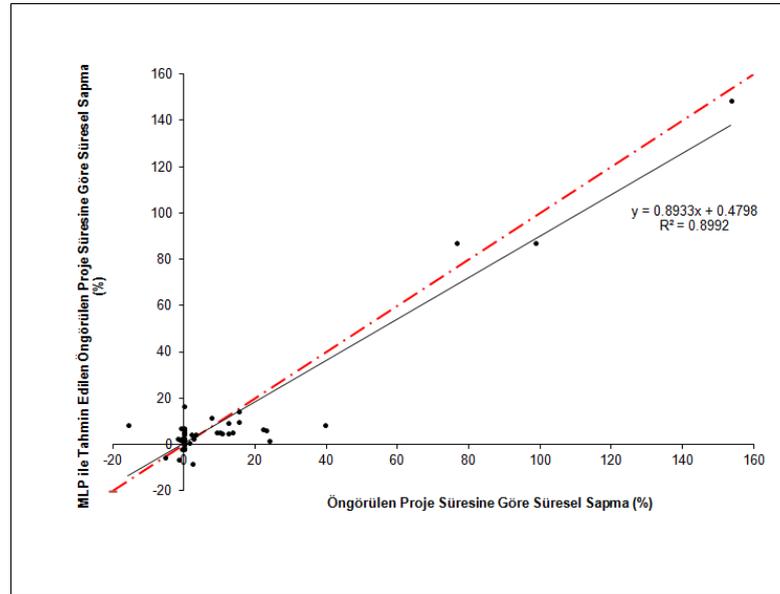
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{11,78}{-1,37} \right) \times 100 = \% -859,85 \quad (4.71)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{11,78}{0,00} \right) \times 100 = \infty \quad (4.72)$$

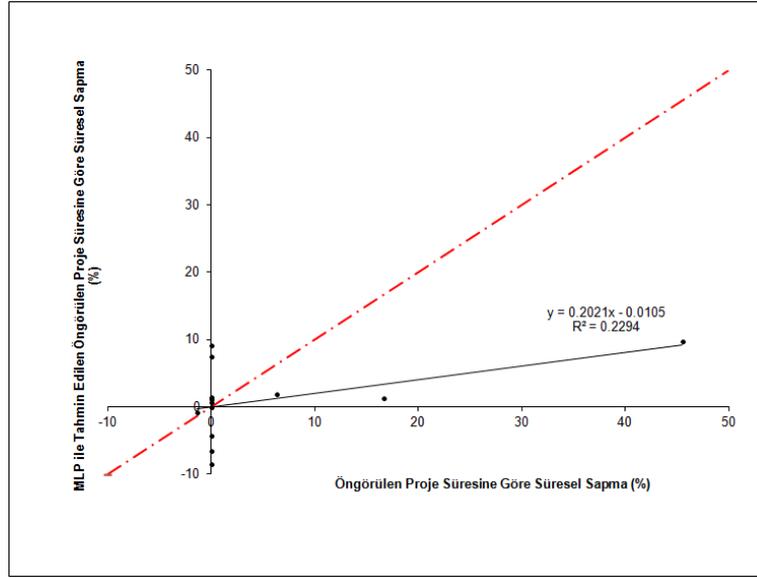
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{11,78}{45,50} \right) \times 100 = \%25,89 \quad (4.73)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=7,32 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-534,31 ve %16,09 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,2294 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %22,94 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,2294 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen; öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanmış olan süresel sapma değerleri ile optimum MLP modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.118'de ve Şekil 4.119'da verilmiştir.



Şekil 4.118. Adana için optimum MLP modelinin eğitime aşamasındaki saçılma diyagramı.



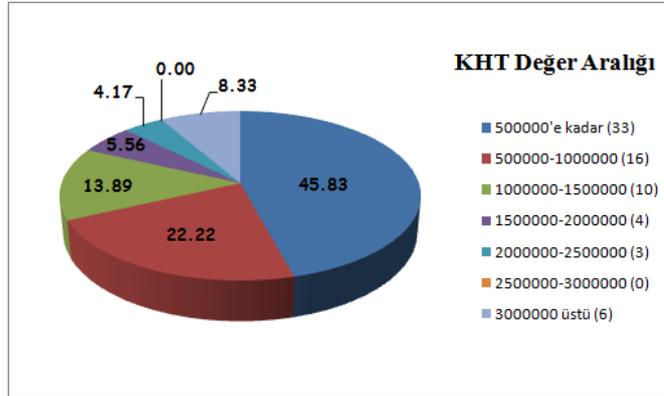
Şekil 4.119. Adana için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.118'de, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 48 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.119'da ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 13 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 4.118 için; eğilim çizgisinin simetrik $y=x$ doğrusu ile yaklaşık aynı doğrultuda ve yakın seyrettiği görülmektedir. Şekil 4.119 içinse eğilim çizgisinin simetrik $y=x$ doğrusundan ziyade yatay x eksenine daha yakın seyrettiği ve $y=x$ doğrusu ile farklı doğrultularda yer aldığı görülmektedir. Bununla birlikte, Şekil 4.119'daki verilerin Şekil 4.118'deki verilere nazaran eğilim çizgilerinin etrafında daha dağınık saçılıma sahip oldukları görülmektedir. Bu durumda, optimum MLP analizinin eğitime aşamasının başarılı olduğu ancak test aşamasının başarısız olduğu ifade edilebilir. Optimum MLP analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de bu iddiayı doğrular niteliktedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, eğitime aşamasından elde edilen $R^2 = 0,8992 > 0,80$ sonucu, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin kuvvetli olduğunu göstermektedir [84]. Test aşamasından elde edilen $R^2 = 0,2294 < 0,80$ sonucu ise gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir [84].

4.1.7. Trabzon'dan ve Samsun'dan Elde Edilen Bulgular

Tez çalışması kapsamında, Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 21 kamu yapım işinin ihale dosyası incelenmiştir. Trabzon'da incelenen ihale dosyalarının beklenen sayının altında kalması nedeniyle, Karadeniz bölgesinden ek olarak farklı bir şehirde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde çalışma yapılması gerekliliği doğmuştur. Bu kapsamda, Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 67 kamu yapım işinin ihale dosyası incelenmiştir. Böylece, Karadeniz bölgesi için Trabzon ve Samsun şehirlerinden toplam 88 ihale dosyası incelenmiş ve tez çalışmasının bu bölümünde, ilgili şehirlerden temin edilen veriler Karadeniz bölgesi kapsamında toplu olarak değerlendirilmiştir.

Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünün ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünün arşiv kayıtları incelenerek, 2003-2010 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 88 kamu yapım işinin 72'sinin kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.120'de verilmiştir.

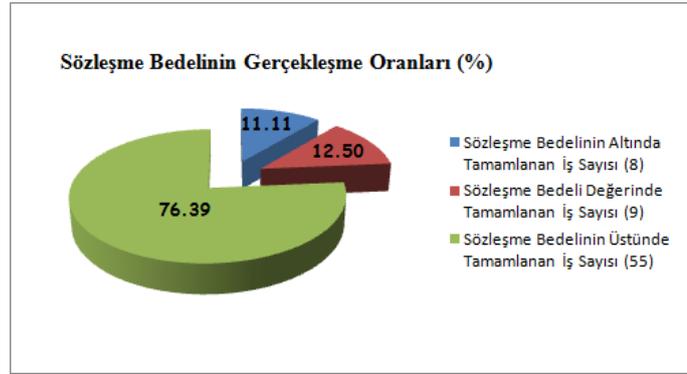


Şekil 4.120. Trabzon'daki ve Samsun'daki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

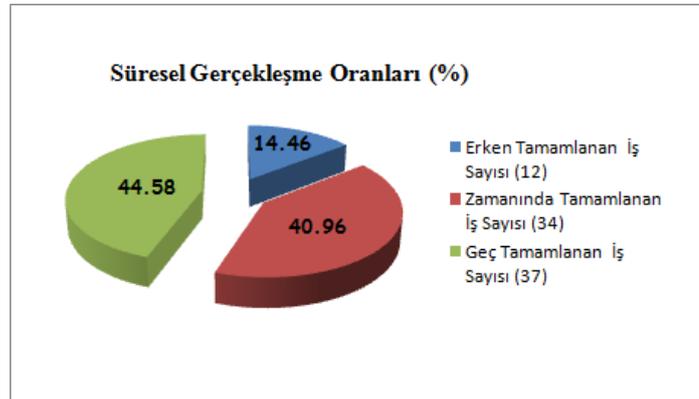
İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %45,83'ü 500.000 TL'nin altındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 116.500 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 37.887.859 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 1.963.198,85 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, Karadeniz Bölgesi'nde

yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının yüksek olduğu ve bu bölgede, kamu yapım işi hacminin geniş olduğu söylenebilir.

Karadeniz Bölgesi'nde tamamlanan 72 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.121'de, 83 yapım işinin süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.122'de gösterilmiştir.



Şekil 4.121. Trabzon'daki ve Samsun'daki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)



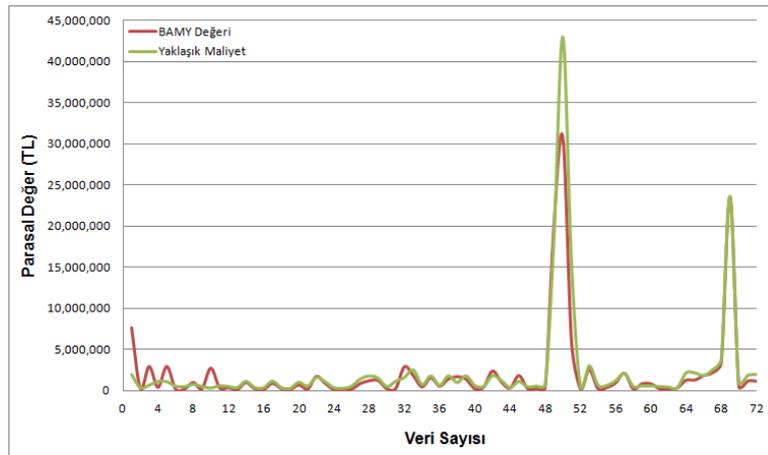
Şekil 4.122. Trabzon'daki ve Samsun'daki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

Karadeniz Bölgesi'nde yer alan yapım işlerinin %76,39'u sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, %12,50'si sözleşme bedeli değeri ile ve %11,11'i sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmıştır. Bununla birlikte, yapım işlerinin %44,58'i öngörülen proje süresinden daha geç

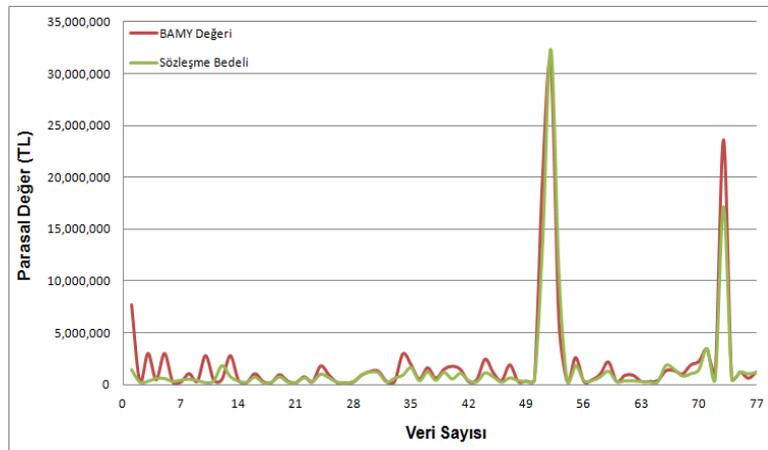
tamamlanmışken, %40,96'sı zamanında ve %14,46'sı öngörülen proje süresinden daha erken tamamlanmıştır.

Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

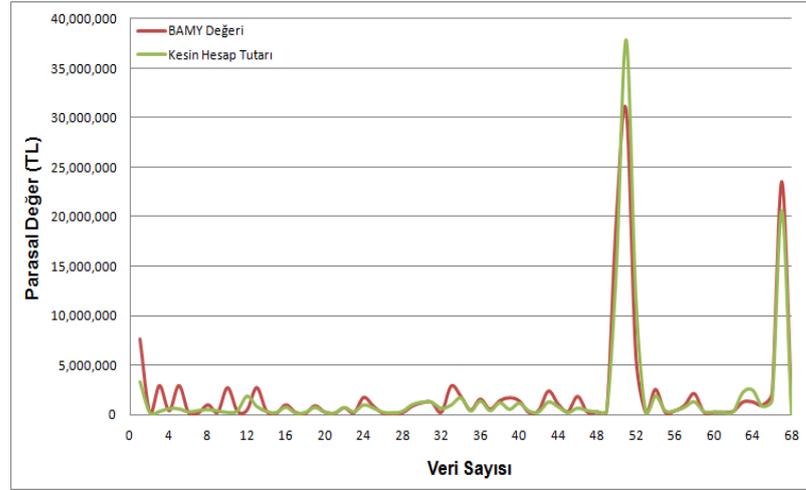
Arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 72 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.123'de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli değerleri temin edilmiş olan 77 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.124'de verilmiştir. 68 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.125'de verilmiştir.



Şekil 4.123. Trabzon ve Samsun için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.

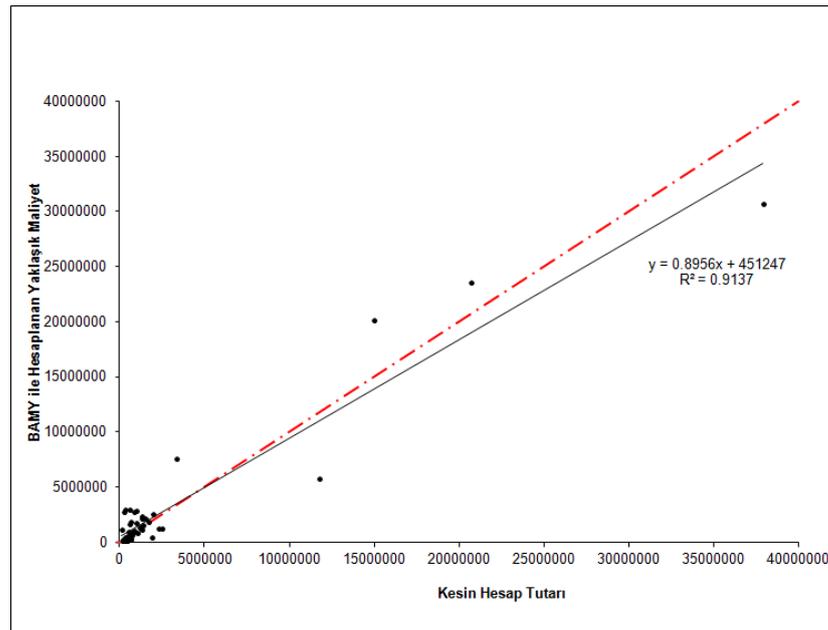


Şekil 4.124. Trabzon ve Samsun için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.125. Trabzon ve Samsun için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her üç şekil için de; kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.125, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin büyük çoğunluğunun kesin hesap tutarlarına göre daha büyük değerlere sahip olduklarını göstermektedir. Şekil 4.125'in anlam düzeyini artırabilmek adına, 68 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.126'da verilmiştir.



Şekil 4.126. Trabzon ve Samsun için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.126'da görülen doğrusal $y=0.8956x+451247$ denklemi, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığını ancak $y=x$ doğrusuna oldukça yakın olduğunu göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,9137>0,80$ sonucu, iki değişken arasındaki korelasyonun güçlü olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.126'da verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.79'da verilmiştir.

Tablo 4.79. Trabzon ve Samsun için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2003	1	7.678.684,00	3.336.176,00	130,16
2005	12	14.944.171,00	6.785.389,51	120,24
2006	20	14.358.265,00	11.590.871,00	23,88
2007	19	73.500.513,00	76.313.512,00	-3,69
2008	13	11.555.796,00	11.885.514,95	-2,77
2009	1	2.216.100,00	1.475.419,00	50,20
2010	2	24.791.394,00	20.768.192,00	19,37
TOPLAM	68	149.044.923,00	132.155.074,46	12,78

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %12,78'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak; 2007 ve 2008 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %3,69 ve %2,77 oranlarında daha düşük hesaplanmışlardır. Yıl bazında, sapma oranının 2003 yılında %130,16'ya ulaştığı görülmektedir. BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler ve ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları için Şekil 4.126'dan tatminkâr R^2 değeri elde edilmiş olsa da, Tablo 4.79'dan elde edilen %12,78'lik toplam sapma oranının makul seviyede olmadığı ifade edilebilir. Bu nedenle, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

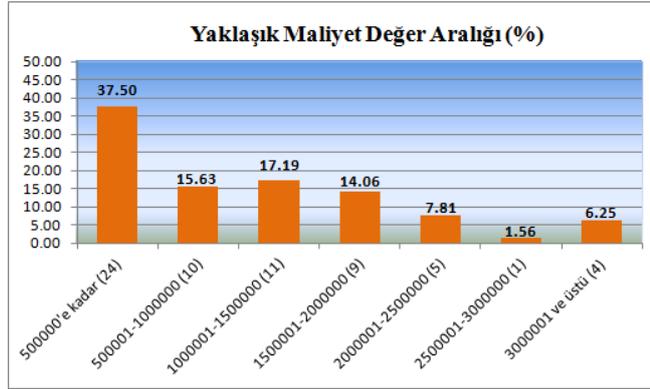
Karadeniz Bölgesi için maliyet modelinde kullanılan toplam 64 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.80’de verilmiştir.

Tablo 4.80. Trabzon ve Samsun için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

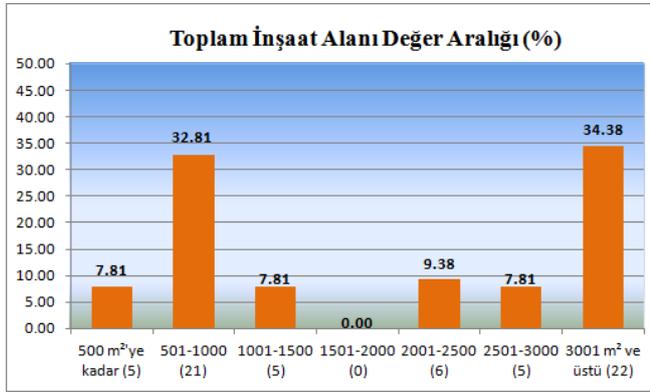
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	204.039,00	350,00	1,00	3,00	162.000,00
Maks. Değer	43.055.298,00	48065,00	14,00	44,80	32.294.513,00
Aritmetik Ortalama	2.476.423,28	4058,47	4,09	12,22	1.759.524,08
Standart Sapma	6.521.504,47	7873,69	2,29	7,06	4.835.883,91
Değişim Katsayısı (%)	263,34	194,01	55,86	57,76	274,84

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 204.039-43.055.298 TL aralığında, toplam inşaat alanı 350-48065 m² aralığında, kat sayısı 1-14 aralığında, yapı yüksekliği 3,00-44,80 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 162.000-32.294.513 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani girdi parametrelerinin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin değişim katsayılarının; kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin; kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verilerin sözleşme bedeli verileri olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise kat sayısı verileridir.

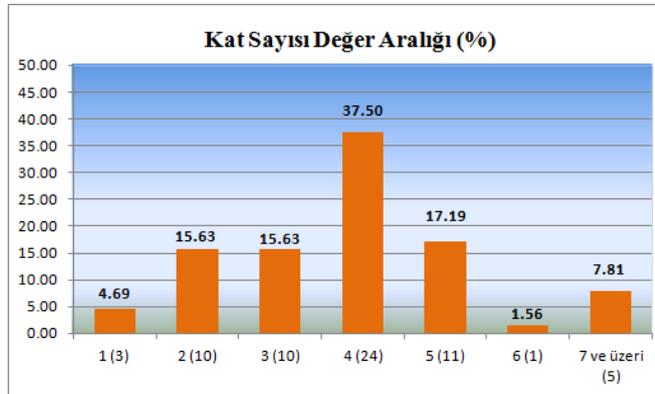
Maliyet modeli için; Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 64 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 49 tanesi (%77) eğitim aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 15 tanesi (%23) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 64’er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.127’de verilmiştir.



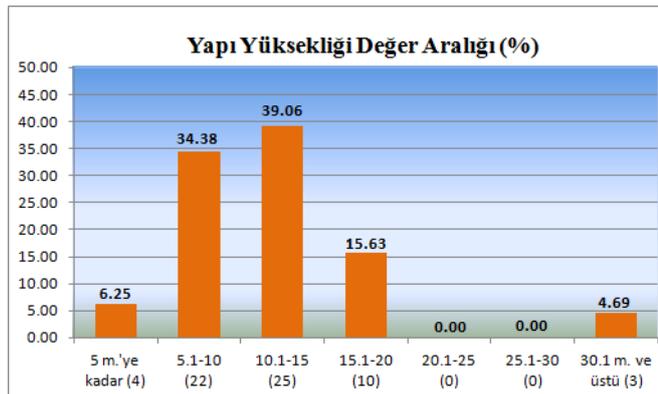
4.127.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



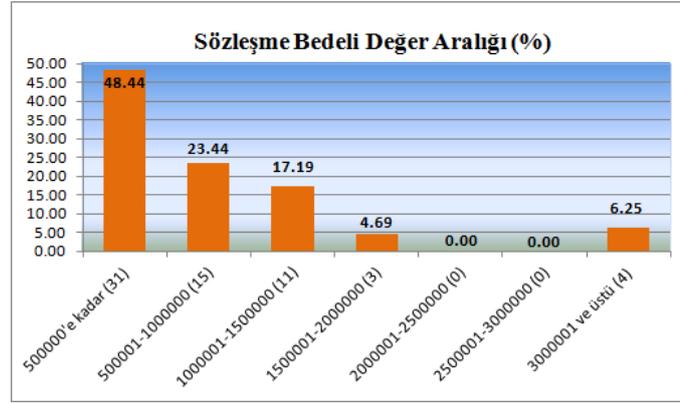
4.127.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.127.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.127.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.127.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.127. Trabzon ve Samsun için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.127'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %37,50'sinin yaklaşık maliyeti 500.000 TL'nin altında, %34,38'inin toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %37,50'si dört katlı, %39,06'sının yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %48,44'ünün sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.81'de verilmiştir.

Tablo 4.81. Trabzon ve Samsun için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	-123749	0,863	-	-	-	-
2	-176935	0,822	37,12	-	-	-
3	-241224	0,826	28,17	22233	-	-
4	178323	0,840	55,21	72347	-64925	-
5	20745	-0,486	-12,03	152364	-53642	1,84

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.81’de verilen kesişim sabitleri ve katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.82’de verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.82’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.83’de verilmiştir.

Tablo 4.82. Trabzon ve Samsun için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.82.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	272820,00	100230,00	0,9980	479130,00	282100,00	0,9910
2	256960,00	123230,00	0,9980	474220,00	268950,00	0,9910
3	64141,00	45278,00	1,0000	452440,00	254340,00	0,9920
4	69199,00	48566,00	1,0000	462140,00	262910,00	0,9910
5	164170,00	115350,00	0,9992	382110,00	235300,00	0,9944

4.82.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	6108000,00	1937200,00	0,9980	484550,00	295040,00	0,9910
2	6105300,00	1937200,00	0,9970	470980,00	276650,00	0,9910
3	6097200,00	1937200,00	0,9940	471270,00	263560,00	0,9910
4	6114100,00	1937200,00	1,0000	481040,00	277130,00	0,9910
5	6114500,00	1937200,00	0,9999	369950,00	172990,00	0,9945

4.82.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	382990,00	190630,00	0,9956	503620,00	332620,00	0,9903
2	280380,00	126770,00	0,9980	544140,00	341650,00	0,9910
3	57270,00	39275,00	1,0000	4400200,00	1372000,00	0,7020
4	79684,00	59250,00	1,0000	1696700,00	674760,00	0,9890
5	27351,00	19541,00	1,0000	1152500,00	456310,00	0,9940

4.82.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	436300,51	268370,00	0,9944	519934,30	359644,00	0,9893
3	6114582,01	1937210,00	NaN	5458261,54	2219800,00	NaN
4	286948,67	178808,00	0,9980	543296,80	351793,00	0,9880
5	1102131,88	687617,00	0,9680	1040750,53	729852,00	0,9810

4.82.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	383003,78	190623,98	0,9956	503964,08	333200,62	0,9903
2	369458,53	212796,52	0,9959	501326,51	348274,04	0,9900
3	368565,23	217436,90	0,9960	502633,71	353190,13	0,9901
4	287034,90	189486,87	0,9976	566326,02	403649,26	0,9874
5	151712,19	112487,20	0,9993	524236,23	291318,30	0,9941

Tablo 4.83. Trabzon ve Samsun için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	164170,00	115350,00	0,9992	382110,00	235300,00	0,9944
RBF	6114500,00	1937200,00	0,9999	369950,00	172990,00	0,9945
GPA	382990,00	190630,00	0,9956	503620,00	332620,00	0,9903
SCA	436300,51	268370,00	0,9944	519934,30	359644,00	0,9893
MLR	369458,53	212796,52	0,9959	501326,51	348274,04	0,9900

Tablo 4.83'de yer alan değerlere göre; eğitim aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:10, iterasyon sayısı:9 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-10-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için ikinci kombinezon dışındaki bütün kombinezonların optimum sonuçlarında aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:10 ve dağılma parametresi:1,6 değerleri ile elde edilmiş ve 5-10-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu

türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için dördüncü kombinezon dışındaki bütün kombinezonların optimum sonuçlarında giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da SCA yöntemindeki gibi ikinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren ikinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -176935 + 0,822 \cdot x_1 + 37,12 \cdot x_2 \quad (4.74)$$

Şeklinde. Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Trabzon ve Samsun için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 hipotezinin reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet modeli için; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.79 olarak verilmiş olan BAMY-KHT ilişkisine ek olarak, bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri de Tablo 4.84'de verilmiştir.

Tablo 4.84. Trabzon ve Samsun için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	68	149.044.923,00	132.155.074,46	12,78
MLP	64	127.583.113,01	128.220.118,00	-0,50
RBF	64	128.631.389,45	128.220.118,00	0,32
GPA	64	128.924.703,28	128.220.118,00	0,55
SCA	64	128.603.445,20	128.220.118,00	0,30
MLR	64	128.597.459,02	128.220.118,00	0,29

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %12,78'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP'den %0,50'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışken; RBF'den %0,32'lik sapma oranı, GPA'dan %0,55'lik sapma oranı, SCA'dan %0,30'luk sapma oranı ve MLR'den %0,29'luk sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durumda; kullanılan bütün yöntemlerin BAMY yaklaşımına göre daha yüksek performans gösterdikleri söylenebilir. Kullanılan yöntemler kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise MLR yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği ifade edilebilir.

Maliyet modeli için sırasıyla en yüksek performansları gösteren MLR ve SCA yöntemlerinin optimum sonuçlarının ikinci kombinezonlardan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL) ve toplam inşaat alanı (m²) verilerinin modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en yüksek etkiye ikinci girdi konumunda bulunan toplam inşaat alanı sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 116.500 TL, ortancanın 408.959 TL ve en büyüğünün 20.651.692 TL olduğu düşünüldüğünde, MLR yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=501.326,51 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{501.326,51}{116.500,00} \right) \times 100 = \%430,32 \quad (4.75)$$

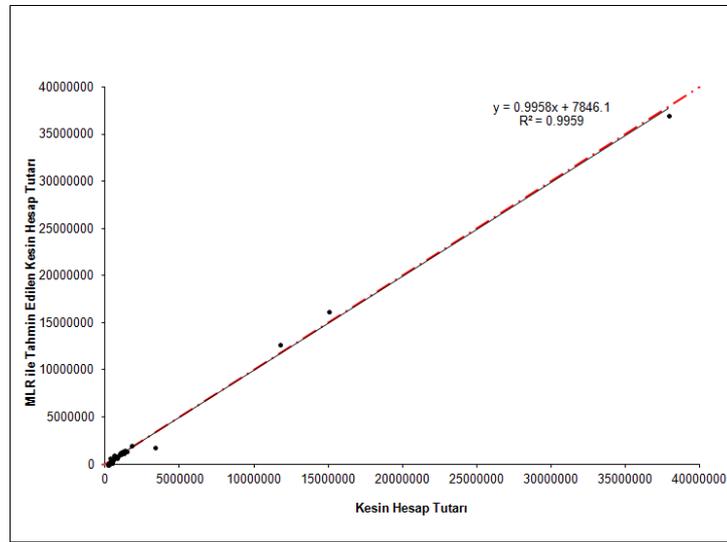
$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{501.326,51}{408.959,00} \right) \times 100 = \%122,59 \quad (4.76)$$

$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{501.326,51}{20.651.692,00} \right) \times 100 = \%2,43 \quad (4.77)$$

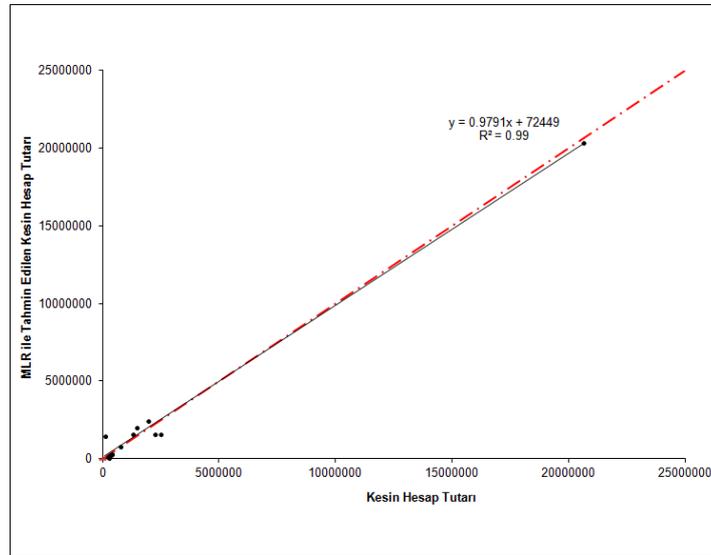
Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLR yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=348.274,04 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %298,95, %85,16 ve %1,69 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLR yönteminin test aşamasından elde edilen R² değeri de 0,9900 olup, bu

değer, kesin hesap tutarlarının %99,00 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9900 > 0,80$ sonucu, oldukça güçlü bir korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum MLR analizinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.128’de ve Şekil 4.129’da verilmiştir.



Şekil 4.128. Trabzon ve Samsun için optimum MLR modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.129. Trabzon ve Samsun için optimum MLR modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

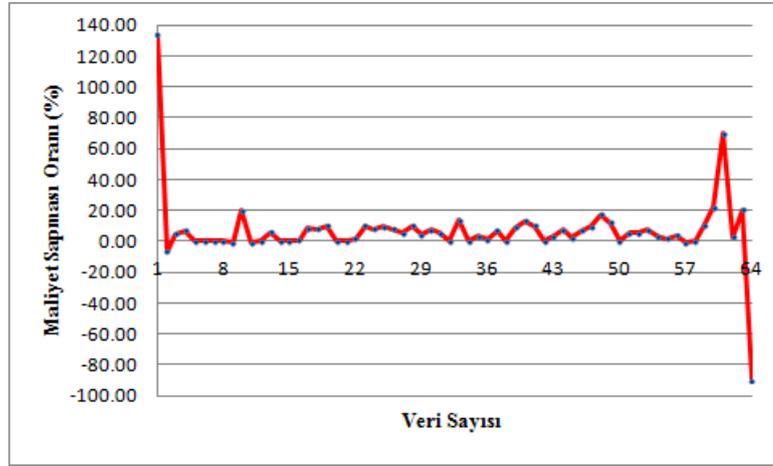
Şekil 4.128’de, MLR modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 49 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.129’da ise MLR modellemesinin test aşamasında kullanılan 15 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekilde de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile aynı doğrultuda ve çok yakın seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında toplu saçılımlara sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirine çok yakın oldukları ve maliyet modeli için MLR analizi ile yapılan tahminin başarılı olduğu söylenebilir. Eğitime ve test aşamaları arasında kıyaslama yapılacak olursa; eğitime aşamasının saçılma diyagramının, test aşamasının saçılma diyagramına göre biraz daha toplu olduğu ifade edilebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime aşamasında R^2 değeri 0,9959 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9900 olarak hesaplanmıştır. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9959 > 0,80$ ve $R^2 = 0,9900 > 0,80$ sonuçları, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkilerin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedir [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 64 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.80’deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Maliyet sapması modeli için; Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 64 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 49 tanesi (%77) eğitime aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 15 tanesi (%23) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki

dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.127'deki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.130'da yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.130. Trabzon ve Samsun için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri % -90,03 ile %133,48 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %6,87 olarak elde edilmiştir. Buna göre; Karadeniz bölgesinde yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile bu bölgede kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre küçük farklılıklara sahip oldukları söylenebilir.

Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.85'de verilmiştir.

Tablo 4.85. Trabzon ve Samsun için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	7,00	0,0000004	-	-	-	-
2	2,59	-0,0000039	0,00287	-	-	-
3	-20,34	-0,0000019	-0,00049	8,03	-	-
4	1,47	-0,0000010	0,00096	10,63	-3,37	-
5	0,92	0,0000056	0,00075	10,90	-3,33	-0,000005

Maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.85’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.86’da verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.86’da sıralanmıştır. Kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.87’de verilmiştir.

Tablo 4.86. Trabzon ve Samsun için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.86.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	18,54	6,75	0,0530	30,13	14,53	0,0300
2	17,92	6,89	0,1530	30,01	14,15	0,0290
3	14,34	8,92	0,4390	29,33	15,60	0,1060
4	7,37	5,51	0,8649	29,22	14,16	0,1267
5	6,88	5,19	0,8680	29,33	14,13	0,1680

4.86.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	7,85	7,44	0,0180	30,35	14,71	0,0270
2	11,01	7,56	0,1860	30,25	14,99	0,0200
3	14,22	10,32	0,4139	29,21	14,91	0,0891
4	9,68	7,67	0,1080	29,38	15,12	0,0960
5	19,72	7,44	0,9420	29,33	14,16	0,1830

4.86.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	18,73	7,17	0,0190	30,36	14,79	0,0280
2	18,13	7,74	0,0800	30,35	15,08	0,0220
3	4,47	3,66	0,9440	109,21	41,06	0,0190
4	4,60	3,74	0,9410	29,98	15,25	0,0340
5	4,62	3,70	0,9402	29,53	14,39	0,0772

4.86.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	16,94	8,63	0,2080	30,22	16,06	0,0330
3	20,41	8,02	NaN	30,72	16,24	NaN
4	101,36	25,83	0,9080	35,93	20,49	0,0230
5	295291,20	130867,00	0,4000	30,72	16,24	NaN

4.86.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	18,80	6,98	0,0117	30,44	15,19	0,0251
2	17,17	8,12	0,1756	30,28	15,16	0,0178
3	14,50	9,34	0,4116	29,74	16,49	0,0481
4	8,11	6,67	0,8159	32,74	19,20	0,0254
5	8,22	6,72	0,8118	32,78	19,39	0,0198

Tablo 4.87. Trabzon ve Samsun için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	7,37	5,51	0,8649	29,22	14,16	0,1267
RBF	14,22	10,32	0,4139	29,21	14,91	0,0891
GPA	4,62	3,70	0,9402	29,53	14,39	0,0772
SCA	16,94	8,63	0,2080	30,22	16,06	0,0330
MLR	14,50	9,34	0,4116	29,74	16,49	0,0481

Tablo 4.87’de yer alan değerlere göre; eğitim aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri GPA yönteminden, test aşaması için minimum RMSE değeri RBF yönteminden ve minimum MAE değeri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2,

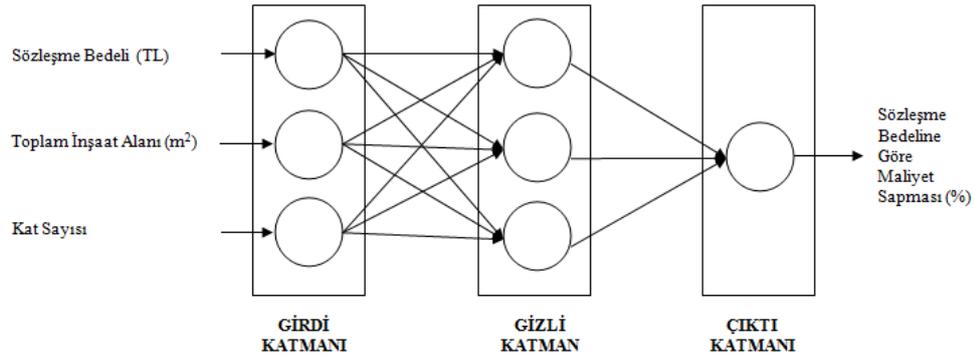
iterasyon sayısı:5 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 4-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için ikinci kombinezon dışındaki bütün kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:3 ve dağılma parametresi:0,3 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:gaussmf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:20 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için ikinci kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:gaussmf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,12 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç da RBF yöntemindeki gibi üçüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren üçüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -20,34 - 0,0000019.x_1 - 0,00049.x_2 + 8,03.x_3 \quad (4.78)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Trabzon ve Samsun için oluşturulan maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu dışındaki bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 hipotezinin reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modeli için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet sapması modelinin birinci kombinezonu içinse yapılan analizin anlamsız

olduğu söylenebilir. Zaten maliyet sapması modeli için optimum sonuçlar, RBF analizinin üçüncü kombinezonundan elde edilmiştir. Üçüncü kombinezondan elde edilen RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.131’de gösterilmiştir.



Şekil 4.131. Trabzon ve Samsun için maliyet sapması modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (3-3-1)

Maliyet sapması modellemesinde en yüksek performansı gösteren RBF analizi için optimum sonuçların üçüncü kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²) ve kat sayısı verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise üçüncü girdi konumunda bulunan kat sayısı sahiptir. Analizin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-90,03, ortancanın %3,90 ve en büyüğünün %69,85 olduğu düşünüldüğünde, RBF yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=29,21 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

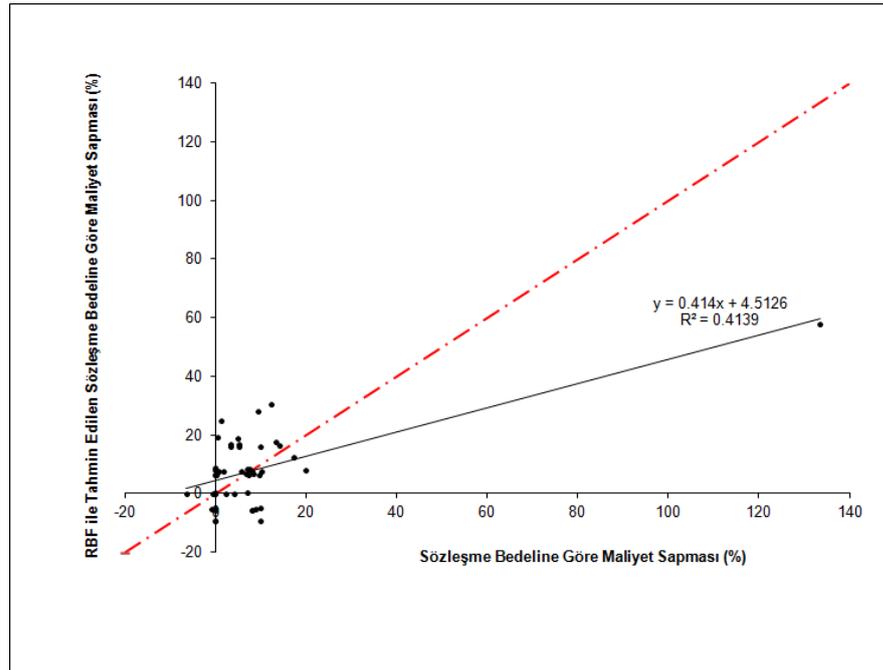
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{29,21}{-90,03} \right) \times 100 = \% -32,44 \quad (4.79)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{29,21}{3,90} \right) \times 100 = \%748,97 \quad (4.80)$$

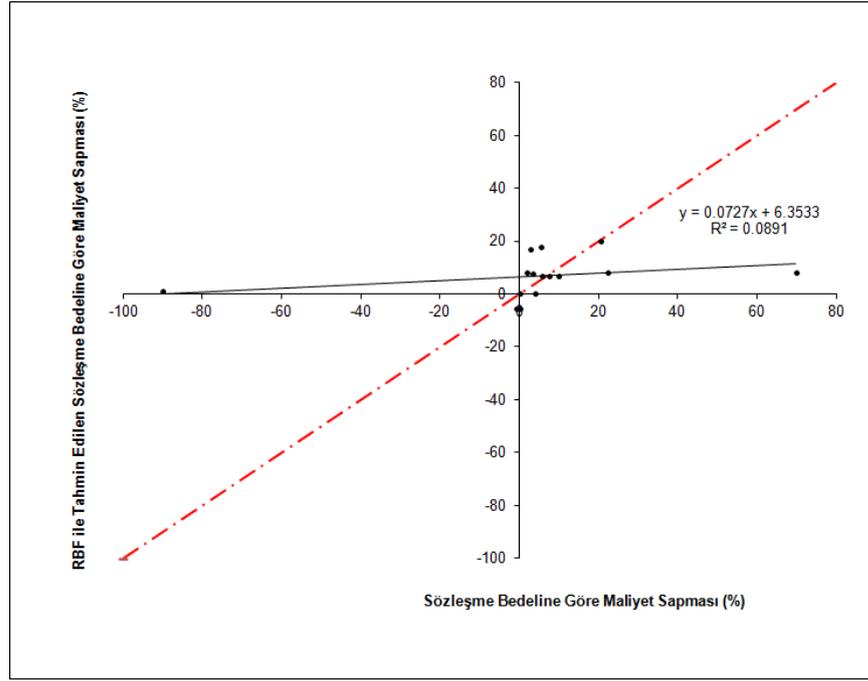
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{29,21}{69,85} \right) \times 100 = \%41,82 \quad (4.81)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=14,91 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-16,56, %382,31 ve %21,35 sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından R^2 değeri 0,0891 olarak elde edilmiş olup, bu değer, modellemeden elde edilen sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerlerinin %8,91 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,0891 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ve optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.132’de ve Şekil 4.133’de verilmiştir.



Şekil 4.132. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin eğitim aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.133. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.132’de, RBF modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 49 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.133’de ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan 15 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu simgeleyen simetrik $y=x$ doğrusu ile farklı doğrultularda ve uzak seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgisinin etrafında dağınık saçılma sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin büyük farklılıklara sahip oldukları ve dolayısıyla modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Optimum RBF analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu göstermektedir.

Süresel Sapma Modeli

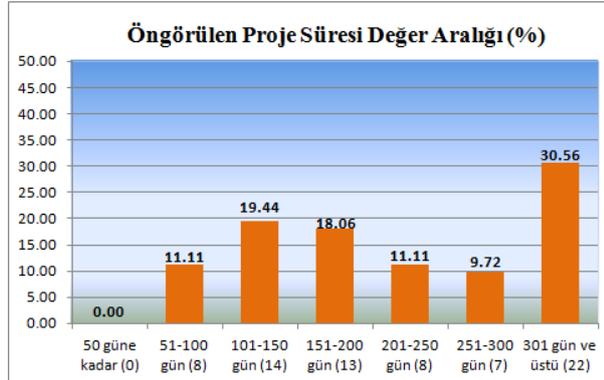
Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 72 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.88’de verilmiştir.

Tablo 4.88. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

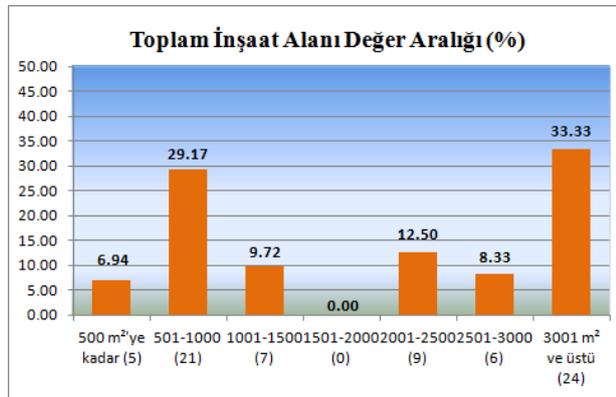
Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	80,00	350,00	1,00	3,00	162.000,00
Maks. Değer	739,00	48065,00	14,00	44,80	32.294.513,00
Aritmetik Ortalama	253,68	3924,53	4,06	12,26	1.697.006,13
Standart Sapma	151,48	7447,93	2,19	6,77	4.568.456,44
Değişim Katsayısı (%)	59,71	189,78	54,10	55,26	269,21

Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 80-739 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 350-48065 m² aralığında, kat sayısı 1-14 aralığında, yapı yüksekliği 3,00-44,80 m. aralığında ve sözleşme bedeli 162.000-32.294.513 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettiği görülmektedir. Yani bütün girdi parametrelerinin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verinin sözleşme bedeli olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise kat sayısı verileridir.

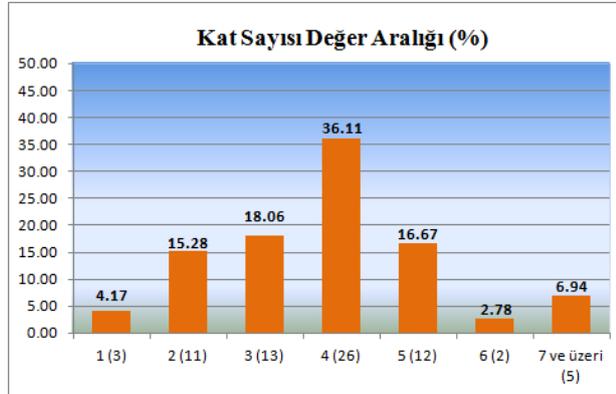
Süresel sapma modeli için; Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 72 adet verinin 2003-2007 yılları arasına ait olan 50 tanesi (%69) eğitim aşaması için, 2008-2010 yılları arasına ait 22 tanesi (%31) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 72'şer verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.134'deki gibidir.



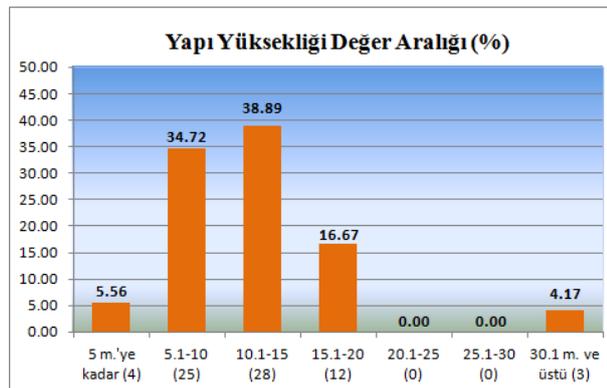
4.134.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



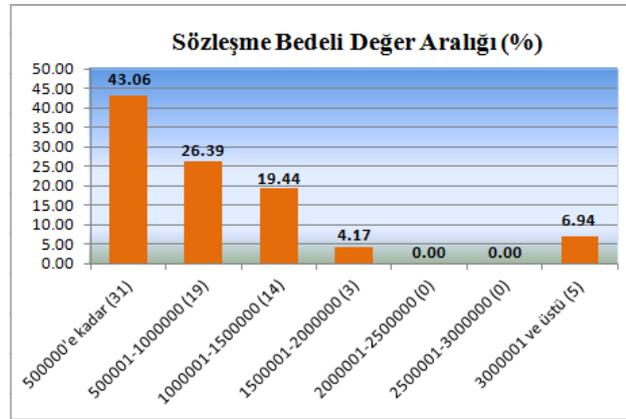
4.134.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.134.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.134.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

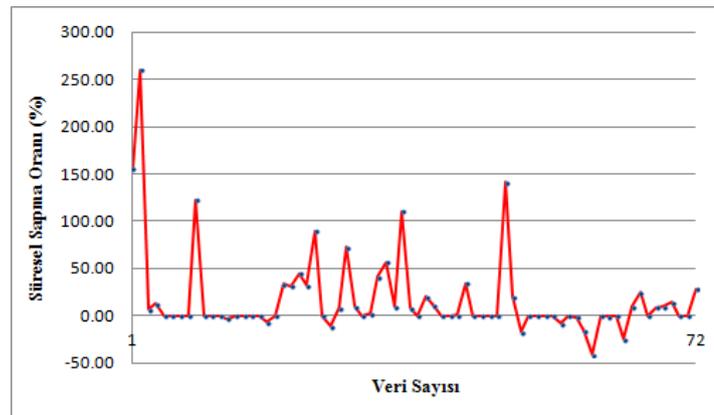


4.134.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.134. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.134'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %30,56'sının öngörülen proje süresi 301 gün ve üzerinde, %33,33'ünün toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %36,11'i dört katlı, %38,89'unun yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %43,06'sının sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.135'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.135. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-41,21 ile %260,00 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %18,18 olarak

elde edilmiştir. Buna göre; Karadeniz bölgesinde yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapmanın yüksek olduğu ve dolayısıyla bu bölgede, öngörülen proje süreleri ile gerçekleşen proje süreleri arasında büyük farklılıkların olduğu söylenebilir.

Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden ve Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.89'da verilmiştir.

Tablo 4.89. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	27,73	-0,0074	-	-	-	-
2	28,20	-0,0331	0,00134	-	-	-
3	7,48	-0,0623	-0,00084	8,77	-	-
4	33,60	-0,0663	0,00156	11,43	-3,87	-
5	34,98	-0,0591	0,00530	8,38	-3,58	-0,000005

Süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.89'da verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.90'da verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.90'da sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.91'de verilmiştir.

Tablo 4.90. Trabzon ve Samsun için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.90.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	55,47	28,81	0,0250	15,57	11,40	0,0000
2	49,29	29,65	0,0990	18,14	13,97	0,2790
3	52,63	25,75	0,1154	14,21	8,35	0,0223
4	50,42	30,30	0,0880	15,03	13,26	0,2340
5	40,26	22,83	0,4060	15,45	12,56	0,2180

4.90.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	26,18	25,74	0,0090	26,36	23,12	0,0570
2	28,05	25,74	0,0470	25,17	21,60	0,0820
3	38,21	27,13	0,3030	21,33	17,38	0,0680
4	41,06	26,59	0,3890	17,85	14,62	0,0980
5	41,06	26,62	0,3889	17,84	14,65	0,0942

4.90.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	51,17	34,47	0,0090	26,32	23,06	0,0560
2	40,28	26,30	0,3860	33,60	23,25	0,1480
3	43,55	28,13	0,2820	23,60	20,14	0,0090
4	40,36	25,77	0,3830	93,99	53,33	0,0210
5	108,56	103,38	0,0000	122,20	121,35	0,0000

4.90.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	48,35	33,98	0,1150	33,45	28,85	0,0330
2	47,86	30,06	0,1430	25,43	16,45	0,0010
3	57,61	27,52	NaN	14,36	8,53	NaN
4	44,39	28,77	0,2550	16,74	13,05	0,2850
5	97,20	43,85	0,1810	23,09	12,81	0,1490

4.90.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	51,38	34,47	0,0005	28,91	25,34	0,0121
2	50,44	33,74	0,0367	26,41	22,99	0,1033
3	49,49	33,39	0,0727	23,93	20,42	0,1130
4	47,54	31,94	0,1443	19,86	16,05	0,0692
5	46,85	30,54	0,1692	19,91	15,88	0,0936

Tablo 4.91. Trabzon ve Samsun için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

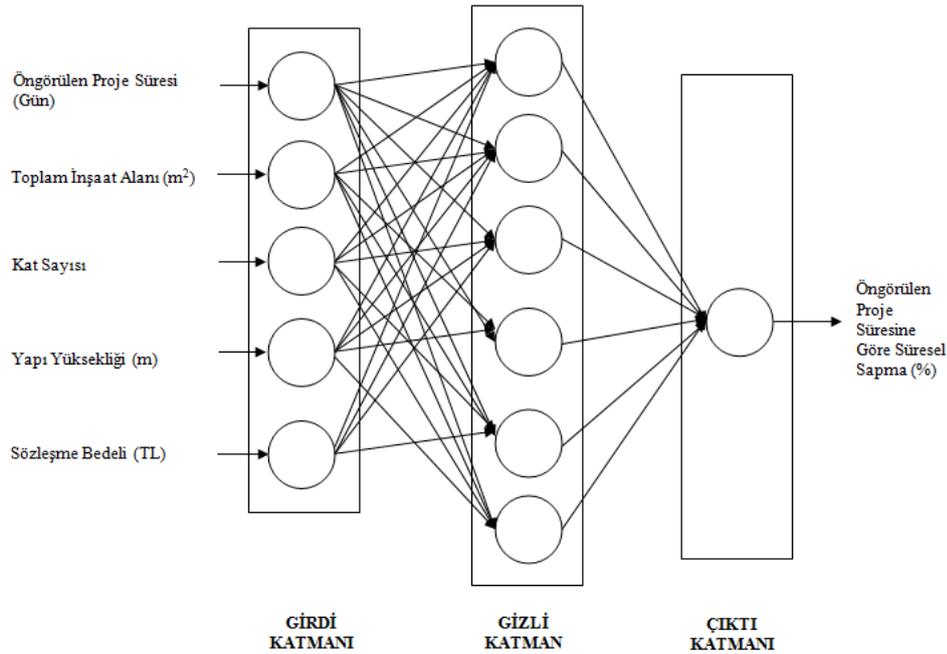
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	52,63	25,75	0,1154	14,21	8,35	0,0223
RBF	41,06	26,62	0,3889	17,84	14,65	0,0942
GPA	43,55	28,13	0,2820	23,60	20,14	0,0090
SCA	57,61	27,52	NaN	14,36	8,53	NaN
MLR	47,54	31,94	0,1443	19,86	16,05	0,0692

Tablo 4.91’de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE değeri RBF yönteminden, minimum MAE değeri MLP yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; üçüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:1, iterasyon sayısı:4 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 3-1-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için beşinci kombinezondan elde edilen optimum sonuçta da aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:6 ve dağılma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-6-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi üçüncü kombinezondan, üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için dördüncü kombinezon haricindeki bütün kombinezonlarda giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ancak dördüncü kombinezonda da çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da MLP ve GPA yöntemlerindeki gibi üçüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise dördüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren dördüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 33,60 - 0,0663.x_1 + 0,00156.x_2 + 11,43.x_3 - 3,87.x_4 \quad (4.82)$$

Şeklinde dir.

Tez çalışmasının sonunda yer alan EK-5'den de görüleceği üzere, Trabzon ve Samsun için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden büyük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizinin anlamsız olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} < F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 hipotezinin kabul edileceği anlamı taşımaktadır. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı ifade edilebilir. Optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen RBF modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.136'da gösterilmiştir.



Şekil 4.136. Trabzon ve Samsun için süresel sapma modelinin optimum RBF analizinin ağ mimarisi. (5-6-1)

Süresel sapma modeli için en yüksek performansı gösteren RBF yöntemi için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Analizlerin test

aşamalarında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-41,21, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %28,75 olduğu düşünüldüğünde, RBF yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=17,84 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

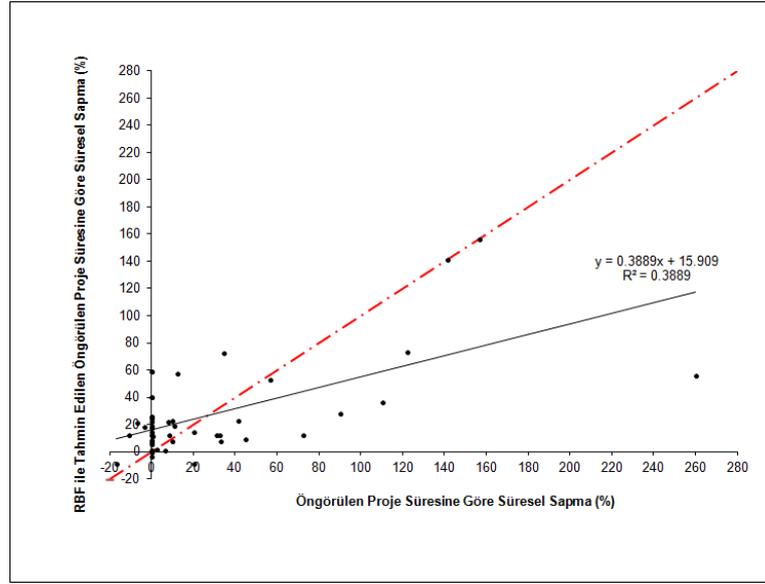
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{17,84}{-41,21} \right) \times 100 = \% -43,29 \quad (4.83)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{17,84}{0,00} \right) \times 100 = \infty \quad (4.84)$$

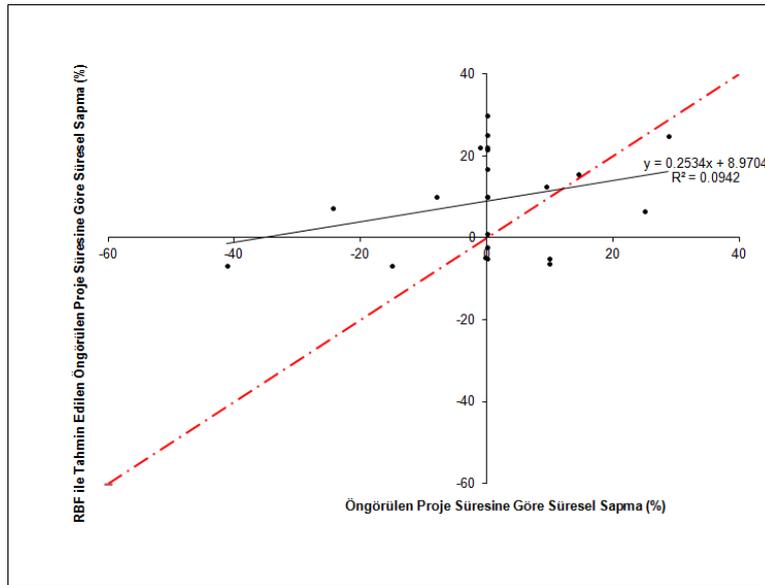
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{17,84}{28,75} \right) \times 100 = \%62,05 \quad (4.85)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=14,65 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-35,55 ve %50,92 sapma oranları ile elde edilmiştir. RBF yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,0942 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %9,42 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,0942 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri ile hesaplanmış olan süresel sapma değerleri ile optimum RBF modellemesinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.137’de ve Şekil 4.138’de verilmiştir.



Şekil 4.137. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



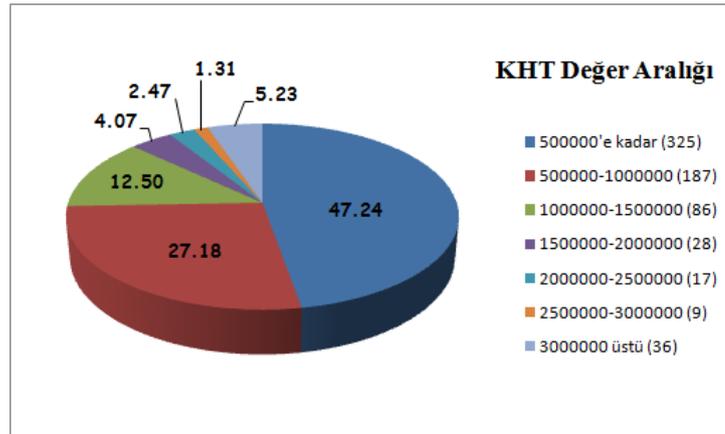
Şekil 4.138. Trabzon ve Samsun için optimum RBF modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.137’de, RBF modellemesinin eğitme aşamasında kullanılan 50 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.138’de ise RBF modellemesinin test aşamasında kullanılan 22 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile

tahmini değerlerin eşit olduğunu simgeleyen $y=x$ doğrusu ile farklı doğrultularda ve birbirlerine uzak seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgisinin etrafında dağınık olarak saçıldıkları görülmektedir. Buradan, süresel sapma modeli için gerçek değerler ile tahmini değerler arasında ciddi farklılıklar olduğu ve dolayısıyla modellenmenin yetersiz kaldığı söylenebilir. Optimum RBF analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.1.8. Türkiye Genelinden Elde Edilen Bulgular

Tez çalışmasının önceki yedi alt bölümünde, Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehir için yapılan analizlere ayrı ayrı yer verilmiştir. Tez çalışmasının sekizinci alt bölümü olan bu bölümde de; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinden temin edilen veriler, Türkiye geneli kapsamında toplu olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Türkiye geneli için 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 826 kamu yapım işinin 688'inin kesin hesap tutarları temin edilmiştir. Elde edilen kesin hesap tutarlarının değer aralıkları, Şekil 4.139'da verilmiştir.

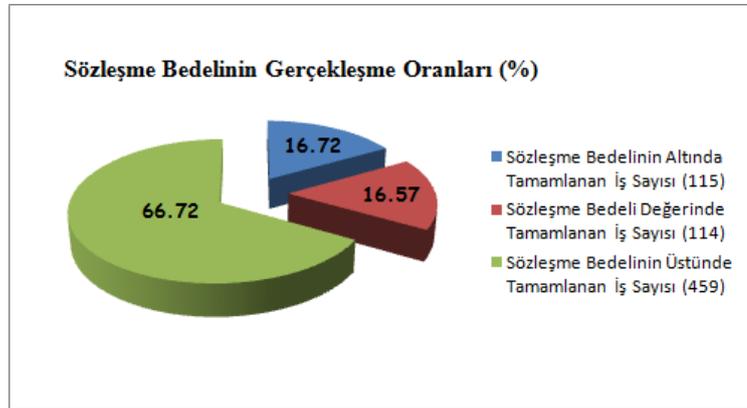


Şekil 4.139. Türkiye genelindeki yapım işi projelerinin kesin hesap tutarlarının değer aralıkları. (%)

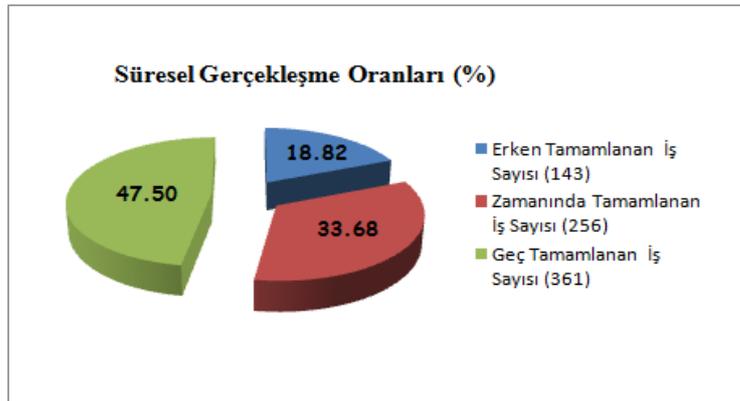
İncelenen yapım işlerinin kesin hesap tutarlarının %47,24'ü, yani yaklaşık yarısı, 500.000 TL'nin altındadır. Arşiv kayıtlarından, minimum kesin hesap tutarı değeri 31000 TL, maksimum kesin hesap tutarı değeri de 37.887.859 TL olarak elde edilmiştir.

Ortalama kesin hesap tutarı değeri ise 1.172.067,17 TL olarak hesaplanmıştır. Buna göre, 1.000.000 TL'nin sınır değer olduğu düşünülürse, Türkiye genelinde yapılmış olan kamu yapım işlerinde kesin hesap tutarı ortalamasının yüksek olduğu ve yapım işi hacminin geniş olduğu söylenebilir.

Türkiye genelinde tamamlanan 688 yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları Şekil 4.140'da, 760 yapım işinin süresel gerçekleşme oranları da Şekil 4.141'de gösterilmiştir.



Şekil 4.140. Türkiye genelindeki yapım işi projelerinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları. (%)



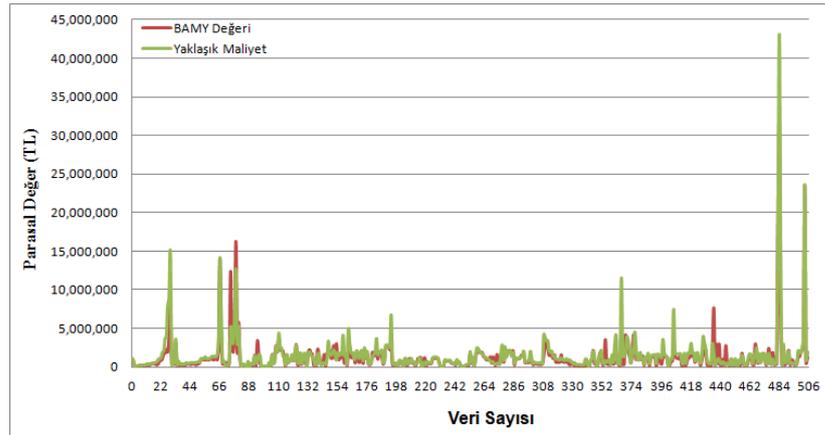
Şekil 4.141. Türkiye genelindeki yapım işi projelerinin süresel gerçekleşme oranları. (%)

Türkiye genelindeki yapım işlerinin %66,72'si sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmışken, %16,72'si sözleşme bedelinin altında ve %16,57'si sözleşme bedeli değerinde bir kesin hesap tutarı değeri ile tamamlanmıştır. Bunun yanında, yapım işlerinin %47,50'si öngörülen proje süresinden daha geç

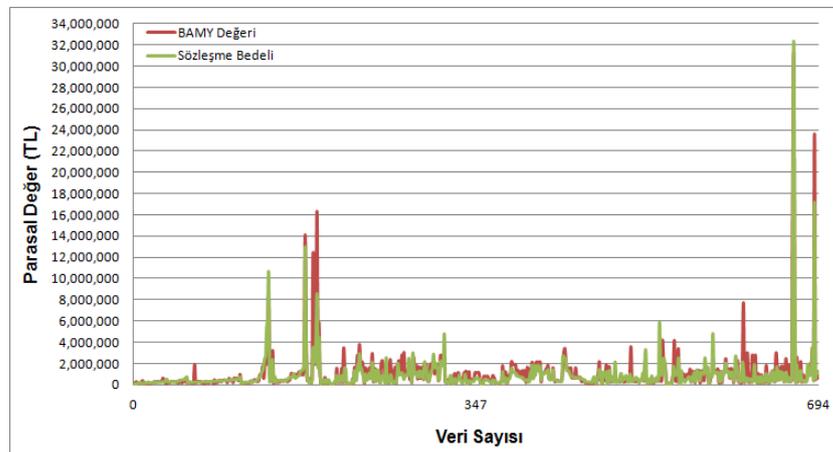
tamamlanmışken, %18,82'si ise öngörülen proje süresinden daha erken ve %33,68'i zamanında tamamlanmıştır.

Birim Alan Maliyeti Yöntemi (BAMY) Uygulaması

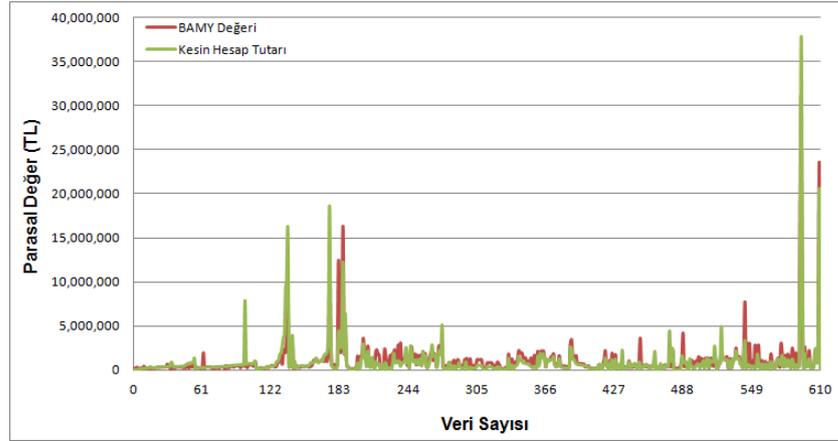
Türkiye geneli için, arşiv çalışmasından yaklaşık maliyet değerleri temin edilmiş olan 506 yapım işinin yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki, Şekil 4.142'de verilmiştir. Arşiv çalışmasından sözleşme bedeli değerleri temin edilmiş olan 694 yapım işinin sözleşme bedeli değerleri ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan elde edilen yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişki Şekil 4.143'de verilmiştir. 610 yapım işinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri ile kesin hesap tutarları arasındaki ilişki de, Şekil 4.144'de verilmiştir.



Şekil 4.142. Türkiye geneli için BAMY-yaklaşık maliyet ilişkisi.

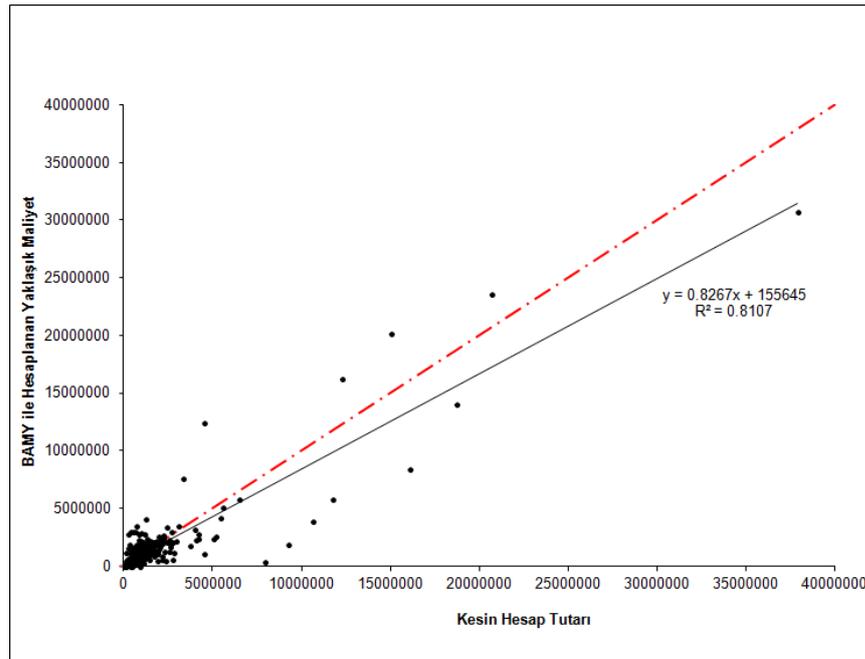


Şekil 4.143. Türkiye geneli için BAMY-sözleşme bedeli ilişkisi.



Şekil 4.144. Türkiye geneli için BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişki.

Her üç şekil için de; kırmızı renkli gösterilen BAMY değerleri ile yeşil renkli gösterilen gerçek değerlerin önemli farklılıklara sahip oldukları göze çarpmaktadır. Şekil 4.144'den de, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin kesin hesap tutarlarına göre büyük farklılıklara sahip oldukları görülmektedir. Şekil 4.144'ün anlam düzeyini artırabilmek adına, 610 yapım işinin kesin hesap tutarları ile aynı işlerin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkinin saçılma diyagramı, Şekil 4.145'de verilmiştir.



Şekil 4.145. Türkiye geneli için BAMY-KHT ilişkisinin saçılma diyagramı.

$y=x$ doğrusunun simetrik olduğu düşünülürse, Şekil 4.145’de görülen doğrusal $y=0.8267x+155645$ denklemi, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığını ancak $y=x$ doğrusuna da yakın olarak kabul edilebileceğini göstermektedir. $R^2>0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,8107>0,80$ sonucu, iki değişken arasındaki korelasyonun tatminkar seviyede olduğuna işaret etmektedir [84]. Şekil 4.145’de verilen grafiğin nümerik olarak daha somut yorumlanabilmesi adına, Türkiye geneli için yapım işlerinin kesin hesap tutarları toplamı ile BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı arasındaki ilişki, yıllara göre Tablo 4.92’de verilmiştir.

Tablo 4.92. Türkiye geneli için BAMY-KHT ilişkisi.

Yıl	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
2003	62	35.446.012,00	31.269.184,77	13,36
2004	92	39.344.582,00	43.893.292,00	-10,36
2005	105	94.304.785,60	101.450.110,67	-7,04
2006	128	111.900.679,00	118.063.719,00	-5,22
2007	117	184.237.632,00	192.096.688,00	-4,09
2008	73	89.044.772,00	86.920.852,95	2,44
2009	20	19.931.048,00	17.943.242,00	11,08
2010	10	32.152.135,00	27.173.809,00	18,32
2011	3	902.929,00	1.304.869,00	-30,80
TOPLAM	610	607.264.574,60	620.115.767,39	-2,07

Türkiye genelinde incelenen toplam 610 yapım işi için; BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %2,07’lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmıştır. Yıllara göre dağılım değerlendirildiğinde ise istisnai olarak; 2003, 2008, 2009 ve 2010 yıllarına ait yapım işlerinin BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, kesin hesap tutarları toplamına göre sırasıyla; %13,36, %2,44, %11,08 ve 18,32 oranlarında daha yüksek hesaplanmışlardır. Yıl bazında sapma oranının 2011 yılında %30,80’e ulaştığı görülmektedir. Ancak toplamda elde edilen %2,07’lik toplam sapma oranının makul seviyede olduğu ifade edilebilir. Şekil 4.145’den elde edilen R^2 değeri de bu iddiayı doğrular niteliktedir. Bu nedenle, Türkiye geneli için BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin, kesin hesap tutarı tahmini adına gerçekçi olduğu söylenebilir. Ancak tez çalışmasının temel amaçlarından birisi, daha yüksek performans gösterebilecek

yöntemin irdelenmesi olduğundan dolayı, Tablo 4.92'den elde edilen %2,07'lik sapma oranının azaltılıp azaltılamayacağı belirlenmesi amacıyla, Türkiye genelindeki yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, kesin hesap tutarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet Modeli

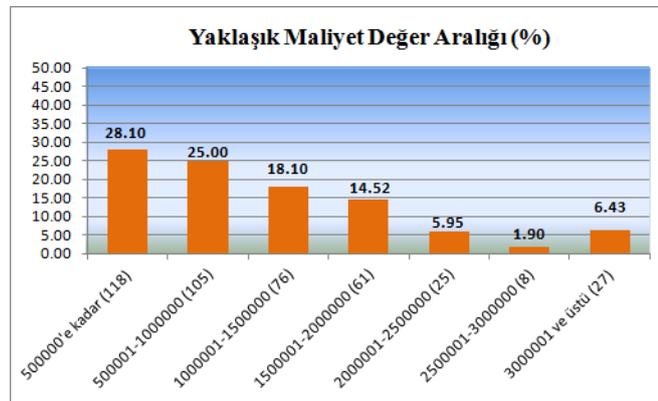
Türkiye geneli için maliyet modelinde kullanılan toplam 420 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.93'de verilmiştir.

Tablo 4.93. Türkiye geneli için maliyet modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

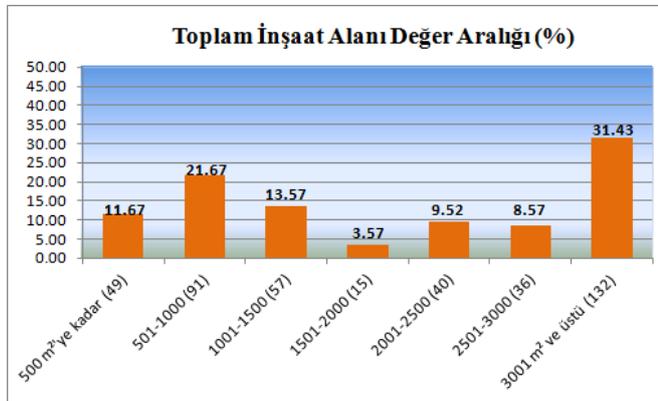
Parametre	Yaklaşık Maliyet (TL)	Toplam İnşaat Alanı (m²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	42163,00	38,40	1,00	2,40	31000,00
Maks. Değer	43.055.298,00	48065,00	14,00	45,60	32.294.513,00
Aritmetik Ortalama	1.423.466,59	2602,99	3,56	11,04	957.964,86
Standart Sapma	2.844.906,95	3608,64	1,78	5,18	2.106.469,04
Değişim Katsayısı (%)	199,86	138,63	49,89	46,93	219,89

Maliyet modelinin girdi parametrelerinden; yaklaşık maliyet 42163-43.055.298 TL aralığında, toplam inşaat alanı 38,40-48065,00 m² aralığında, kat sayısı 1-14 aralığında, yapı yüksekliği 2,40-45,60 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 31000-32.294.513 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettikleri görülmektedir. Yani bütün girdi parametrelerinin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin değişim katsayılarının; kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli parametrelerinin; kat sayısı ve yapı yüksekliği parametrelerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verilerin sözleşme bedeli verileri olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise yapı yüksekliği verileridir.

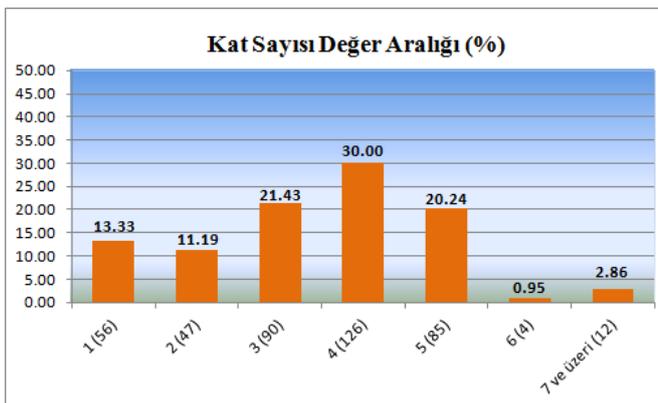
Türkiye geneli için oluşturulan maliyet modeli için; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 420 adet verinin 2003-2008 yılları arasına ait olan 316 tanesi (%75) eğitim aşaması için, 2006-2011 yılları arasına ait 104 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet modelinin girdi parametrelerini temsil eden 420'şer verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.146'da verilmiştir.



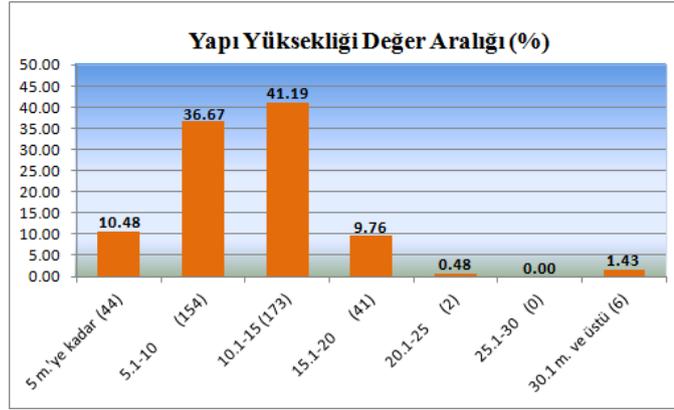
4.146.a. Yaklaşık maliyet değer aralığı. (%)



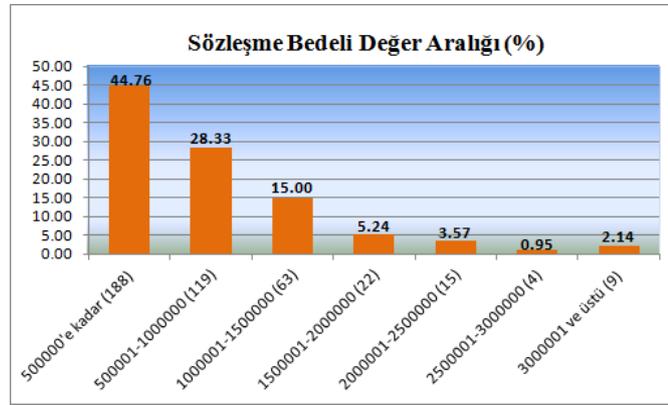
4.146.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.146.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.146.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)



4.146.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.146. Türkiye geneli için maliyet modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Şekil 4.146'da yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %28,10'unun yaklaşık maliyeti 500.000 TL'nin altında, %31,43'ünün toplam inşaat alanı 3001 m² ve üzerinde, %30,00'u dört katlı, %41,19'unun yüksekliği 10,1-15 m. arasında ve %44,76'sının sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Türkiye genelinden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.94'de verilmiştir.

Tablo 4.94. Türkiye geneli için maliyet modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Yaklaşık Maliyetin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	-147964	0,863	-	-	-	-
2	-183532	0,829	32,03	-	-	-
3	-76113	0,823	50,19	-40397	-	-
4	27277	0,827	55,66	49218	-40195	-
5	-2111	-0,569	-3,70	88821	-23107	1,94

Maliyet modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.94’de verilen kesişim sabitleri ve katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin kesin hesap tutarı değerlerine karşılık gelen tahmini kesin hesap tutarı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler arasında; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.95’de verilmiştir. Maliyet modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA ve SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.95’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar Tablo 4.96’da verilmiştir.

Tablo 4.95. Türkiye geneli için "maliyet modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.95.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	557630,00	212160,00	0,9540	332050,00	144420,00	0,9770
2	421190,00	213900,00	0,9740	303980,00	183030,00	0,9810
3	353650,00	205290,00	0,9820	295650,00	180340,00	0,9830
4	306220,00	186220,00	0,9870	281280,00	157970,00	0,9860
5	151450,00	89889,00	0,9966	206460,00	119670,00	0,9914

4.95.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	2748400,00	1017400,00	0,9540	319320,00	142150,00	0,9790
2	2749300,00	1018800,00	0,9550	303600,00	148210,00	0,9800
3	2751300,00	1018000,00	0,9560	301820,00	160610,00	0,9810
4	2756400,00	1018000,00	0,9610	294240,00	169790,00	0,9820
5	2781800,00	1017400,00	0,9811	237440,00	138760,00	0,9883

4.95.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	574510,00	252900,00	0,9520	325370,00	184300,00	0,9770
2	561170,00	230730,00	0,9539	311170,00	157050,00	0,9798
3	274930,00	187500,00	0,9890	585130,00	305380,00	0,9520
4	300480,00	203260,00	0,9870	1185700,00	371330,00	0,9340
5	133780,00	76039,00	0,9970	572370,00	165920,00	0,9860

4.95.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2	540555,00	214213,00	0,9572	285752,49	154992,00	0,9825
3	2804882,82	1017390,00	NaN	2495938,24	1253260,00	NaN
4	537424,85	245990,00	0,9580	319026,90	184431,00	0,9780
5	222192,42	126616,00	0,9930	302259,22	175096,00	0,9840

4.95.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Komb. No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	574515,56	252789,04	0,9517	325368,53	184202,14	0,9774
2	571920,07	266476,43	0,9521	319349,48	192956,95	0,9782
3	569215,18	254489,22	0,9526	312912,69	184050,63	0,9792
4	559287,38	250512,09	0,9542	315942,67	179309,34	0,9787
5	227281,86	129814,26	0,9924	300654,56	184919,35	0,9836

Tablo 4.96. Türkiye geneli için "maliyet modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	151450,00	89889,00	0,9966	206460,00	119670,00	0,9914
RBF	2781800,00	1017400,00	0,9811	237440,00	138760,00	0,9883
GPA	561170,00	230730,00	0,9539	311170,00	157050,00	0,9798
SCA	540555,00	214213,00	0,9572	285752,49	154992,00	0,9825
MLR	227281,86	129814,26	0,9924	300654,56	184919,35	0,9836

Tablo 4.96'da yer alan değerlere göre; maliyet modelinin eğitime ve test aşamaları için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:8, iterasyon sayısı:20 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-8-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için ikinci ve üçüncü kombinezonların optimum sonuçlarında da

aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:7 ve dağılma parametresi:0,5 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-7-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; ikinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için birinci kombinezonun optimum sonucunda da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç da GPA yöntemindeki gibi ikinci kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,10 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise MLP ve RBF yöntemlerindeki gibi beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren beşinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = -2111 - 0,569.x_1 - 3,70.x_2 + 88821.x_3 - 23107.x_4 + 1,94.x_5 \quad (4.86)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde verilen Tablo 3.9'dan da görüleceği üzere, Türkiye geneli için oluşturulan maliyet modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, maliyet modeli için; bağımlı değişken olan kesin hesap tutarı ile bağımsız değişkenler olan; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet modeli için; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinden optimum sonuçlar elde edildikten sonra, BAMY yaklaşımının performansı ile bu yöntemlerin performansları arasında direkt olarak ilişki kurabilmek adına, daha önce Tablo 4.92 olarak verilmiş olan BAMY ile kesin hesap tutarı arasındaki ilişkiye ek olarak, bütün

yöntemlerden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı ile gerçek kesin hesap tutarı arasındaki ilişkiler de Tablo 4.97’de verilmiştir.

Tablo 4.97. Türkiye geneli için bütün yöntemlerden elde edilen tahmini KHT-gerçek KHT ilişkileri.

Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)
BAMY	610	607.264.574,60	620.115.767,39	-2,0724
MLP	420	451.831.661,42	451.833.715,93	-0,0005
RBF	420	453.204.239,57	451.833.715,93	0,3033
GPA	420	451.174.293,10	451.833.715,93	-0,1459
SCA	420	448.407.735,77	451.833.715,93	-0,7582
MLR	420	461.084.998,01	451.833.715,93	2,0475

BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %2,0724’lük sapma oranı ile daha düşük hesaplandığı, daha önce de ifade edilmiştir. Elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre; MLP’den %0,0005’lik sapma oranı, GPA’dan %0,1459’luk sapma oranı ve SCA’dan %0,7582’lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmışken; RBF’den %0,3033’lük sapma oranı ve MLR’den %2,0475’lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durumda; kullanılan bütün yöntemlerin BAMY yaklaşımına göre daha yüksek performans gösterdikleri söylenebilir. Kullanılan yöntemler kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise MLP yaklaşımının en yüksek performansı gösterdiği ifade edilebilir. Beşinci ve son kombinezondan elde edilen optimum MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.147’de gösterilmiştir.

Maliyet modeli için en yüksek performansı gösteren MLP yönteminin optimum sonuçlarının beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli sahiptir. Analizlerin test aşamasında kullanılan kesin hesap tutarı değerlerinin en küçüğünün 103.950 TL, ortancanın 690.688 TL ve en büyüğünün 20.651.692 TL olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen

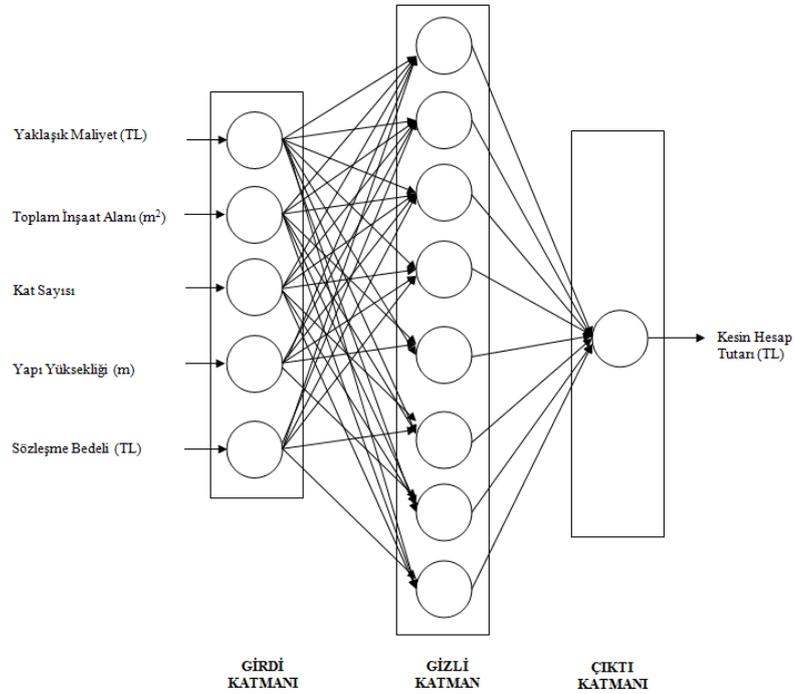
RMSE=206.460 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{206.460}{103.950} \right) \times 100 = \%198,61 \quad (4.87)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{206.460}{690.688} \right) \times 100 = \%29,89 \quad (4.88)$$

$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{206.460}{20.651.692} \right) \times 100 = \%1,00 \quad (4.89)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir.

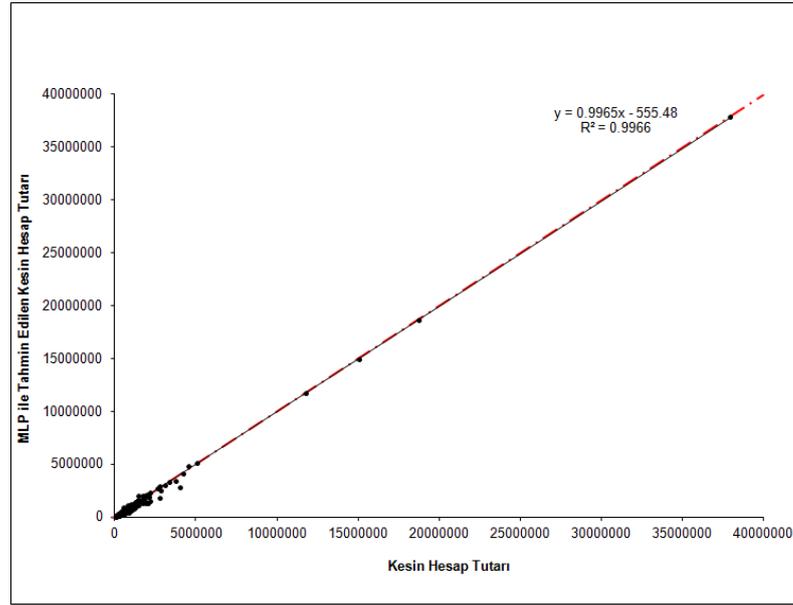


Şekil 4.147. Türkiye geneli için maliyet modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-8-1)

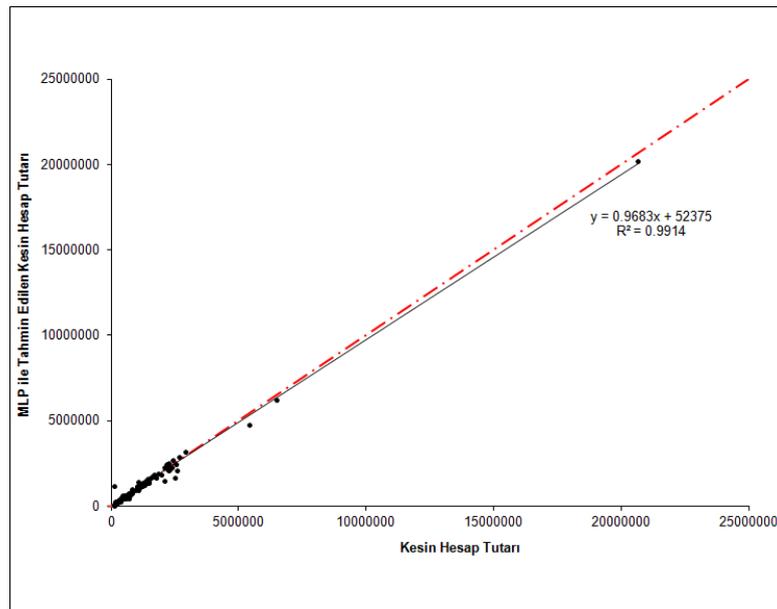
MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=119.670 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %115,12, %17,33 ve %0,58 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri de 0,9914 olup, bu değer, kesin hesap tutarlarının %99,14 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve

hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2=0,9914>0,80$ sonucu, oldukça güçlü bir korelasyona işaret etmektedir [84].

Türkiye geneli için, yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile optimum MLP analizinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarı değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.148’de ve Şekil 4.149’da verilmiştir.



Şekil 4.148. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin eğitim aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.149. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

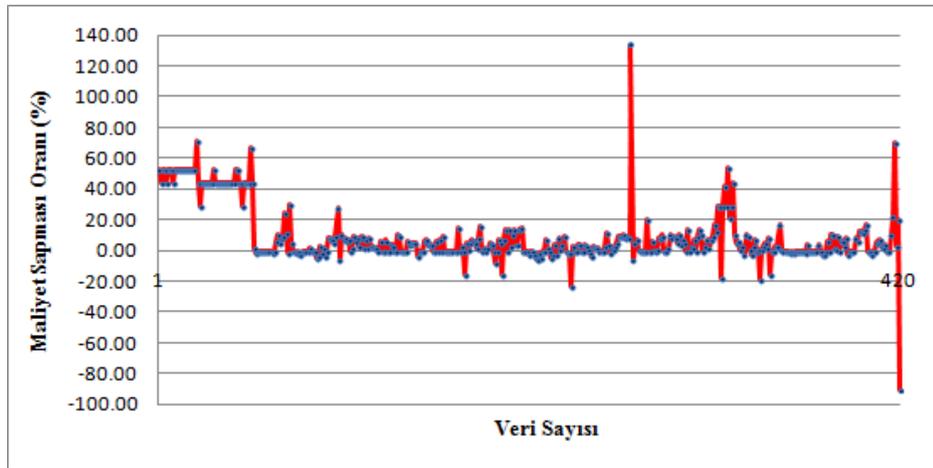
Şekil 4.148’de, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 316 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.149’da ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 104 veri setinin kesin hesap tutarları ile modellemeden elde edilen tahmini kesin hesap tutarları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekilde de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile aynı doğrultuda ve $y=x$ doğrusuna çok yakın seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında toplu dağılımlara sahip oldukları görülmektedir. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirlerine çok yakın oldukları ve maliyet modeli için MLP ile yapılan tahminin başarılı olduğu söylenebilir. Eğitime ve test aşamaları arasında kıyaslama yapılacak olursa; eğitime aşamasının saçılma diyagramının, test aşamasının saçılma diyagramına göre daha toplu bir görünüme sahip olduğu ifade edilebilir. Gerçek değerlerle tahmini değerler arasındaki korelasyon da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Eğitime aşamasında R^2 değeri 0,9966 olarak elde edilmişken, test aşamasında 0,9914 olarak hesaplanmıştır. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9966 > 0,80$ ve $R^2 = 0,9914 > 0,80$ sonuçları, optimum MLP analizinin gerek eğitime, gerekse test aşamaları için gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedir [84].

Maliyet Sapması Modeli

Tez çalışması kapsamında, bütün coğrafi bölgeler için yapıldığı gibi, Türkiye geneli için de maliyet modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modelinde kullanılan toplam 420 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, maliyet modeli ile girdi verilerinin aynı fakat sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle, Tablo 4.93’deki gibidir ve burada tekrar edilmemiştir.

Türkiye geneli için oluşturulan maliyet sapması modeli için; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 420 adet verinin 2003-2008

yılları arasına ait olan 316 tanesi (%75) eğitime aşaması için, 2006-2011 yılları arasına ait 104 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerini temsil eden verilerin kendi içerisindeki dağılımları, maliyet modeli kapsamında verilen Şekil 4.146'daki gibidir. Maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin, maliyet modelinin girdi verilerine göre sadece yerlerinin değişik olması nedeniyle burada tekrar edilmesine gerek duyulmamıştır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin çıktı parametresini temsil eden sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.150'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.150. Türkiye geneli için maliyet sapması modelinde kullanılan maliyet sapması değerlerinin dağılımı. (%)

Maliyet sapması modelinde kullanılan sözleşme bedeline göre maliyet sapması değerleri % -90,03 ile %133,48 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %9,81 olarak elde edilmiştir. Buna göre, %10 oranının sınır değer olduğu düşünülürse, Türkiye genelinde yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısı ile kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre makul farklılıklara sahip oldukları söylenebilir.

Türkiye genelinden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.98'de verilmiştir.

Tablo 4.98. Türkiye geneli için maliyet sapması modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Sözleşme Bedelinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Yaklaşık Maliyetin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	10,95	0,0000004	-	-	-	-
2	10,71	0,0000002	0,00019	-	-	-
3	5,06	0,0000007	-0,00085	2,16	-	-
4	9,89	0,0000009	-0,00053	6,36	-1,88	-
5	9,54	0,0000154	-0,00040	6,49	-1,73	-0,000011

Türkiye geneli için oluşturulan maliyet sapması modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.98’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş olup, böylece her bir yapım işinin gerçek maliyet sapması değerlerine karşılık gelen tahmini maliyet sapması değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.99’da verilmiştir. Maliyet sapması modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.99’da sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar Tablo 4.100’de verilmiştir.

Tablo 4.99. Türkiye geneli için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.99.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
1	19,79	11,90	0,0000	15,79	9,05	0,0040
2	19,96	11,56	0,0331	15,50	8,70	0,0506
3	17,70	12,57	0,1470	15,62	10,06	0,0910
4	17,91	12,81	0,1380	15,96	10,35	0,0550
5	19,93	11,77	0,0025	15,61	8,75	0,0271

4.99.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	11,06	11,00	0,0030	16,86	11,77	0,0270
2	11,43	11,00	0,0270	16,43	11,25	0,0470
3	12,56	11,15	0,1010	16,46	11,51	0,0660
4	11,46	11,04	0,0280	16,44	11,46	0,0720
5	11,40	11,03	0,0240	16,38	11,38	0,0870

4.99.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	19,08	13,79	0,0030	16,84	11,74	0,0240
2	18,93	13,71	0,0180	16,44	11,27	0,0660
3	18,40	13,65	0,0720	18,01	12,02	0,0180
4	15,93	11,85	0,3060	36,68	16,20	0,0020
5	16,01	11,84	0,2990	16,01	11,84	0,2990

4.99.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	19,10	13,33	0,0040	16,66	11,44	0,0290
2	19,13	13,04	0,0050	16,42	11,00	0,0310
3	22,22	12,26	NaN	16,60	8,41	NaN
4	17,52	13,18	0,1590	16,28	11,18	0,0620
5	16,83	12,56	0,2270	17,43	12,74	0,0190

4.99.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	19,08	13,79	0,0025	16,86	11,76	0,0251
2	19,08	13,84	0,0028	16,84	11,73	0,0275
3	18,85	13,72	0,0266	16,69	11,48	0,0124
4	18,19	13,68	0,0942	17,12	11,73	0,0008
5	17,76	13,40	0,1362	17,56	12,38	0,0007

Tablo 4.100. Türkiye geneli için "maliyet sapması modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	19,93	11,77	0,0025	15,61	8,75	0,0271
RBF	11,40	11,03	0,0240	16,38	11,38	0,0870
GPA	16,01	11,84	0,2990	16,01	11,84	0,2990
SCA	17,52	13,18	0,1590	16,28	11,18	0,0620
MLR	18,85	13,72	0,0266	16,69	11,48	0,0124

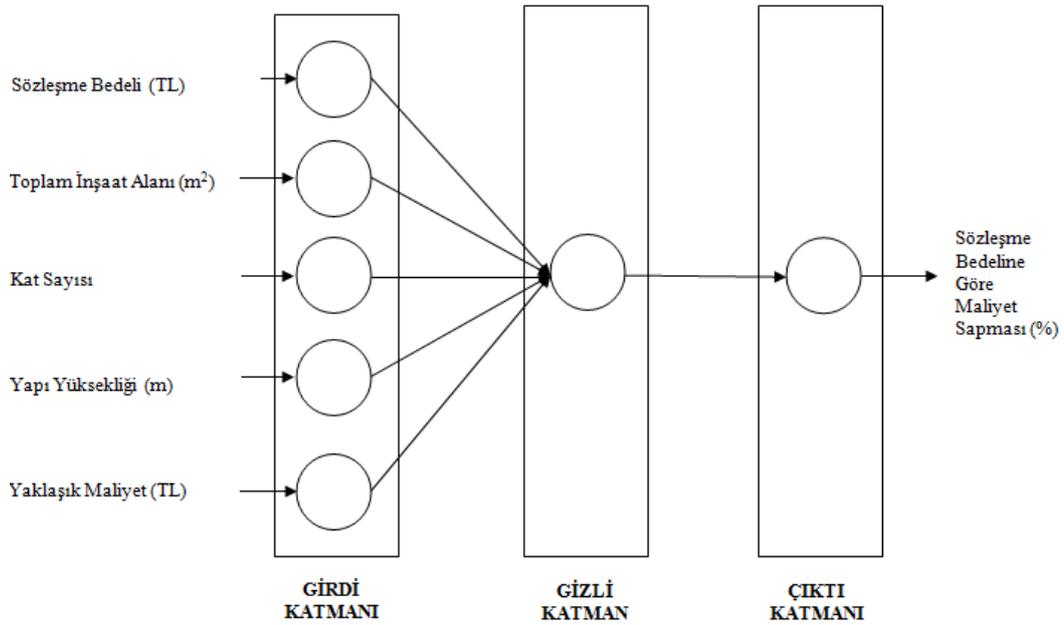
Tablo 4.100’de yer alan değerlere göre; eğitime aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:1, iterasyon sayısı:2 ve aktivasyon fonksiyonu:tansig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-1-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için ikinci kombinezondan elde edilen optimum sonuçta da aktivasyon fonksiyonu:tansig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi beşinci ve son kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:3 ve dağılıma parametresi:0,1 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 5-3-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç da MLP ve RBF yöntemlerindeki gibi beşinci kombinezondan üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf, çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA için ikinci ve üçüncü kombinezonların optimum sonuçlarında da giriş üyelik fonksiyonu türü:trimf ve çıkış üyelik fonksiyonu türü:sabit olmuştur. SCA yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,25 ve iterasyon sayısı:9 değerleri ile elde edilmiştir. MLR yönteminden optimum sonuç ise üçüncü kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren üçüncü kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 5.06 + 0,0000007.x_1 - 0,00085.x_2 + 2,16.x_3 \quad (4.90)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde verilen Tablo 3.9’den da görüleceği üzere, Türkiye geneli için oluşturulan maliyet sapması modelinin birinci ve ikinci kombinezonları dışındaki bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, maliyet sapması modelinin birinci ve ikinci kombinezonları dışındaki bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, maliyet sapması modelinin birinci ve ikinci kombinezonları dışındaki bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 ’ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir.

Bir başka ifadeyle, maliyet sapması modelinin üçüncü, dördüncü ve beşinci kombinezonları için; bağımlı değişken olan sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ile bağımsız değişkenler olan; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Maliyet sapması modelinin birinci ve ikinci kombinezonları içinse yapılan analizin anlamsız olduğu söylenebilir. Bahsedilen bu kombinezonlardan elde edilen sonuçlara, yukarıdaki tablolarda yer verilmiş ancak bu sonuçlar dikkate alınmamıştır. Maliyet sapması modeli için optimum sonuçları veren ve beşinci kombinezondan elde edilen MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.151’de gösterilmiştir.



Şekil 4.151. Türkiye geneli için maliyet sapması modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (5-1-1)

Maliyet modeli kapsamında yapılan analizlerde en yüksek performansı gösteren MLP ve RBF yöntemleri için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, modellemede girdi olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL) verilerinin birlikte kullanımının modellemenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan yaklaşık maliyet sahiptir. Analizin test aşamasında kullanılan maliyet sapması değerlerinin en küçüğünün %-90,03, ortancanın %1,26 ve en büyüğünün %69,85 olduğu düşünüldüğünde, MLP

yönteminin test aşamasından elde edilen RMSE=15,61 değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortanca değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

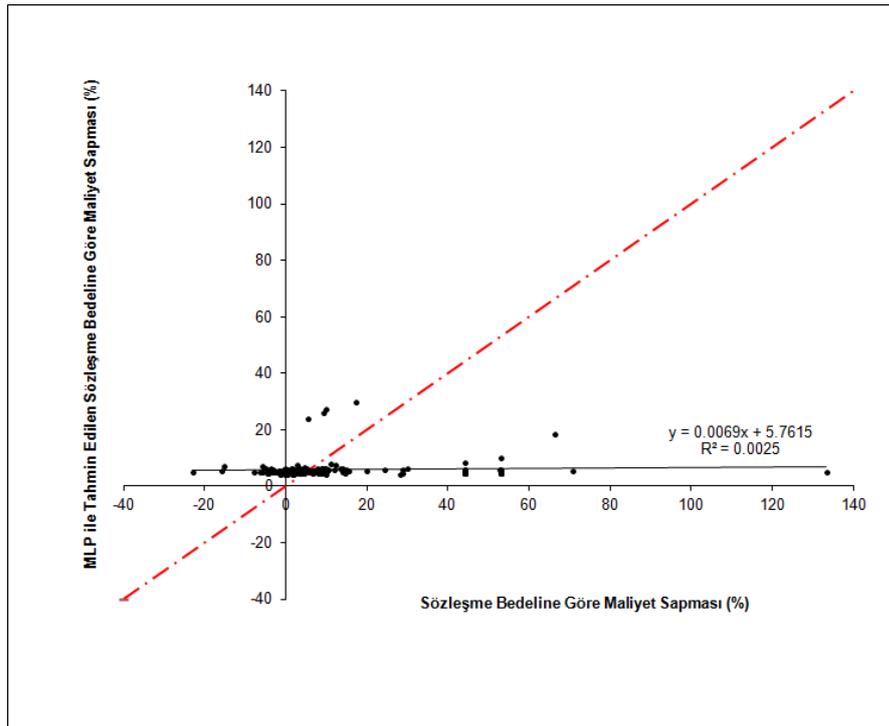
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{15,61}{-90,03} \right) \times 100 = \% -17,34 \quad (4.91)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{15,61}{1,26} \right) \times 100 = \% 1238,89 \quad (4.92)$$

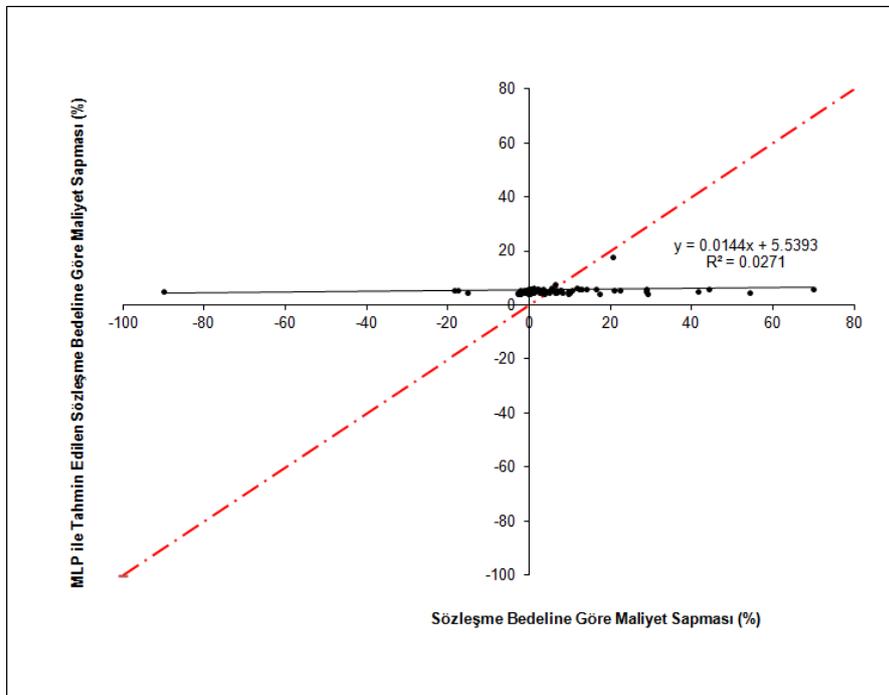
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{15,61}{69,85} \right) \times 100 = \% 22,35 \quad (4.93)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen MAE=8,75 değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-9,72, %694,44 ve %12,53 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından R² değeri 0,0271 olarak elde edilmiş olup, bu değer, modellemeye göre maliyet sapması değerlerinin %2,71 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. R²>0,80 durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, R²=0,0271<0,80 sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen sözleşme bedeli değerleri ve kesin hesap tutarı değerleri ile hesaplanan maliyet sapması değerlerinin ve optimum MLP analizinden elde edilen tahmini maliyet sapması değerlerinin saçılma diyagramları, Şekil 4.152'de ve Şekil 4.153'de verilmiştir.



Şekil 4.152. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.153. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.152’de, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 316 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.153’de ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 104 veri setinin maliyet sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini maliyet sapmaları arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile oldukça farklı doğrultularda ve yatay x eksenine yaklaşık paralel olacak şekilde seyrettikleri görülmektedir. Veriler de, eğilim çizgilerinin etrafında dağınık saçılımlara sahiptirler. Buradan, gerçek değerler ile tahmini değerlerin birbirinden uzak oldukları ve dolayısıyla modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Optimum MLP analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu göstermektedir.

Süresel Sapma Modeli

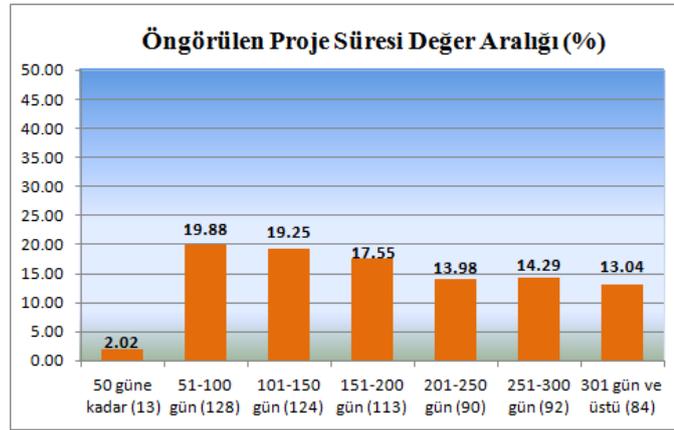
Tez çalışması kapsamında, bütün coğrafi bölgeler için yapıldığı gibi, Türkiye geneli için de maliyet modeline ve maliyet sapması modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesinde, öngörülen proje sürelerine göre süresel sapmaların tahmin edilebilmesi için öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturulmuştur. Türkiye geneli için süresel sapma modelinde kullanılan toplam 644 veri girdi setinin istatistiksel özellikleri, Tablo 4.101’de verilmiştir.

Tablo 4.101. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin istatistiksel özellikleri.

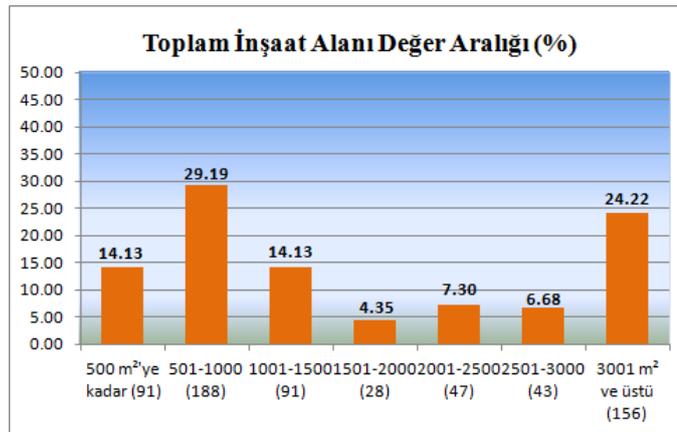
Parametre	Öngörülen Proje Süresi (Gün)	Toplam İnşaat Alanı (m ²)	Kat Sayısı	Yapı Yüksekliği (m)	Sözleşme Bedeli (TL)
Min. Değer	18,00	38,40	1,00	2,40	31000,00
Maks. Değer	1210,00	48065,00	14,00	45,60	32.294.513,00
Aritmetik Ortalama	205,61	2149,48	3,44	10,47	792.874,47
Standart Sapma	134,04	3077,65	1,59	4,72	1.746.337,90
Değişim Katsayısı (%)	65,19	143,18	46,12	45,10	220,25

Süresel sapma modelinin girdi parametrelerinden; öngörülen proje süresi; 18-1210 gün aralığında, toplam inşaat alanı; 38,40-48065 m² aralığında, kat sayısı 1-14 aralığında,

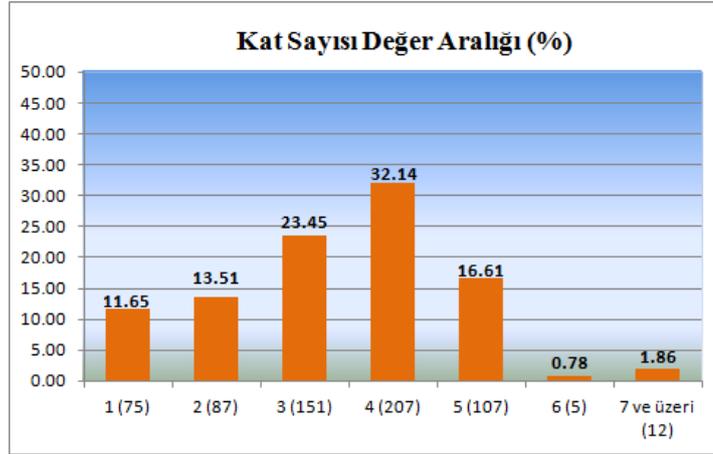
yapı yüksekliği 2,40-45,60 m. aralığında ve sözleşme bedeli de 31000-32.294.513 TL aralığında değişmektedir. Bütün parametrelerin aritmetik ortalamalarının, minimum değerlerine daha yakın seyrettiği görülmektedir. Yani bütün girdi parametrelerinin veri yığılmaları, minimum değerlerine doğrudur. Toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin değişim katsayılarının; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha yüksek oldukları görülmektedir. Buradan da; toplam inşaat alanı ve sözleşme bedeli verilerinin; öngörülen proje süresi, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerine göre daha az homojenliğe sahip oldukları söylenebilir. Homojenliği en az olan verilerin sözleşme bedeli verileri olduğu ifade edilebilir. Dağılımın aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu verilerse yapı yüksekliği verileridir.



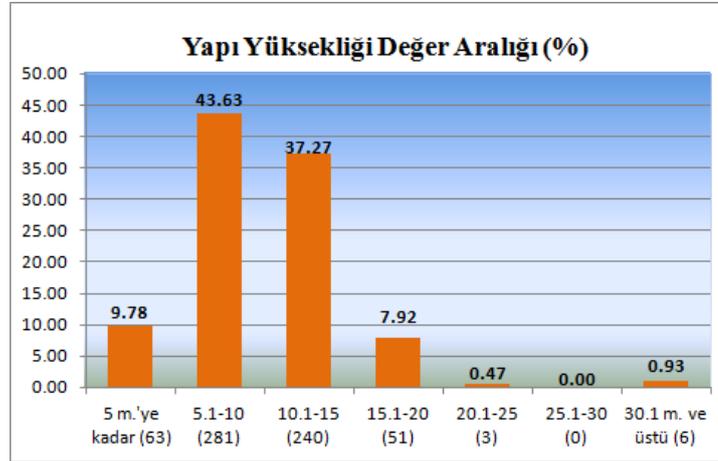
4.154.a. Öngörülen proje süresi değer aralığı. (%)



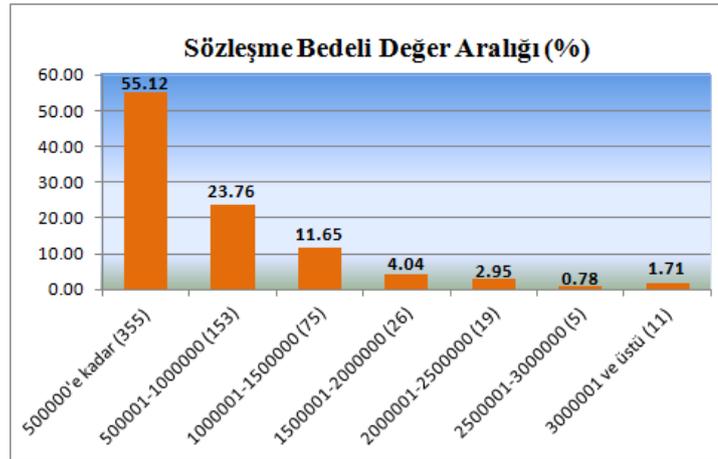
4.154.b. Toplam inşaat alanı değer aralığı. (%)



4.154.c. Kat sayısı değer aralığı. (%)



4.154.d. Yapı yüksekliği değer aralığı. (%)

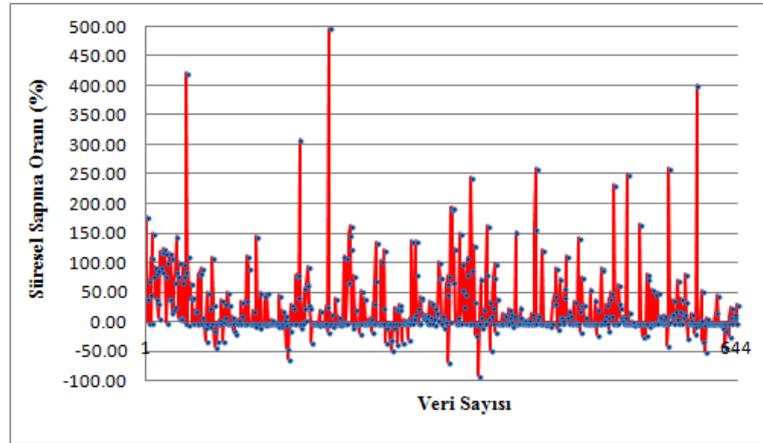


4.154.e. Sözleşme bedeli değer aralığı. (%)

Şekil 4.154. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin dağılımı.

Türkiye geneli için oluşturulan süresel sapma modeli için; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 644 adet verinin 2003-2008 yılları arasına ait olan 473 tanesi (%73) eğitime aşaması için, 2006-2011 yılları arasına ait 171 tanesi (%27) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Süresel sapma modelinin girdi parametrelerini temsil eden 644'er verinin girdi parametrelerine göre dağılımları, Şekil 4.154'deki gibidir. Şekil 4.154'de yer alan grafiklere göre, ihale dosyaları incelenen yapıların; %19,88'inin öngörülen proje süresi 51-100 gün arasında, %29,19'unun toplam inşaat alanı 501-1000 m² arasında, %32,14'ü dört katlı, %43,63'ünün yüksekliği 5,1-10 m. arasında ve %55,12'sinin sözleşme bedeli 500.000 TL'nin altındadır.

Türkiye geneli için oluşturulan süresel sapma modelinin çıktı parametresini temsil eden öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri, modele giriş sıralarına göre Şekil 4.155'de yer alan grafikte verilmiştir.



Şekil 4.155. Türkiye geneli için süresel sapma modelinde kullanılan süresel sapma değerlerinin dağılımı. (%)

Süresel sapma modelinde kullanılan öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri %-90,00 ile %497,33 aralığında değişmekte olup, ortalaması da %23,52 olarak elde edilmiştir. Buna göre, %10 oranının sınır değer olduğu düşünülürse, Türkiye genelinde yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapma

ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısıyla öngörülen proje süreleri ile gerçekleşen proje süreleri arasında büyük farklılıkların olduğu söylenebilir.

Türkiye genelinden temin edilmiş olan verilerle oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinezonuna uygulanan MLR analizi esas alınarak elde edilen regresyon denklemi verileri, Tablo 4.102’de verilmiştir.

Tablo 4.102. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin girdi parametrelerinin regresyon denklemi verileri.

Komb. No	Kesişim Sabiti (a)	Öngörülen Proje Süresinin (x_1) Katsayı Parametresi (b)	Toplam İnşaat Alanının (x_2) Katsayı Parametresi (c)	Kat Sayısının (x_3) Katsayı Parametresi (d)	Yapı Yüksekliğinin (x_4) Katsayı Parametresi (e)	Sözleşme Bedelinin (x_5) Katsayı Parametresi (f)
1	46,03	- 0,101	-	-	-	-
2	45,71	- 0,112	0,00123	-	-	-
3	37,83	- 0,122	0,00020	3,45	-	-
4	41,05	- 0,120	0,00062	6,79	- 1,54	-
5	41,08	- 0,120	0,00009	6,94	- 1,55	0,000001

Türkiye geneli için oluşturulan süresel sapma modelinin her bir kombinezonu için, Tablo 4.102’de verilen kesişim sabitleri ile katsayı parametrelerine ek olarak, bağımsız değişkenlerin değerleri de yerlerine konulmuş ve böylece her bir yapım işinin gerçek öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerine karşılık gelen tahmini öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra da, gerçek değerler ile tahmini değerler için; RMSE, MAE ve R^2 değerleri hesaplanmış olup, elde edilen MLR analizi sonuçları, Tablo 4.103’de verilmiştir. Süresel sapma modeli için, yapay zekâ yaklaşımlarından olan; MLP, RBF, GPA, SCA yöntemleri ile yapılmış olan analizlerin sonuçları da Tablo 4.103’de sıralanmıştır. Böylece, kullanılan beş farklı yöntemin her birinden elde edilen optimum sonuçlar da Tablo 4.104’de verilmiştir.

Tablo 4.103. Türkiye geneli için "süresel sapma modeli"nden elde edilen sonuçlar.

4.103.a. MLP yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	53,53	33,23	0,0830	49,18	27,40	0,0400
2	53,51	32,26	0,1010	48,91	25,78	0,0490
3	52,90	31,98	0,1140	49,25	26,05	0,0330
4	53,66	32,97	0,0917	48,73	26,49	0,0501
5	52,95	33,18	0,1020	49,17	27,74	0,0430

4.103.b. RBF yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	30,73	26,17	0,0860	49,62	28,78	0,0400
2	30,78	27,00	0,0870	49,60	29,47	0,0420
3	31,46	27,78	0,1010	49,60	29,13	0,0450
4	31,36	27,69	0,0990	49,57	29,00	0,0430
5	31,53	27,73	0,1020	49,60	29,17	0,0450

4.103.c. GPA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	53,31	34,35	0,0850	49,64	28,85	0,0400
2	52,49	33,64	0,1130	51,13	29,90	0,0330
3	52,27	33,99	0,1210	54,00	30,87	0,0170
4	50,82	32,60	0,1690	77,97	36,15	0,0070
5	52,05	33,99	0,1280	67,82	36,91	0,0110

4.103.d. SCA yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	53,14	33,99	0,0910	49,69	28,69	0,0390
2	52,81	33,79	0,1020	49,88	28,83	0,0390
3	61,65	30,99	NaN	52,39	20,08	NaN
4	51,67	32,96	0,1430	49,57	28,81	0,0440
5	50,83	31,82	0,1700	49,90	29,99	0,0460

4.103.e. MLR yönteminden elde edilen sonuçlar.

Kombinezon No	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
1	54,17	36,01	0,0553	50,37	31,14	0,0212
2	54,06	35,96	0,0592	50,22	30,98	0,0240
3	53,92	35,84	0,0642	50,32	30,79	0,0215
4	53,80	35,72	0,0683	50,25	30,63	0,0237
5	53,79	35,74	0,0685	50,31	30,73	0,0231

Tablo 4.104. Türkiye geneli için "süresel sapma modeli"nden elde edilen optimum sonuçlar.

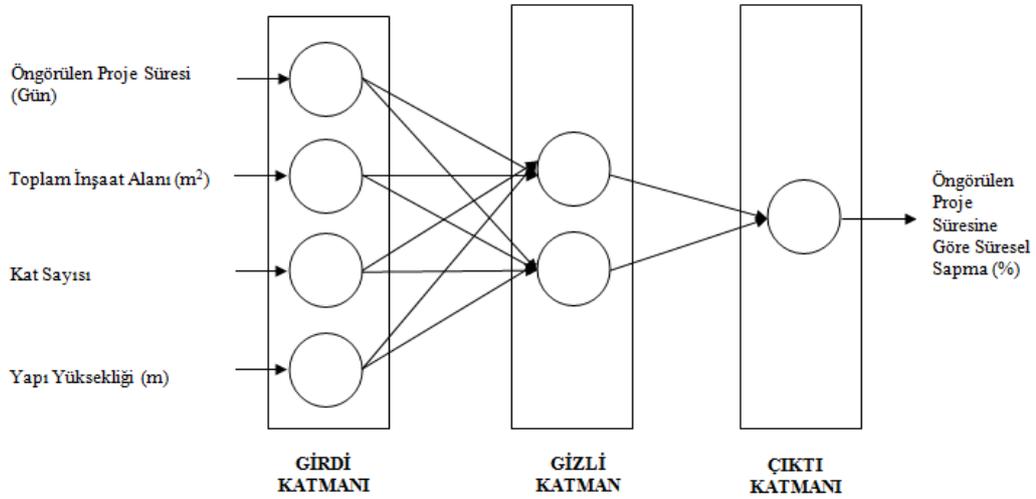
Yöntem	EĞİTME			TEST		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
MLP	53,66	32,97	0,0917	48,73	26,49	0,0501
RBF	31,36	27,69	0,0990	49,57	29,00	0,0430
GPA	53,31	34,35	0,0850	49,64	28,85	0,0400
SCA	51,67	32,96	0,1430	49,57	28,81	0,0440
MLR	54,06	35,96	0,0592	50,22	30,98	0,0240

Tablo 4.104’de yer alan değerlere göre; eğitim aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri RBF yönteminden, test aşaması için minimum RMSE ve MAE değerleri MLP yönteminden elde edilmiştir. MLP yönteminden optimum sonuç; dördüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:2, iterasyon sayısı:20 ve aktivasyon fonksiyonu:logsig şeklinde elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 4-2-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, MLP için ikinci ve üçüncü kombinezonlardan elde edilen optimum sonuçlarda da aktivasyon fonksiyonu:logsig olmuştur. RBF yönteminden optimum sonuç da MLP yöntemindeki gibi dördüncü kombinezondan ara tabaka hücre sayısı:5 ve dağılma parametresi:1,3 değerleri ile elde edilmiştir. Bir başka ifade ile 4-5-1 şeklindeki ağ mimarisinden en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GPA yönteminden optimum sonuç; birinci kombinezondan, üyelik fonksiyonu sayısı:2, giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss, çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. GPA yöntemi için beşinci ve son kombinezonda da giriş üyelik fonksiyonu türü:gauss ve ikinci kombinezonda da çıkış üyelik fonksiyonu türü:doğrusal olarak elde edilmiştir. SCA yönteminden optimum sonuç da MLP ve RBF yöntemlerindeki gibi dördüncü kombinezondan veri grubu katsayısı (yarıçap):0,35 ve iterasyon sayısı:1 değerleri ile elde edilmiştir. SCA analizlerinde dikkat çeken bir nokta; bütün kombinezonların optimum sonuçlarının 1 iterasyon sayısı ile elde edilmesidir. Buradan; iterasyon sayısının artırılmasının SCA analizlerine olumlu etkisinin olmadığı ifade edilebilir. MLR yönteminden optimum sonuç ise ikinci kombinezondan elde edilmiştir. Optimum hata değerlerini veren ikinci kombinezondaki kesişim sabiti ile katsayı parametrelerinin yerlerine konulması ile elde edilen optimum regresyon denklemi;

$$y = 45,71 - 0,112.x_1 + 0,00123.x_2 \quad (4.94)$$

Şeklindedir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde verilen Tablo 3.9'dan da görüleceği üzere, Türkiye geneli için oluşturulan süresel sapma modelinin bütün kombinezonlarından elde edilen $P_{\text{örneklem}}$ değerleri, $P_{\text{kritik}}=0,05$ değerinden küçük oldukları için, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için yapılan MLR analizi, en az %95 seviyesinde anlamlıdır. Bununla birlikte, süresel sapma modelinin bütün kombinezonları için $F_{\text{örneklem}} > F_{\text{kritik}}$ olarak elde edilmiştir. Bu ifade, H_0 'ın reddedileceği anlamı taşımakta olup H_1 hipotezi kabul edilir. Bir başka ifadeyle, süresel sapma modeli için; bağımlı değişken olan öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ile bağımsız değişkenler olan; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu ispatlanmıştır. Süresel sapma modeli için optimum sonuçları veren ve dördüncü kombinezondan elde edilen MLP modellemesinin ağ mimarisi, Şekil 4.156'da gösterilmiştir.



Şekil 4.156. Türkiye geneli için süresel sapma modelinin optimum MLP analizinin ağ mimarisi. (4-2-1)

Süresel sapma modeli için sırasıyla en yüksek performansları gösteren MLP ve RBF yöntemleri için optimum sonuçların dördüncü kombinezondan elde edilmesi, modellemelerde girdi olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı ve yapı yüksekliği (m) verilerinin her birinin birlikte kullanımının modellemelerin performanslarını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemelerde en

yüksek etkiye ise dördüncü girdi konumunda bulunan yapı yüksekliği sahiptir. Analizlerin test aşamalarında kullanılan süresel sapma değerlerinin en küçüğünün %-48,89, ortancanın %0,00 ve en büyüğünün %402,22 olduğu düşünüldüğünde, MLP yönteminin test aşamasından elde edilen $RMSE=48,73$ değeri; dikkate alınan en küçük değere göre, ortadaki değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla;

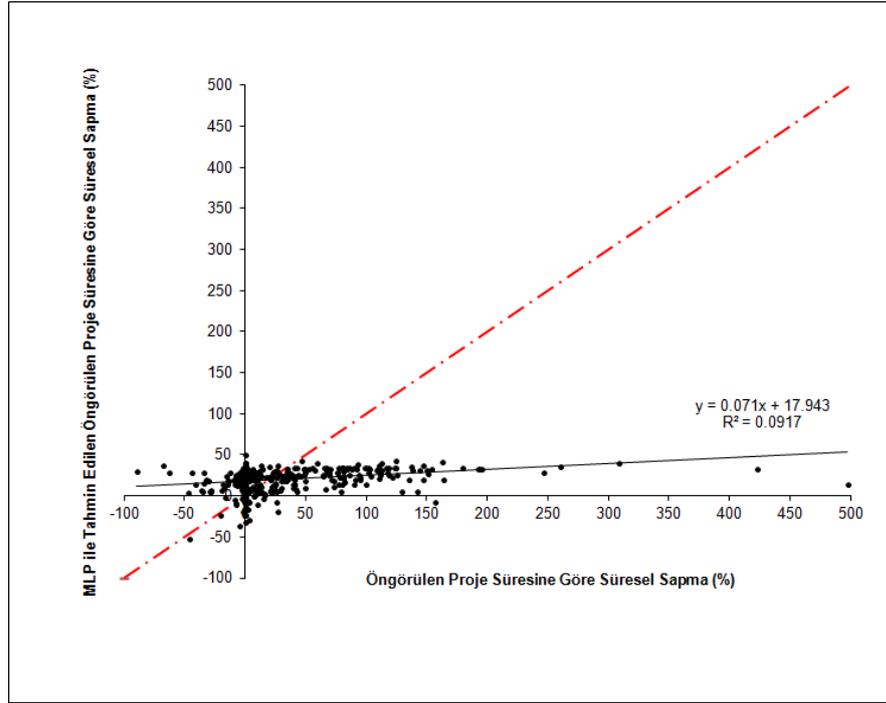
$$FarkK_{RMSE} = \left(\frac{48,73}{-48,89} \right) \times 100 = \% -99,67 \quad (4.95)$$

$$FarkO_{RMSE} = \left(\frac{48,73}{0,00} \right) \times 100 = \infty \quad (4.96)$$

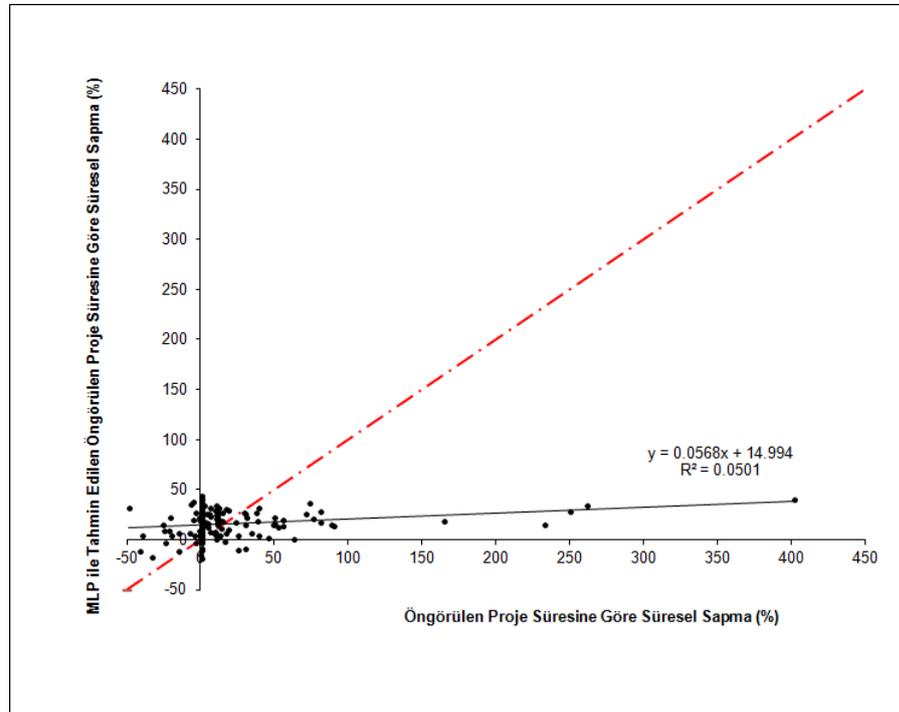
$$FarkB_{RMSE} = \left(\frac{48,73}{402,22} \right) \times 100 = \% 12,12 \quad (4.97)$$

Sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen $MAE=26,49$ değeri de; dikkate alınan en küçük değere göre ve en büyük değere göre sırasıyla; %-54,18 ve %6,59 sapma oranları ile elde edilmiştir. MLP yönteminin test aşamasından elde edilen R^2 değeri ise 0,0501 olup, bu değer, modellemeden elde edilen öngörülen proje süresine göre süresel sapma değerlerinin %5,01 doğruluk oranı ile tahmin edildiğini göstermektedir. $R^2 > 0,80$ durumunda gerçek ve hesaplanan değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,0501 < 0,80$ sonucu, zayıf korelasyona işaret etmektedir [84].

Yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen öngörülen proje süresi değerleri ve gerçekleşen proje süresi değerleri aracılığıyla hesaplanmış olan süresel sapma değerleri ile optimum MLP analizinden elde edilen tahmini süresel sapma değerlerine ait saçılma diyagramları, Şekil 4.157'de ve Şekil 4.158'de verilmiştir.



Şekil 4.157. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin eğitme aşamasındaki saçılma diyagramı.



Şekil 4.158. Türkiye geneli için optimum MLP modelinin test aşamasındaki saçılma diyagramı.

Şekil 4.157’de, MLP modellemesinin eğitime aşamasında kullanılan 473 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki yer almaktadır. Şekil 4.158’de ise MLP modellemesinin test aşamasında kullanılan 171 veri setinin süresel sapmaları ile modellemeden elde edilen tahmini süresel sapmalar arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki şekil için de, eğilim çizgilerinin, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden simetrik $y=x$ doğrusu ile farklı doğrultularda ve yatay x eksenini boyunca seyrettikleri görülmektedir. Verilerin de, eğilim çizgilerinin etrafında dağınık saçılımlara sahip oldukları görülmektedir. Buradan, süresel sapma modeli için gerçek değerler ile tahmini değerler arasında ciddi farklılıkların söz konusu olduğu ve dolayısıyla modellemenin başarısız olduğu söylenebilir. Optimum MLP analizinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri de, gerçek değerler ile tahmini değerler arasındaki nümerik ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.

4.2. Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma

Tez çalışmasının bir önceki "bulgular" bölümünde; Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli olmak üzere sekiz alt başlık halinde verilmiş olan analizlerin sonuçları, tez çalışmasının bu bölümünde; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli olmak üzere üç alt başlık halinde ve toplu olarak değerlendirilmiştir.

4.2.1. Maliyet Modeli Bulgularının Değerlendirilmesi

Birim alan maliyeti yöntemi (BAMY), Türkiye’de yaklaşık yapım maliyeti hesabında sıklıkla kullanılmakta olan bir tahmin yöntemidir. Yaklaşık yapım maliyeti hesabında sıklıkla kullanılan bir yöntemin gerçekçi olup olmadığının irdelenmesi de, mevcut tez çalışmasının amaçlarından birisini oluşturmaktadır. Bu amaçla, tez çalışmasının önceki bölümlerinde, her bir coğrafi bölge ve Türkiye geneli için BAMY yaklaşımı ile yaklaşık yapım maliyeti hesabı yapılarak elde edilen tutarların toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamı ile karşılaştırılarak BAMY yaklaşımının gerçekçilik düzeyi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra, öneri niteliğinde oluşturulan "maliyet modeli" için; yapay zekâ yöntemlerinden olan yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımı kapsamında yer alan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) analizlerinin yanı sıra, yapay zekâ yöntemlerinden olan hibrit yaklaşım kapsamında yer

alan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) analizlerinin ve son olarak da istatistiksel yöntemler arasında önemli bir yere sahip olan regresyon analizi (RA) kapsamında yer alan çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizinin sonuçları da, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları ile karşılaştırılarak hem kullanılan bu yöntemler arasında kıyaslama yapılabilmesine, hem de bu yöntemlerden elde edilen sonuçların BAMY sonuçları ile doğrudan kıyaslanabilmesine imkân sağlanmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde, "maliyet modeli" kapsamında önceki bölümlerde her bir coğrafi bölge ve Türkiye geneli için yapılan analizlerin kıyaslamalı olarak değerlendirilmesine yer verilmiştir.

Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve son olarak da Türkiye geneli için, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarının ortalama değerleri, Tablo 4.105'de verilmiştir.

Tablo 4.105. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için hesaplanan ortalama kesin hesap tutarları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Yapım İşi Sayısı	Ortalama KHT (TL)
1	Ege-İzmir	189	1.172.430,00
2	Marmara-Bursa	52	997.025,00
3	İç Anadolu-Ankara	73	1.917.902,00
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	160	802.669,00
5	Doğu Anadolu-Malatya	90	813.837,00
6	Akdeniz-Adana	52	959.964,58
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	72	1.963.198,85
8	TÜRKİYE GENELİ	688	1.172.067,17

Türkiye genelinde tamamlanmış olan toplam 688 kamu yapım işinin ortalama kesin hesap tutarı değeri 1.172.067,17 TL olarak elde edilmiş olup, 1.000.000 TL'nin sınır değeri olduğu düşünülürse, Türkiye genelinde yapılmış olan işlerde kesin hesap tutarı ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısı ile Türkiye genelinde kamu yapım işi hacminin geniş olduğu ifade edilebilir. Bunun yanısıra, Türkiye genelinden elde edilen 1.172.067,17 TL sınır değeri olarak düşünülürse; Bursa, Gaziantep, Malatya ve Adana şehirlerinde yapılmış olan kamu binalarının kesin hesap tutarlarının ortalaması, bahsedilen sınır değerinin altındadır. İzmir, Ankara ve Trabzon-Samsun şehirlerinde

yapılmış olan kamu binalarının kesin hesap tutarı ortalaması ise bahsedilen sınır değerin üzerindedir. Şekil 4.159’da, kamu yapım işleri için Türkiye geneli ortalamasının üzerinde kesin hesap tutarı değerine sahip olan coğrafi bölgeler yeşil renkte, Türkiye geneli ortalamasının altında kesin hesap tutarı değerine sahip olan coğrafi bölgeler kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 4.159. Ortalama kesin hesap tutarı büyüklüğüne göre coğrafi bölgelerin sınıflandırılması.

Türkiye’nin coğrafi bölgelerinin iş hacimleri göz önüne alınacak olursa, Marmara bölgesinde kesin hesap tutarı ortalamasının Türkiye ortalamasının üzerinde olmasının beklendiği ancak bu bölgede kesin hesap tutarı ortalamasının Türkiye ortalamasının altında kaldığı ifade edilebilir. Bunun yanısıra, Karadeniz bölgesinde kesin hesap tutarı ortalamasının Türkiye ortalamasının altında olmasının beklendiği ancak bu bölgede kesin hesap tutarı ortalamasının Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu ifade edilebilir.

Türkiye’nin bütün coğrafi bölgeleri ve son olarak da Türkiye geneli için, toplam inşaat alanları ve kesin hesap tutarları tespit edilen kamu yapım işlerinin; BAMY yaklaşımı ile hesaplanan yaklaşık maliyet değerleri ile aynı işlerin kesin hesap tutarları arasındaki ilişkiler, Tablo 4.106’da verilmiştir.

Tablo 4.106. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için BAMY sonuçlarının kesin hesap tutarları ile karşılaştırılması.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Veri Sayısı	BAMY (TL) (a)	KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)	R ²
1	Ege-İzmir	189	154.274.203,00	221.589.212,00	-30,38	0,6915
2	Marmara-Bursa	24	22.244.897,00	18.938.566,00	17,46	0,9298
3	İç Anadolu-Ankara	62	82.089.292,00	66.499.906,00	23,44	0,4184
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	147	115.102.672,00	85.386.007,00	34,80	0,8108
5	Doğu Anadolu-Malatya	71	39.712.863,00	46.371.854,00	-14,36	0,1526
6	Akdeniz-Adana	49	48.367.957,00	49.175.147,93	-1,64	0,5620
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	68	149.044.923,60	132.155.074,46	12,78	0,9137
8	TÜRKİYE GENELİ	610	607.264.574,60	620.115.767,39	-2,07	0,8107

Türkiye genelinde incelenen toplam 610 kamu yapım işi için; BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %2,07'lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmıştır. Elde edilen %2,07'lik toplam sapma oranının kabul edilebilir seviyede olduğu ifade edilebilir. Türkiye geneli için $R^2=0,8107>0,80$ sonucunun da kabul edilebilir seviyede olduğu görülmektedir [84]. Coğrafi bölgeler içinse; BAMY toplamı ile KHT toplamı arasındaki sapma oranının en düşük olduğu ve dolayısıyla toplam sapma oranının en makul seviyede olduğu bölge Akdeniz bölgesidir. Akdeniz bölgesini sırasıyla; Karadeniz, Doğu Anadolu, Marmara, İç Anadolu ve Ege bölgeleri izlemektedir. BAMY toplamı ile KHT toplamı arasındaki sapma oranının en yüksek olduğu bölge ise Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Bunun yanısıra; Akdeniz, Doğu Anadolu ve Ege bölgelerinde BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre daha düşük hesaplanmışken; Karadeniz, Marmara, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyasından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre daha yüksek hesaplanmıştır. Ek olarak; Marmara, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinden elde edilen R^2 değerleri kabul edilebilir seviyede olmasına rağmen, bu bölgelerden elde edilen; BAMY toplamı ile KHT toplamı arasındaki sapma oranları gerçekçi düzeye ulaşmamıştır.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için BAMY-KHT ilişkisinden elde edilen toplam sapma oranlarının azaltılıp azaltılamayacağı belirlenmesi amacıyla, bahsedilen kamu yapım işlerinin başlangıç aşamalarının öncesinde kesin hesap tutarlarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur. Maliyet modeli beş girdi parametresi ile bir çıktı parametresinden oluşmaktadır. Maliyet modelinin girdi parametreleri olarak; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL), çıktı parametresi olarak da kesin hesap tutarı (TL) kullanılmış ve beş farklı kombinezon oluşturulmuştur. Prensipte olarak, her bir girdi verisi, sahip olduğu sıraya göre modellemeye dâhil edilmiştir. Örneğin ikinci girdi verisi ikinci kombinezonda modellemeye dâhil olurken, beşinci girdi verisi, beşinci ve son kombinezonda modellemeye dâhil olmuştur.

Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için maliyet modeli kapsamında bir araya getirilen girdi parametrelerinin ve çıktı parametresinin verileri, eğitime ve test aşamaları olmak üzere iki farklı aşamada analiz edilmek üzere ayrıştırılmışlardır. Verilerin ayrıştırılmasında; yapım işlerinin başlangıç yılları dikkate alınmış ve eski yıllardan günümüze doğru bir sıralama yapılarak eğitime ve test verileri oluşturulmuştur. Eğitime ve test verilerinin sayı dağılımları için de %75 - %25 oranlarına riayet edilmeye çalışılmıştır. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için oluşturulmuş olan maliyet modelinin veri sayıları, Tablo 4.107'de verilmiştir.

Tablo 4.107. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için oluşturulan maliyet modelinin veri sayıları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Eğitime Verisi Sayısı	Test Verisi Sayısı	Toplam Veri Sayısı
1	Ege-İzmir	54	10	64
2	Marmara-Bursa	16	8	24
3	İç Anadolu-Ankara	43	18	61
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	106	35	141
5	Doğu Anadolu-Malatya	15	6	21
6	Akdeniz-Adana	33	12	45
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	49	15	64
8	TÜRKİYE GENELİ	316	104	420

Türkiye genelinde yapılan arşiv çalışmalarında, toplam 826 inşaat projesinin ihale dokümanı incelenmiştir. Bahsedilen inşaat projelerinin 688 tanesinin kesin hesap tutarı değerine erişilebilmiş olup, 610 tanesinin de hem kesin hesap tutarı değerine hem de toplam inşaat alanı değerine erişilebilmiş ve BAMY yaklaşımı ile yapım maliyeti hesaplanmıştır. Bunun yanısıra, maliyet modelinin beş girdi parametresine ve bir çıktı parametresine sahip olması, maliyet modeli kapsamında Türkiye geneli için temin edilen toplam veri sayısının 420'ye düşmesine neden olmuştur. Çünkü kesin hesap tutarı ve toplam inşaat alanının yanında, herhangi bir yapım işi için; yaklaşık maliyet, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli verilerinin en az birisinin temin edilememesi, o yapım işinin maliyet modeline dâhil edilememesine neden olmuştur. Coğrafi bölgeler içerisinde en fazla maliyet modeli verisi, Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Gaziantep'ten, en az maliyet modeli verisi de Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Malatya'dan elde edilmiştir. Türkiye geneli için oluşturulan maliyet modeli için; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 420 adet verinin 316 tanesi (%75) eğitime aşaması için, kalan 104 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Bunun yanında, maliyet modeli kapsamında Türkiye genelinden elde edilen toplam 420 verinin gerek yapay zekâ yöntemleri için, gerekse istatistiksel MLR analizi için yeterli seviyede olduğu düşünülmektedir. Yapay zekâ yöntemlerinden olan MLP, RBF, GPA ve SCA analizlerinden ve istatistiksel yöntem olan MLR analizinden elde edilen optimum RMSE, MAE ve R^2 değerleri, Tablo 4.108'de sıralanmıştır.

Tablo 4.108. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için maliyet modelinden elde edilen optimum analiz sonuçları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Optimum Yöntem	EĞİTME AŞAMASI			TEST AŞAMASI			Ortalama KHT (TL)
			RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²	
1	Ege-İzmir	MLP (5)	43.947,00	33.634,00	0,9998	271.940,00	207.800,00	0,9953	1.172.430,00
2	Marmara-Bursa	RBF (5)	1.045.500,00	664.490,00	0,9999	39.501,00	26.915,00	0,9964	997.025,00
3	İç Anadolu-Ankara	RBF (5)	1.046.800,00	868.290,00	0,9918	70.837,00	41.671,00	0,9918	1.917.902,00
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	MLR (5)	52.786,08	25.996,95	0,9861	26.343,68	18.232,64	0,9983	802.669,00
5	Doğu Anadolu-Malatya	RBF (1)	1.453.900,00	1.003.100,00	0,9874	56.325,00	49.759,00	0,9952	813.837,00
6	Akdeniz-Adana	MLP (5)	20.583,00	15.443,00	0,9994	54.868,00	40.150,00	0,9917	959.964,58
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	MLR (2)	369.458,53	212.796,52	0,9959	501.326,51	348.274,04	0,9900	1.963.198,85
8	TÜRKİYE GENELİ	MLP (5)	151.450,00	89.889,00	0,9966	206.460,00	119.670,00	0,9914	1.172.067,17

Tablo 4.108'in en sağıdaki sütunu, daha önce Tablo 4.105 olarak verilen ortalama kesin hesap tutarı değerlerini, diğer sütunlar da optimum maliyet modelinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen RMSE, MAE ve R^2 değerlerini göstermektedir. Bunun yanısıra, maliyet modelinin bütün kombinezonları kapsamında Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için yapılan analizlerin anlamlı olduğu, önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Ege bölgesi, Akdeniz bölgesi ve Türkiye geneli için optimum maliyet modeli sonuçları MLP yönteminin beşinci kombinezonundan elde edilmişken; Marmara bölgesi ile İç Anadolu bölgesi için optimum sonuçlar RBF yönteminin beşinci kombinezonundan ve Doğu Anadolu bölgesi için RBF yönteminin birinci kombinezonundan elde edilmiştir. Güneydoğu Anadolu bölgesi için MLR yönteminin beşinci kombinezonundan elde edilen optimum sonuçlar, Karadeniz bölgesi için de MLR yönteminin ikinci kombinezonundan elde edilmiştir.

Maliyet modeli kapsamında analizlerde kullanılan; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinin BAMY yaklaşımı ile karşılaştırılması neticesinde; Ege bölgesi, Marmara bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Türkiye geneli için kullanılan bütün yöntemlerden, BAMY yaklaşımından elde edilen sonuçlara göre daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun yanısıra, Doğu Anadolu bölgesi için MLP yöntemi dışındaki bütün yöntemlerden, BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni, Doğu Anadolu bölgesi için maliyet modeli kapsamında kullanılan veri sayısının az olması ve MLP yönteminin, veri sayısının az olması nedeniyle beklenen performansı gösterememiş olmasıdır. Akdeniz bölgesi içinse GPA ve SCA yöntemleri dışındaki bütün yöntemlerden, BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Zaten Tablo 4.108'de görülen optimum yöntemler içerisinde GPA ve SCA yöntemleri yer alamamıştır. Bahsedilen bu hibrit yöntemler, maliyet modeli için ANN yaklaşımlarından olan MLP ve RBF yöntemleri ile istatistiksel MLR yönteminin gerisinde kalmışlardır. Yöntem bazında genel bir değerlendirme yapılacak olursa; toplam sekiz analizde üçer kere MLP ve RBF yöntemleri, iki kere de MLR yöntemi optimum sonuç vermiştir. Maliyet modeli için hibrit yöntemler olarak analizlere dahil edilen GPA ve SCA yöntemlerinden optimum sonuç alınamaması, dikkat çekici bir noktadır. MLP ve RBF yöntemleri genel olarak birbirlerine yakın performans göstermiş olsa da, özellikle Türkiye geneli için optimum

sonucun MLP yönteminden elde edilmiş olması, bu yöntemi bir adım öne çıkarmaktadır.

Birçok öğrenme algoritması tarafından kullanılıyor olması nedeniyle özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olan MLP yönteminin iteratif yapısının, en yüksek performansın bu yöntemden elde edilmesi ile doğrudan ilişkisinin olduğu düşünülmektedir [111]. Ayrıca MLP analizleri için; en yaygın öğrenme algoritması olarak kullanılan ve danışmanlı öğrenme yapısına sahip olan geri yayılım algoritmasının kullanılması ve bu şekilde hatanın en aza indirgenmesi için bağlantı ağırlıklarının yeniden düzenlenebilmesi, bu yöntemden yüksek performans elde edilmesine olanak tanımıştır [147]. Daha çok tahmin, eğri uydurma ve fonksiyon yaklaştırma gibi problemlerin çözümünü içeren uygulamalarda MLP'ye alternatif bir sinir ağı olarak kullanılmaya başlanan, bunun yanısıra MLP'ye oranla daha kısa zamanda eğitilebilmesi ve lokal minimumlara takılmaksızın en iyi çözüme yakınsama gibi avantajlara sahip olan RBF yönteminden de tatminkar sonuçlar elde edildiği ifade edilebilir [160,161,162,163,164]. Ancak RBF yönteminin MLP yöntemi gibi iteratif olmamasının, bir başka deyişle, eğitme verilerinin oluşturduğu eğrinin dışına çıkamamasının, maliyet modeli analizleri için RBF yöntemi adına yaşanan en büyük dezavantaj olduğu düşünülmektedir [167]. Bunun yanında, giriş tabakasından gizli (ara) tabakaya geçişteki dönüşüm için RBF yönteminde tanjant sigmoid ya da logaritmik sigmoid fonksiyonlarının yerine radyal tabanlı aktivasyon fonksiyonlarını kullanan doğrusal olmayan bir dönüşüm kullanılması, bu yöntemin MLP yönteminin gerisinde kalmasına sebep olmuştur [111]. MLP yönteminden nadiren de olsa yüksek performans elde edilmesi ise özellikle ampirik çalışmalarda değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için sıklıkla kullanılan bu yöntemin basit yapısına rağmen, gerçek dünyadaki verileri modellemede oldukça başarılı olması ile ilişkilendirilebilir [208]. Burada unutulmaması gereken nokta, MLP ve RBF yöntemlerinin ikisinin de evrensel fonksiyon yakınsayıcı (herhangi bir fonksiyon için uygun bir doğruluk düzeyinde tahmin yapabilen model) özellikte olmasından dolayı, her zaman MLP yöntemi kullanılarak çözülen bir probleme yakın sonuç verebilecek bir RBF yönteminin bulunabileceğidir [112].

Kombinezon bazında değerlendirme yapılacak olursa; Doğu Anadolu bölgesi ile Karadeniz bölgesi dışındaki bütün bölgeler ve Türkiye geneli için optimum sonuçlar beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edilmesi, maliyet modelinde girdi parametreleri olarak kullanılan; yaklaşık maliyet (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin modellenmenin performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye ise beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli parametresi sahiptir. Doğu Anadolu bölgesi için sadece yaklaşık maliyet parametresi ile optimum sonuca ulaşılmışken, Karadeniz bölgesi için yaklaşık maliyet ve toplam inşaat alanı parametrelerinden optimum sonuç elde edilmiştir.

Maliyet modelinde kullanılan yöntemlerden elde edilen RMSE ve MAE değerleri, ortalama kesin hesap tutarı değerleri ile karşılaştırılırsa; Marmara bölgesinin ve Doğu Anadolu bölgesinin eğitime aşamalarından elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin ortalama kesin hesap tutarı değerinden büyük oldukları ve dolayısıyla bu bölgelerin eğitime aşamalarının performanslarının düşük kaldığı ifade edilebilir. Bununla birlikte, bütün coğrafi bölgeler ve Türkiye geneli için analizlerin test aşamalarından elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin tamamının ortalama kesin hesap tutarı değerinden küçük oldukları, bir başka ifadeyle bütün analizlerin test aşamalarından yüksek performansların elde edildiği söylenebilir çünkü RMSE ve MAE değerleri sıfıra ne kadar yakınsa modelleme de o kadar başarılı demektir. Türkiye geneli için örnek verilecek olursa, ortalama kesin hesap tutarı değeri 1.172.067,17 TL olan yapım işlerinin, optimum MLP analizinin beşinci kombinezonunun test aşamasından RMSE değeri 206.460,00 TL, MAE değeri de 119.670,00 TL olarak elde edilmiştir. Ortalama kesin hesap tutarı değerinin büyüklüğü göz önüne alınırsa, MLP analizinin test aşamasından elde edilen hata değerlerinin kabul edilebilir seviyede oldukları söylenebilir. Bu durum, bütün coğrafi bölgeler için de geçerlidir. Örneğin Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Gaziantep şehrinde yer alan yapım işlerinin ortalama kesin hesap tutarı 802.669,00 TL olarak hesaplanmışken, optimum MLR analizinin beşinci kombinezonunun test aşamasından RMSE değeri 26.343,68 TL, MAE değeri de 18.232,64 TL olarak elde edilmiştir. Elde edilen hata değerlerinin, ortalama kesin hesap tutarı göz önüne alındığında makul seviyelerde oldukları düşünülmektedir. Bunun yanısıra, bütün coğrafi bölgelerin ve Türkiye genelinin optimum sonuçlarının eğitime ve

test aşamalarından elde edilen R^2 değerleri, kabul edilebilir sınır değer olan 0,80 değerinin üzerinde ve oldukça tatminkar düzeydedir [84]. Bir başka ifadeyle, bütün coğrafi bölgeler ve Türkiye geneli için MLP, RBF ve MLR analizlerinin eğitime ve test aşamalarından R^2 değerleri adına oldukça yüksek performanslar elde edilmiştir. Bu durum, Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için; ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarı değerleri ile kullanılan yöntemlerin optimum analizlerinden elde edilen kesin hesap tutarı değerleri arasındaki nümerik ilişkilerin güçlü olduğunu göstermektedir [84].

Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ile Türkiye geneli için BAMY hesaplamalarının toplamı ile ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarının toplamı arasındaki ilişkiden elde edilen ve daha önce Tablo 4.106 olarak verilmiş olan sapma oranları ile direkt olarak karşılaştırılma yapılabilmesi adına, Tablo 4.109'da da maliyet modeli için optimum sonuçları veren yöntemlerden elde edilen tahmini kesin hesap tutarlarının toplamı ile ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarının toplamı arasındaki ilişkiden elde edilen sapma oranları gösterilmektedir.

Tablo 4.109'un en sağda yer alan sütunu, tez çalışmasının bu bölümünde Tablo 4.106 olarak verilmiş olan ve BAMY-KHT ilişkisinden elde edilen sapma oranlarını göstermektedir. Bahsedilen sütunun solunda yer alan sütun ise optimum sonuçlardan elde edilen tahmini KHT ile ihale dosyalarından elde edilen KHT ilişkisinden elde edilen sapma oranlarını ifade etmektedir. Buna göre, her bir coğrafi bölge ve Türkiye geneli için; optimum sonuçların elde edildiği yöntemlerden elde edilen tahmini değerlerin gerçek değerlere, BAMY ile hesaplanan yaklaşık değerlerden daha yakın olarak elde edildikleri ve dolayısıyla sapma oranlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Örneğin; Türkiye geneli için BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarının toplamına göre %2,07 oranında daha düşük hesaplanmışken, MLP yönteminin beşinci kombinezonundan elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %0,0005 oranında daha düşük hesaplanmıştır.

Tablo 4.109. Maliyet modelinden elde edilen optimum değerlerin gerçek değerlerle karşılaştırılması.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Optimum Yöntem	Veri Sayısı	Tahmini KHT (TL) (a)	Gerçek KHT (TL) (b)	(a-b)/b (%)	(BAMY-KHT)/KHT (%)
1	Ege-İzmir	MLP (5)	64	91.305.581	89.479.398	2,04	-30,38
2	Marmara-Bursa	RBF (5)	24	18.890.295	18.938.566	-0,25	17,46
3	İç Anadolu-Ankara	RBF (5)	61	61.503.490,16	61.354.897,00	0,24	23,44
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	MLR (5)	141	82.619.043,63	82.659.298,00	-0,05	34,80
5	Doğu Anadolu-Malatya	RBF (1)	21	24.125.532,12	24.158.773,00	-0,14	-14,36
6	Akdeniz-Adana	MLP (5)	45	46.906.190,61	47.022.665,93	-0,25	-1,64
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	MLR (2)	64	128.597.459,02	128.220.118,00	0,29	12,78
8	TÜRKİYE GENELİ	MLP (5)	420	451.831.661,42	451.833.715,93	-0,0005	-2,07

Bir başka ifadeyle, %2,07'lik sapma oranı kabul edilebilir seviyede olsa da, MLP yönteminden elde edilen %0,0005'lik sapma oranı, tahmini değerlerin neredeyse gerçek değerlerle aynı olduğunu ve dolayısıyla daha başarılı olduğunu göstermektedir. BAMY yaklaşımının en başarısız olduğu Güneydoğu Anadolu bölgesi içinse BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarının toplamına göre %34,80 oranında daha yüksek hesaplanmışken, MLR yönteminin beşinci kombinezonundan elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %0,05 oranında daha düşük hesaplanmış ve oran bazında Türkiye genelinden sonraki en yüksek performansı göstermiştir. Diğer bütün coğrafi bölgeler için de, MLP, RBF ve MLR yöntemlerinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarlarının, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarına, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlere oranla daha yakın oldukları açıktır. Bu nedenle, Türkiye genelinde, gerek kamu sektörünün yapım işleri gerekse özel sektörün yapım işleri için yaklaşık ön maliyetin belirlenmesinde BAMY yaklaşımının yerine, tez çalışması kapsamında önerilen maliyet modelinin kullanılmasının daha gerçekçi sonuçlar verebileceği ve dolayısıyla henüz yapım işi başlamadan önce planlamanın da daha gerçekçi maliyet değerine göre yapılarak yapım sırasında meydana gelebilecek risklerin en aza indirgenmesini sağlayabileceği düşünülmektedir.

4.2.2. Maliyet Sapması Modeli Bulgularının Değerlendirilmesi

Türkiye'de özellikle kamu yapım işlerinin, öngörülen proje maliyetlerinden daha yüksek maliyetlerle ve öngörülen proje sürelerinden daha uzun sürelerde tamamlandıkları bir gerçektir. Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehirde inşa edilmiş olan kamu binalarının ihale dosyalarından elde edilen sözleşme bedeli değerleri ile kesin hesap tutarı değerleri arasındaki farklılıklar da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Tez çalışmasının 4.1.8 bölümünde Şekil 4.140 olarak verilen grafikte, Türkiye genelinde tamamlanmış olan 688 kamu yapım işinin sözleşme bedellerinin gerçekleşme oranları yer almıştır. Buna göre; incelenen kamu yapım işlerinin %66,72'si, yani yarısından fazlası, sözleşme bedelinin üzerinde bir kesin hesap tutarı ile tamamlanmışken, %16,72'si sözleşme bedelinin altında bir kesin hesap tutarı ile ve %16,57'si sözleşme bedeli değerinde bir kesin hesap tutarı ile

tamamlanmıştır. Bu oranlar ışığında da Türkiye’de yapılan kamu yapım işlerinde meydana gelen maliyet sapmalarının önemli bir sorun olduğu ifade edilebilir. Çünkü yapım maliyeti tahmininin gerçekçi bir şekilde yapılmaması, işin planlanan maliyet çerçevesinde tamamlanmaması ve dolayısıyla maliyet sapmalarının meydana gelmesi, özellikle kamu yapım işlerinde milli servet kayıplarına neden olmakta ve kamu kuruluşlarını büyük zararlara uğratmaktadır [18,26]. Tez çalışması kapsamında, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesi için öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulması amaçlanarak, kamu yapım işlerinde meydana gelebilecek olan maliyet sapmalarının önceden tahmin edilip edilemeyeceği irdelenmiştir. Bu amaçla, yürürlükte olan 4734 sayılı kamu ihale kanununa göre gerçekleştirilmiş olan ve ihale dosyası incelenen yapım işlerinin maliyet sapması oranları belirlenmiştir. Maliyet sapması oranlarının belirlenmesi için de iki kriter göz önüne alınmıştır. Bu kriterler; yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen sözleşme bedeli ve kesin hesap tutarıdır. İncelenen her bir yapım işi projesinin; kesin hesap tutarı (gerçekleşme maliyeti) değeri ile sözleşme bedeli (öngörülen maliyet) değerinin farkının sözleşme bedeline bölünmesi suretiyle, söz konusu projenin maliyet sapması değeri (%) hesaplanmıştır. Türkiye’nin bütün coğrafi bölgeleri ve son olarak da Türkiye geneli için, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları ile sözleşme bedellerinin farkının, sözleşme bedeline oranı şeklinde hesaplanan maliyet sapması oranlarının ortalamaları, Tablo 4.110’da verilmiştir.

Tablo 4.110. Türkiye’nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için hesaplanan ortalama maliyet sapmaları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Yapım İşi Sayısı	Ortalama Maliyet Sapması (%)
1	Ege-İzmir	64	44,91
2	Marmara-Bursa	24	2,92
3	İç Anadolu-Ankara	61	3,37
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	141	2,35
5	Doğu Anadolu-Malatya	21	0,67
6	Akdeniz-Adana	45	4,18
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	64	6,87
8	TÜRKİYE GENELİ	420	9,81

Türkiye genelinde tamamlanmış olan toplam 420 kamu yapım işinin ortalama maliyet sapması oranı %9,81 olarak elde edilmiş olup, %10 oranının sınır değer olduğu düşünülürse, Türkiye genelinde yapılmış olan işlerde sözleşme bedeline göre maliyet sapması ortalamasının düşük olduğu ve dolayısıyla Türkiye genelinde kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine göre kabul edilebilir farklılıklara sahip olduğu söylenebilir. Bunun yanısıra, Türkiye genelinden elde edilen %9,81 oranı sınır değer olarak düşünülürse; İzmir dışındaki bütün şehirlerde yapılmış olan kamu binalarının maliyet sapması ortalaması bahsedilen sınır değerinin altında, İzmir şehrinde ise sınır değerinin üzerindedir. Bir başka ifadeyle, İzmir’de gerçekleştirilen yapım işlerinin ortalama maliyet sapması %44,91 olarak elde edilmiş ve kesin hesap tutarlarının, sözleşme bedellerine büyük farklılıklara sahip oldukları belirlenmiştir. Sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranının en düşük olduğu, başka bir ifadeyle kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine en yakın olduğu şehirse Malatya olarak belirlenmiştir. Malatya’da gerçekleştirilen yapım işlerinin ortalama maliyet sapması %0,67 olarak elde edilmiştir. Gaziantep, Bursa, Ankara, Adana ve Trabzon-Samsun şehirlerinde de ortalama maliyet sapması değerleri, kabul edilebilir düzeydedir.

Şekil 4.160’da, Türkiye geneli ortalamasının altında maliyet sapması oranına sahip olan coğrafi bölgeler yeşil renkte, Türkiye geneli ortalamasının üzerinde maliyet sapması oranına sahip olan Ege bölgesi kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 4.160. Ortalama maliyet sapması oranına göre coğrafi bölgelerin sınıflandırılması.

Türkiye'nin coğrafi bölgelerinin makine-malzeme fiyatları, işgücü vb. yapım maliyetine direkt olarak etki eden unsurlar göz önüne alınacak olursa, sadece Ege bölgesinde yapılan işlerin maliyet sapması ortalamasının Türkiye genelinin üzerinde olması dikkat çekicidir. Daha çok Doğu Anadolu bölgesi gibi makine-malzeme fiyatlarının değişkenlik gösterebileceği öngörülen ve zorlu iklim koşullarına sahip olan bir coğrafi bölgeden ziyade Ege bölgesindeki maliyet sapması oranının yüksek olması, bu coğrafi bölgede yapım maliyetine etki eden unsurların çok daha titizlikle göz önüne alınmasını gerektirmektedir.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için; kamu yapım işlerinin başlangıç aşamasından önceki evrede (inşaat öncesi evre) sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranlarının tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" oluşturulmuştur. Maliyet sapması modeli beş girdi parametresi ile bir çıktı parametresinden oluşmaktadır. Maliyet sapması modelinin girdi parametreleri olarak; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL), çıktı parametresi olarak da sözleşme bedeline göre maliyet sapması (%) kullanılmış ve beş farklı kombinezon oluşturulmuştur. Prensipte olarak, maliyet modelindeki gibi her bir girdi verisi, sahip olduğu sıraya göre modellemeye dâhil edilmiştir. Örneğin ikinci girdi verisi ikinci kombinezonda modellemeye dâhil olurken, beşinci girdi verisi, beşinci ve son kombinezonda modellemeye dâhil olmuştur.

Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için maliyet sapması modeli kapsamında bir araya getirilen girdi parametrelerinin ve çıktı parametresinin verileri, eğitime ve test aşamaları olmak üzere iki farklı aşamada analiz edilmek üzere ayrıştırılmışlardır. Verilerin ayrıştırılmasında; yapım işlerinin başlangıç yılları dikkate alınmış ve eski yıllardan günümüze doğru bir sıralama yapılarak eğitime ve test verileri oluşturulmuştur. Eğitime ve test verilerinin sayı dağılımları için de maliyet modelinde olduğu gibi %75 - %25 oranlarına riayet edilmeye çalışılmıştır. Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için oluşturulmuş olan maliyet sapması modelinin veri sayıları, Tablo 4.111'de verilmiştir.

Tablo 4.111. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için oluşturulan maliyet sapması modelinin veri sayıları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Eğitme Verisi Sayısı	Test Verisi Sayısı	Toplam Veri Sayısı
1	Ege-İzmir	54	10	64
2	Marmara-Bursa	16	8	24
3	İç Anadolu-Ankara	43	18	61
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	106	35	141
5	Doğu Anadolu-Malatya	15	6	21
6	Akdeniz-Adana	33	12	45
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	49	15	64
8	TÜRKİYE GENELİ	316	104	420

Türkiye genelinde yapılan arşiv çalışmalarında, toplam 826 inşaat projesinin ihale dokümanı incelenmiştir. Ancak maliyet sapması modelinin beş girdi parametresine ve bir çıktı parametresine sahip olması, maliyet modeline benzer olarak maliyet sapması modeli kapsamında da Türkiye geneli için temin edilen toplam veri sayısının 420'ye düşmesine neden olmuştur. Çünkü herhangi bir yapım işi için; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve yaklaşık maliyet verilerinin en az birisinin temin edilememesi, o yapım işinin maliyet sapması modeline dâhil edilememesine neden olmuştur. En geniş kapsamlı maliyet sapması modeli olarak kurgulanan Türkiye geneli için; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 420 adet verinin 316 tanesi (%75) eğitime aşaması için, 104 tanesi (%25) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Coğrafi bölgeler içerisinde en fazla maliyet sapması modeli verisi Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan Gaziantep'ten, en az maliyet sapması modeli verisi de Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Malatya'dan elde edilmiştir. Ayrıca maliyet sapması modeli kapsamında Türkiye genelinden elde edilen toplam 420 verinin gerek yapay zekâ yöntemleri, gerekse istatistiksel analiz için yeterli seviyede olduğu düşünülmektedir. Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için maliyet sapması modeli kapsamında; yapay zekâ yaklaşımlarından MLP, RBF, GPA ve SCA analizlerinden ve ek olarak istatistiksel bir yöntem olan MLR analizinden elde edilen optimum RMSE, MAE ve R^2 değerleri, Tablo 4.112'de sıralanmıştır.

Tablo 4.112. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için maliyet sapması modelinden elde edilen optimum analiz sonuçları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Optimum Yöntem	EĞİTME AŞAMASI			TEST AŞAMASI			Ortalama Maliyet Sapması (%)
			RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²	
1	Ege-İzmir	MLP (4)	20,56	19,33	0,0183	17,55	11,84	0,0739	44,91
2	Marmara-Bursa	RBF (3)	3,34	2,36	0,8644	4,14	3,73	0,2156	2,92
3	İç Anadolu-Ankara	MLP (5)	7,89	5,77	0,0425	7,24	4,37	0,1722	3,37
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	RBF (5)	2,65	2,19	0,0849	3,52	3,04	0,0321	2,35
5	Doğu Anadolu-Malatya	MLP (3)	3,05	2,44	0,8255	2,29	1,80	0,6447	0,67
6	Akdeniz-Adana	MLP (5)	2,16	1,63	0,7037	5,22	4,36	0,4276	4,18
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	RBF (3)	14,22	10,32	0,4139	29,21	14,91	0,0891	6,87
8	TÜRKİYE GENELİ	MLP (5)	19,93	11,77	0,0025	15,61	8,75	0,0271	9,81

Tablo 4.112'nin en sağdaki sütunu, daha önce Tablo 4.110 olarak verilen ortalama maliyet sapması değerlerini, diğer sütunlar da maliyet sapması modelinin optimum analizlerinin eğitme ve test aşamalarından elde edilen RMSE, MAE ve R^2 değerlerini göstermektedir. Optimum maliyet sapması modeli sonuçları, İç Anadolu bölgesi, Akdeniz bölgesi ve Türkiye geneli için MLP yönteminin beşinci ve son kombinezonundan elde edilmişken; Ege bölgesi için MLP yönteminin dördüncü kombinezonundan ve Doğu Anadolu bölgesi için MLP yönteminin üçüncü kombinezonundan elde edilmiştir. Optimum maliyet sapması modeli sonuçları, Güneydoğu Anadolu bölgesi için RBF yönteminin beşinci ve son kombinezonundan elde edilmiş olup, Marmara bölgesi ile Karadeniz bölgesi için RBF yönteminin üçüncü kombinezonundan elde edilmiştir. Bunun yanısıra, optimum sonuçların MLP yönteminin beşinci kombinezonundan elde edildiği İç Anadolu bölgesinin ve Akdeniz bölgesinin maliyet sapması modellerinin istatistiksel olarak anlamsız olduğu da önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Yöntem bazında değerlendirme yapılacak olursa; toplam sekiz analizde beşinde MLP yönteminden, üçünde de RBF yönteminden optimum sonuç elde edilmiştir. Maliyet sapması modeli için; hibrit yöntemler olarak analizlere dahil edilen GPA ve SCA yöntemleri ile istatistiksel yöntem olarak analizlere dahil edilen MLR yönteminden optimum sonuç alınamaması, bu model için en dikkat çekici noktadır. Bunun yanında, genel olarak MLP yönteminin RBF yöntemine göre daha yüksek performans gösterdiği de bir gerçektir.

Kombinezon bazında değerlendirme yapılacak olursa; İç Anadolu bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Akdeniz bölgesi ve Türkiye geneli için optimum sonuçlar beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum sonuçların beşinci kombinezondan elde edilmesi, maliyet sapması modelinde girdi parametreleri olarak kullanılan; sözleşme bedeli (TL), toplam inşaat alanı (m^2), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve yaklaşık maliyet (TL) verilerinin birlikte kullanımının bu bölgeler için modelleme performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye, beşinci girdi konumunda bulunan yaklaşık maliyet parametresi sahiptir. Bunun yanında, Ege bölgesi için; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerinin birlikte kullanımı ile optimum sonuca ulaşılmışken; Marmara bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi ve Karadeniz bölgesi için; sözleşme bedeli, toplam inşaat alanı ve kat sayısı verilerinin birlikte kullanımı ile optimum sonuca ulaşılmıştır.

Maliyet sapması modelinde kullanılan yöntemlerden elde edilen RMSE ve MAE değerleri, ortalama maliyet sapması değerleri ile karşılaştırılırsa; Ege bölgesinin, Marmara bölgesinin, Güneydoğu Anadolu bölgesinin ve Akdeniz bölgesinin eğitime aşamalarından elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin en az birisi, bahsedilen her bir coğrafi bölgenin kendi ortalama maliyet sapması değerinden daha küçük bir değere sahiptir. Ege bölgesinin ve Türkiye genelinin test aşamalarından elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin en az birisi de ortalama maliyet sapması değerinden daha küçük değere sahiptir. Ancak genel olarak; maliyet sapması modeli ile yapılan analizlerden elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin beklentileri karşılayamadığı, sadece Ege bölgesinde yer alan İzmir şehri için maliyet sapması modelinin, maliyet sapması değerlerini gerçeğe daha yakın tahmin edebildiği ifade edilebilir. Bunun yanı sıra, Marmara bölgesinin ve Doğu Anadolu bölgesinin eğitime aşamalarından elde edilen R^2 değerleri kabul edilebilir seviyede olsa da, test aşamasındaki bütün analizlerin R^2 değerleri, 0,80 olan kabul edilebilir sınır değerinin altında kalmıştır [84]. Bir başka deyişle, Marmara bölgesi ve Doğu Anadolu bölgesi için maliyet sapması modeli analizlerinin eğitime aşaması başarılı geçmiş ancak test aşamasında beklenen öğrenme düzeyi yakalanamamıştır. Diğer bütün coğrafi bölgeler ve Türkiye geneli içinse maliyet sapması modelinin gerek eğitime gerekse test aşamalarından R^2 değeri adına beklenen performanslar elde edilememiştir. Bu durum, Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması değerleri ile kullanılan yöntemlerden elde edilen maliyet sapması değerleri arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu ve dolayısıyla gerçek maliyet sapması değerleri ile tahmini maliyet sapması değerleri arasındaki ilişkilerin beklenileni yakalayamadığını göstermektedir [84]. Yapım işlerinin maliyetlerine etki eden ancak öngörülemeyen ve bu tez çalışmasında da maliyet sapması modeline dâhil edilemeyen birçok faktörün olması, bu durumun temel nedenidir. Yapım işi maliyetlerine direkt olarak etki edebilecek bütün değişkenlerin (keşif artışı, projede değişiklik yapılması vb.) maliyet sapması modeline dâhil edilmesi ile daha gerçekçi analiz sonuçlarının elde edilebileceği düşünülmektedir. Mevcut tez çalışmasından maliyet sapması modeli için elde edilen sonuçlar ilerisi için umut vericidir ancak maliyet sapmasına etki edebilecek değişkenlerin genellikle nümerik olarak ifade edilmesinin zor olduğu ve dolayısıyla maliyet sapması modeline dâhil edilemeyecekleri de gözardı edilmemelidir.

4.2.3. Süresel Sapma Modeli Bulgularının Değerlendirilmesi

Türkiye’de özellikle kamu yapım işlerinin öngörülen proje süresinden daha uzun sürelerde tamamlanabildikleri, bir önceki bölümde ifade edilmiştir. Tez çalışması kapsamında, Türkiye’nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehirde incelenen kamu yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen öngörülen proje süreleri ile gerçekleşen proje süreleri arasındaki farklılıklar da bu iddiayı doğrular niteliktedir. Tez çalışmasının 4.1.8 bölümünde Şekil 4.141 olarak verilen grafikte, Türkiye genelinde tamamlanmış olan 760 kamu yapım işinin süresel gerçekleşme oranları yer almıştır. Buna göre; incelenen kamu yapım işlerinin %47,50’si, yani yaklaşık yarısı, öngörülen proje süresinden daha geç bir sürede tamamlanmışken, %33,68’i öngörülen proje süresinde, yani zamanında, %18,82’si ise öngörülen proje süresinden daha erken bir sürede tamamlanmıştır. Bu oranlar ışığında, Türkiye’de gerçekleştirilen kamu yapım işlerinde meydana gelen süresel sapmaların da maliyet sapmaları gibi gerek işverenler, gerekse yükleniciler ve/veya proje yöneticileri için önemli bir sorun teşkil ettiği ifade edilebilir. Çünkü günümüzde yapım işi projelerinin kalitesinden ödün verilmeden, mümkün olan en kısa sürelerde ve mümkün olan en düşük maliyetlerle tamamlanması büyük önem taşımaktadır. Tez çalışması kapsamında da, maliyet sapması modeline ek olarak, yapım işlerinin başlangıç aşaması öncesi için öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturularak, kamu yapım işlerinde meydana gelebilecek olan süresel sapmaların önceden tahmin edilip edilemeyeceği irdelenmiştir. Bu amaçla, 4734 sayılı kamu ihale kanununa göre gerçekleştirilmiş olan ve ihale dosyası incelenen yapım işlerinin süresel sapma oranları belirlenmiştir. Süresel sapma oranlarının belirlenmesi için de; yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen öngörülen proje süresi ve gerçekleşen proje süresi olmak üzere iki kriter göz önüne alınmıştır. İncelenen her bir yapım işi projesinin; gerçekleşen proje süresi ile öngörülen proje süresinin farkı öngörülen proje süresine bölünmek suretiyle söz konusu projenin süresel sapma oranı (%) hesaplanmıştır. Türkiye’nin bütün coğrafi bölgeleri ve son olarak da Türkiye geneli için hesaplanan süresel sapma oranlarının ortalamaları, Tablo 4.113’de verilmiştir.

Tablo 4.113. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için hesaplanan ortalama süresel sapmalar.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Yapım İşi Sayısı	Ortalama Süresel Sapma (%)
1	Ege-İzmir	169	33,46
2	Marmara-Bursa	57	10,25
3	İç Anadolu-Ankara	67	23,24
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	146	20,06
5	Doğu Anadolu-Malatya	72	34,99
6	Akdeniz-Adana	61	9,77
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	72	18,18
8	TÜRKİYE GENELİ	644	23,52

Türkiye genelinde tamamlanmış olan toplam 644 kamu yapım işinin ortalama süresel sapma değeri %23,52 olarak elde edilmiş olup, %10 oranının sınır değer olduğu düşünülürse, Türkiye genelinde yapılmış olan işlerde öngörülen proje süresine göre süresel sapma ortalamasının yüksek olduğu ve dolayısıyla Türkiye genelinde gerçekleşen proje sürelerinin öngörülen proje sürelerine göre büyük farklılıklara sahip oldukları söylenebilir. Bunun yanısıra, Türkiye genelinden elde edilen %23,52 oranı sınır değer olarak düşünülürse; İzmir ve Malatya dışındaki bütün şehirlerde yapılmış olan kamu binalarının süresel sapma ortalaması, bahsedilen sınır değerinin altında, İzmir ve Malatya şehirlerinde ise sınır değerinin üzerindedir. Bir başka ifadeyle, İzmir'de ve Malatya'da gerçekleştirilen yapım işlerinin ortalama süresel sapmaları sırasıyla %33,46 ve %34,99 olarak elde edilmiş ve gerçekleşen proje sürelerinin öngörülen proje sürelerine göre çok daha yüksek oldukları belirlenmiştir. Öngörülen proje süresine göre süresel sapma ortalamasının en düşük olduğu, başka bir ifadeyle gerçekleşen proje sürelerinin öngörülen proje sürelerine en yakın olduğu şehirse Adana olarak belirlenmiştir. Adana'da gerçekleştirilen yapım işlerinin ortalama süresel sapması %9,77 olarak elde edilmiş ve kabul edilebilir sınırın altında yer almıştır. Diğer şehirlerde ve Türkiye genelinde ise ortalama süresel sapma değerleri, kabul edilemez düzeydedir.

Şekil 4.161'de, Türkiye geneli ortalamasının altında süresel sapma oranına sahip olan coğrafi bölgeler yeşil renkte, Türkiye geneli ortalamasının üzerinde süresel sapma oranına sahip olan coğrafi bölgeler ise kırmızı renkte gösterilmiştir.



Şekil 4.161. Ortalama süresel sapma oranına göre coğrafi bölgelerin sınıflandırılması.

Yapım işlerinin proje sürelerine direkt olarak etki eden; iklim şartları ve hava muhalefeti, proje değişikliği, ödenek yokluğu veya yetersizliği vb. unsurlar göz önüne alınacak olursa, Doğu Anadolu bölgesindeki yapım işlerinin süresel sapmalarının Türkiye ortalamasından yüksek olması normal karşılanırsa da Ege bölgesinde yapılan işlerin süresel sapma ortalamasının da Türkiye genelinin üzerinde olması dikkat çekicidir. Doğu Anadolu bölgesinin yanında, Karadeniz bölgesi gibi zorlu iklim koşullarına sahip olan bir coğrafi bölgeden ziyade Ege bölgesindeki süresel sapma oranının yüksek olması, bu coğrafi bölgede yapım işlerinin proje sürelerine etki eden unsurların çok daha titizlikle göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, hangi coğrafi bölge olursa olsun, yapım işlerinin proje sürelerinin gerçekçi olarak belirlenmesinin, yapım işlerinin proje maliyetlerinin belirlenmesinden daha zor olduğu düşünülmektedir. Çünkü özellikle ülkemizin iklim koşulları da göz önüne alındığında; hava muhalefeti, ruhsatın geç alınması, fiilen işe geç başlanması, teknik elemanın geç bildirilmesi, iş programının zamanında yapılmaması, proje değişikliği vb. teknik nedenlerin yanısıra, ödenek yokluğu veya yetersizliği vb. öngörülemeyen nedenlerin de etkisiyle, yapım işi projelerin öngörülen süreleri içerisinde tamamlanamamaktadır [8,58]. Bununla birlikte, bazı projelerde gecikme cezası uygulanmasından dolayı süresel gecikmeler kayıtlara geçirilirken, geciken ancak gecikme cezası uygulanmamış olan projelerde süresel gecikmeler kayıtlara geçirilmemiş olma ihtimali mevcuttur [8,58]. Bu gibi durumlar, mevcut tez çalışması kapsamında irdelenen süresel sapmalar için yanıtıcı oranlara neden olmuş olabilir.

Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için; süresel sapma oranlarının azaltılıp azaltılamayacağı belirlenmesi amacıyla, kamu yapım işlerinin başlangıç aşamalarının öncesindeki evrede öngörülen proje süresine göre süresel sapsmaların tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturulmuştur. Süresel sapma modeli beş girdi parametresi ile bir çıktı parametresinden oluşmaktadır. Süresel sapma modelinin girdi parametreleri olarak; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m²), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL), çıktı parametresi olarak da öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı (%) kullanılmış ve beş farklı kombinezon oluşturulmuştur. Prensip olarak, maliyet modeli ile maliyet sapsması modelindeki gibi her bir girdi verisi, sahip olduğu sıraya göre modellemeye dâhil edilmiştir. Örneğin ikinci girdi verisi ikinci kombinezonda modellemeye dâhil olurken, beşinci girdi verisi, beşinci ve son kombinezonda modellemeye dâhil olmuştur.

Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için süresel sapma modeli kapsamında bir araya getirilen girdi parametrelerinin ve çıktı parametresinin verileri, eğitime ve test aşamaları olmak üzere iki farklı aşamada analiz edilmek üzere ayrıştırılmışlardır. Verilerin ayrıştırılmasında; yapım işlerinin başlangıç yılları dikkate alınmış ve eski yıllardan günümüze doğru bir sıralama yapılarak eğitime ve test verileri oluşturulmuştur. Eğitime ve test verilerinin sayı dağılımları için de önceki modellerde olduğu gibi %75 - %25 oranlarına riayet edilmeye çalışılmıştır. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için oluşturulmuş olan süresel sapma modelinin veri sayıları, Tablo 4.114'de verilmiştir.

Tablo 4.114. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için süresel sapma modelinin veri sayıları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Eğitime Verisi Sayısı	Test Verisi Sayısı	Toplam Veri Sayısı
1	Ege-İzmir	126	43	169
2	Marmara-Bursa	41	16	57
3	İç Anadolu-Ankara	45	22	67
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	111	35	146
5	Doğu Anadolu-Malatya	52	20	72
6	Akdeniz-Adana	48	13	61
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	50	22	72
8	TÜRKİYE GENELİ	473	171	644

Türkiye genelinde yapılan arşiv çalışmalarında, toplam 826 inşaat projesinin ihale dokümanı incelenmiştir. Ancak süresel sapma modelinin beş girdi parametresine ve bir çıktı parametresine sahip olması, süresel sapma modeli kapsamında Türkiye geneli için temin edilen toplam veri sayısının 644'e düşmesine neden olmuştur. Çünkü herhangi bir yapım işi için; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli verilerinin en az birisinin temin edilememesi, o yapım işinin süresel sapma modeline dâhil edilememesine neden olmuştur. En geniş kapsamlı süresel sapma modeli olarak kurgulanan Türkiye geneli için; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivlerinden temin edilen toplam 644 adet verinin 473 tanesi (%73) eğitime aşaması için, 171 tanesi (%27) de test aşaması için kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Coğrafi bölgeler içerisinde en fazla süresel sapma modeli verisi Ege bölgesinde yer alan İzmir'den, en az süresel sapma modeli verisi de Marmara bölgesinde yer alan Bursa'dan elde edilmiştir. Ayrıca süresel sapma modeli kapsamında Türkiye genelinden elde edilen toplam 644 verinin önceki modellerin veri sayılarından daha fazla olduğu ve dolayısıyla gerek yapay zekâ yöntemleri, gerekse istatistiksel analiz için yeterli seviyede olduğu düşünülmektedir. Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için süresel sapma modeli kapsamında; yapay zekâ yaklaşımlarından MLP, RBF, GPA ve SCA analizlerinden ve ek olarak istatistiksel bir yöntem olan MLR analizinden elde edilen optimum RMSE, MAE ve R^2 değerleri, Tablo 4.115'de sıralanmıştır.

Tablo 4.115'in en sağdaki sütunu, daha önce Tablo 4.113 olarak verilen ortalama süresel sapma değerlerini, diğer sütunlar da Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için süresel sapma modelinin optimum analizlerinin eğitime ve test aşamalarından elde edilen RMSE, MAE ve R^2 değerlerini göstermektedir. Optimum süresel sapma modeli sonuçları, Marmara bölgesi ve Güneydoğu Anadolu bölgesi için MLP yönteminin beşinci ve son kombinezonundan elde edilmişken; Akdeniz bölgesi ve Türkiye geneli için MLP yönteminin dördüncü kombinezonundan, Ege bölgesi için MLP yönteminin ikinci kombinezonundan ve İç Anadolu bölgesi için MLP yönteminin birinci kombinezonundan elde edilmiştir. Optimum süresel sapma modeli sonuçları, Doğu Anadolu bölgesi ile Karadeniz bölgesi içinse RBF yönteminin beşinci ve son kombinezonundan elde edilmiştir.

Tablo 4.115. Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için süresel sapma modelinden elde edilen optimum analiz sonuçları.

Sıra No	Bulunduğu Coğrafi Bölge	Optimum Yöntem	EĞİTME AŞAMASI			TEST AŞAMASI			Ortalama Süresel Sapma (%)
			RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²	
1	Ege-İzmir	MLP (2)	65,13	42,88	0,0793	41,94	26,46	0,0178	33,46
2	Marmara-Bursa	MLP (5)	17,34	11,81	0,5504	54,86	26,04	0,2376	10,25
3	İç Anadolu-Ankara	MLP (1)	81,59	36,59	0,1141	33,90	19,20	0,3668	23,24
4	Güneydoğu Anadolu-Gaziantep	MLP (5)	33,16	25,52	0,3892	42,94	25,37	0,1516	20,06
5	Doğu Anadolu-Malatya	RBF (5)	57,62	48,05	0,3306	87,66	49,95	0,0667	34,99
6	Akdeniz-Adana	MLP (4)	8,99	6,16	0,8992	11,78	7,32	0,2294	9,77
7	Karadeniz-Trabzon ve Samsun	RBF (5)	41,06	26,62	0,3889	17,84	14,65	0,0942	18,18
8	TÜRKİYE GENELİ	MLP (4)	53,66	32,97	0,0917	48,73	26,49	0,0501	23,52

Optimum sonuçların MLP yönteminin birinci kombinezonundan elde edildiği İç Anadolu bölgesi ile RBF yönteminin beşinci ve son kombinezonundan elde edildiği Karadeniz bölgesinin süresel sapma modellerinin istatistiksel olarak anlamsız olduğu da önceki bölümlerde ifade edilmiştir. Elde edilen optimum sonuçlar yöntem bazında değerlendirilecek olursa; toplam sekiz analizin altısında MLP yönteminden, ikisinde de RBF yönteminden optimum sonuç elde edilmiştir. Süresel sapma modeli için de maliyet sapması modelindeki gibi; hibrit yöntemler olarak analizlere dahil edilen GPA ve SCA yöntemleri ile istatistiksel yöntem olarak analizlere dahil edilen MLR yönteminden optimum sonuç alınamaması, bu model için de dikkat çekici bir noktadır. Bu durumda, kamu yapım işlerinde meydana gelen süresel sapmaların tahmini için yapay sinir ağları (ANN) yöntemlerinin, hibrit yöntemler ile istatistiksel yöntemlere nazaran daha başarılı oldukları ifade edilebilir. Bunun yanında, süresel sapma modeli için MLP yönteminin RBF yöntemine göre daha yüksek performans gösterdiği de bir gerçektir. Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği üzere; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için optimum sonuçların ve dolayısıyla en yüksek performansın MLP yönteminden elde edilmiş olması, özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olan MLP yönteminin bulunduğu yeri hak ettiğini teyit etmektedir [111]. Kombinezon bazında değerlendirme yapılacak olursa; Marmara bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi ve Karadeniz bölgesi için optimum sonuçlar beşinci ve son kombinezondan elde edilmiştir. Optimum sonuçların beşinci kombinezondan elde edilmesi, süresel sapma modelinde girdi parametreleri olarak kullanılan; öngörülen proje süresi (gün), toplam inşaat alanı (m^2), kat sayısı, yapı yüksekliği (m) ve sözleşme bedeli (TL) verilerinin birlikte kullanımının bahsedilen coğrafi bölgeler için modelleme performansını artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Modellemede en yüksek etkiye, beşinci girdi konumunda bulunan sözleşme bedeli parametresi sahiptir. Bunun yanında, Akdeniz bölgesi ile Türkiye geneli için optimum sonuçlar dördüncü kombinezondan elde edilmiş olup; öngörülen proje süresi, toplam inşaat alanı, kat sayısı ve yapı yüksekliği verilerinin birlikte kullanımı ile optimum sonuca ulaşılmıştır. Ege bölgesi için; öngörülen proje süresi ve toplam inşaat alanı verilerinin birlikte kullanımı ile optimum sonuca ulaşılmışken, İç Anadolu bölgesi için optimum sonuç, öngörülen proje süresi verisinin tek başına kullanımından elde edilmiştir.

Süresel sapma modelinde kullanılan yöntemlerden elde edilen RMSE ve MAE değerleri, ortalama süresel sapma değerleri ile karşılaştırılırsa; sadece Akdeniz bölgesinin analizinin eğitime aşamasından elde edilen RMSE (%8,99) ve MAE (%6,16) değerleri, bahsedilen coğrafi bölgenin ortalama süresel sapma değerinden (%9,77) daha küçük değerlere sahiptir. Ege bölgesinin, İç Anadolu bölgesinin ve Akdeniz bölgesinin analizlerinin test aşamalarından elde edilen MAE değerleri, her bir coğrafi bölgenin ortalama süresel sapma değerinden daha küçük olup, Karadeniz bölgesinin test aşamasından elde edilen RMSE (%17,84) ve MAE (%14,65) değerlerinin her ikisi de ortalama süresel sapma değerinden (%18,18) daha küçüktür. Ancak genel olarak; süresel sapma modeli için yapılan analizlerden elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin beklentileri karşılayamadığı, eğitime aşaması için sadece Akdeniz bölgesinde yer alan Adana şehri için, test aşaması içinse sadece Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ve Samsun şehirleri için süresel sapma değerlerinin gerçeğe daha yakın tahmin edilebildiği ifade edilebilir. Bunun yanısıra, sadece Akdeniz bölgesinin analizinin eğitime aşamasından elde edilen R^2 değeri kabul edilebilir seviyede olsa da, test aşamasındaki bütün analizlerin R^2 değerleri; 0,80 değerinin altında kalmıştır [84]. Bir başka deyişle, Akdeniz bölgesi için süresel sapma modeli analizinin eğitime aşaması başarılı geçmiş ancak test aşamasında beklenen öğrenme düzeyi yakalanamamıştır. Diğer bütün coğrafi bölgeler ve Türkiye geneli içinse süresel sapma modelinin gerek eğitime gerekse test aşamalarından R^2 değeri adına beklenen performanslar elde edilememiştir. Bu durum, Türkiye'nin coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan süresel sapma değerleri ile kullanılan yöntemlerden elde edilen süresel sapma değerleri arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu ve dolayısıyla gerçek süresel sapma değerleri ile tahmini süresel sapma değerleri arasındaki ilişkilerin beklenilene yakalayamadığını göstermektedir [84]. Şüphesiz ki bu duruma neden olan ve yapım işlerinin proje sürelerine etki eden ancak öngörülemeyen ve bu tez çalışmasında da süresel sapma modeline dâhil edilemeyen birçok faktörün olması, bu durumun temel nedenidir. Yapım işlerinin proje sürelerine direkt olarak etki edebilecek bütün değişkenlerin (proje değişikliği, ödenek yokluğu/yetersizliği vb.) süresel sapma modeline dâhil edilmesi ile daha gerçekçi analiz sonuçlarının elde edilebileceği düşünülmektedir. Ancak tez çalışması kapsamında arşiv çalışması yapılmış olan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşiv koşulları ve ihale dosyalarının belli bir nizamata tabi olmaması, temin edilmesi planlanan proje verilerine erişimi olanaksız kılmaktadır.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; Türkiye’de 4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa dayalı olarak ihale edilen ve tamamlanan kamu yapım işlerine ait kesin hesap tutarlarının, öncelikle "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) hesaplamalarından elde edilen yaklaşık yapım maliyetleri ile kıyaslanarak BAMY yaklaşımının gerçekçilik düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra; "maliyet modeli", "maliyet sapması modeli" ve "süresel sapma modeli" olmak üzere öneri niteliğinde üç farklı model oluşturularak bu modellerin yapay zekâ (AI) yaklaşımı ve istatistiksel bir yaklaşım olan regresyon analizi (RA) ile test edilmesi ve kullanılan bu yaklaşımların inşaat evresi öncesindeki uygulanabilirlik düzeylerinin kıyaslamalı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra; maliyet modelinin analizlerinden elde edilen tahmini yapım maliyetlerinin BAMY yaklaşımından elde edilen yaklaşık yapım maliyetleriyle kıyaslanarak, önerilen maliyet modelinin, ülkemizde yaygın olarak kullanılan BAMY yaklaşımından daha başarılı olup olmadığının saptanması da tez çalışmasının amaçlarından birisi olarak gösterilebilir. Bahsedilen amaçlar çerçevesinde; Akdeniz bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi, Ege bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Marmara bölgesi olmak üzere Türkiye’nin yedi farklı coğrafi bölgesinde yer alan; Adana, Malatya, İzmir, Gaziantep, Ankara, Trabzon, Samsun ve Bursa şehirlerinde Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından mevcut kamu ihale kanununa göre 2003-2011 yılları arasında ihale edilip tamamlanmış olan toplam 826 inşaat projesinin ihale dokümanı incelenmiştir.

Bahsedilen şehirlerde yapılan çalışmalardan temin edilen verilere dayanılarak, öncelikle Türkiye’de yapı yaklaşık maliyeti tahmininde sıklıkla kullanılan "Mimarlık ve

Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" esas alınmış ve istatistik-olasılık analizlerine dayalı bir maliyet tahmin yaklaşımı olan BAMY yaklaşımı kullanılmıştır. BAMY yaklaşımı kullanılarak; her bir yapının toplam inşaat alanı ile inşa edildiği yıldaki birim alan maliyeti çarpılmak suretiyle yaklaşık yapım maliyeti hesaplanmıştır. Buradaki temel amaç; Türkiye'de yaygın olarak kullanılan BAMY yaklaşımının gerçekçiliğinin belirlenmesi ve bu yöntemin, tez çalışması kapsamında kullanılacak olan diğer yöntemlerle kıyaslanmasının sağlanmasıdır. Bu amaçla, öneri niteliğinde bir "maliyet modeli" oluşturulmuştur.

Günümüzde inşaat projelerinin başarılı olabilmesi için gerekli olan temel bileşenler; maliyet, süre ve kalite olup, bu bileşenlerin optimizasyonu, olmazsa olmaz bir amaçtır. Literatürde de, belirli istisnalar dışında, öngörülen maliyetler ve süreler içerisinde gerçekleştirilebilen yapım işi sayısının az olduğuna yönelik bulgulara rastlanmıştır. Tez çalışması kapsamında Türkiye kamu inşaat sektöründe tamamlanmış olan yapım işi projelerinden elde edilen veriler incelendiğinde de (Şekil 4.140 ve Şekil 4.141) bahsedilen öngörünün doğruluğu kanıtlanmıştır. Bahsi geçen durum, yapım işlerinde maliyet sapmaları ve süresel sapmaların meydana geldiğini göstermektedir. Buradan yola çıkılarak, maliyet modelinin yanısıra; sözleşme bedeline göre maliyet sapmalarının erken aşamalarda tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "maliyet sapması modeli" ile öngörülen proje süresine göre süresel sapmaların erken aşamalarda tahmin edilebilmesi amacıyla öneri niteliğinde bir "süresel sapma modeli" oluşturulmuştur.

Maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin verileri, Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgesi ve son olarak Türkiye geneli için; yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımlarından olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ve radyal tabanlı fonksiyon (RBF) ile, hibrit yapay zekâ yaklaşımlarından (ANFIS) olan ağ bölüştürme algoritması (GPA) ve eksiltmeli gruplandırma algoritması (SCA) ile analiz edilmiştir. İnşaat sektörünün kullandığı kaynakların fazlalığı, bu kaynakları elde etme güçlüğü, karar verme için deneyim faktörünün oynadığı önemli rol ve sektördeki yoğun rekabet ortamı göz önüne alınarak; değerlendirmelerin nitelikli, yeterli doğrulukta ve olabildiğince hızlı yapılabilmesi için ANN yaklaşımlarının yanısıra, ANN ve bulanık mantık (FL) yaklaşımlarının ortak olarak kullanıldığı hibrit ANFIS yaklaşımının da ele

alınması ve böylece ANN yaklaşımları ile hibrit GPA ve SCA yaklaşımlarının kıyaslanabilmesi fikri, bu tez çalışmasının temel amaçlarından birisini oluşturmaktadır. Çünkü literatürde, hibrit yapay zekâ yaklaşımı olan ANFIS yaklaşımı kapsamında kabul gören GPA ve SCA yaklaşımlarının; nümerik gruplandırma ve kural koyma gibi gelişmiş veri analiz metotlarını barındırmasından ötürü, tahmin kapasitelerinin ANN yaklaşımından daha iyi olduğuna dair sonuçlara rastlanmıştır. Tez çalışması kapsamında, literatürde yer alan bu yargının doğru olup olmadığı da irdelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, sonuçların daha şeffaf olarak değerlendirilmesi açısından, yapay zeka yaklaşımlarına ek olarak farklı bir yaklaşımın daha kıyaslamada kriter olarak ele alınması planlanmış ve istatistiksel bir yöntemde karar kılınmıştır. Böylece, tez çalışmasında kullanılan üçüncü ve son yöntem; istatistiksel yöntemler arasında önemli bir yere sahip olan regresyon analizi (RA) kapsamında yer alan çoklu doğrusal regresyon (MLR) analizi olmuştur. Literatürde, ANN yaklaşımlarının klasik istatistiksel yöntemlere nazaran daha olumlu sonuçlar verebildiği göze çarpmaktadır. Bahsedilen bu değerlendirmenin, yani ANN yaklaşımlarından MLP ve RBF yöntemlerinin istatistiksel MLR yöntemine göre olumlu sonuçlar verip vermedikleri de tez çalışması kapsamında irdelenmiştir.

Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli kapsamında maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için yukarıda bahsedilen yöntemlerin analizlerinden elde edilen sonuçlara göre ağların öğrenme performansları test edilmiş ve böylece, kullanılan bütün yöntemlerin inşaat evresi öncesindeki uygulanabilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak kullanılan yöntemlerin uygulanabilirlik düzeylerinin belirlenebilmesi için karşılaştırma kriterlerine gerek duyulmuştur. Gözlenen (gerçek) değerlerle modelleme sonuçlarını karşılaştırma kriterleri olarak, "karekök ortalama karesel hata" (RMSE), "ortalama mutlak hata" (MAE) ve "determinasyon katsayısı" (R^2) göz önüne alınmıştır.

Tez çalışmasından elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Türkiye geneli için BAMY yaklaşımı ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %2,07'lik

sapma oranı ile daha düşük hesaplanmıştır. Coğrafi bölge bazında ise Akdeniz bölgesi için bahsedilen sapma oranı %1,64 olarak hesaplanmış ve sadece Akdeniz bölgesi için BAMY yaklaşımının gerçekçi sonuç verebildiği belirlenmiştir.

- Girdi parametreleri olarak; yaklaşık maliyet, toplam inşaat alanı, kat sayısı, yapı yüksekliği ve sözleşme bedeli, çıktı parametresi olarak kesin hesap tutarının kullanıldığı ve beş kombinezondan oluşan "maliyet modeli" kapsamında kullanılan; MLP, RBF, GPA, SCA ve MLR yöntemlerinin BAMY yaklaşımı ile karşılaştırılması neticesinde; Ege bölgesi, Marmara bölgesi, İç Anadolu bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesi ve Türkiye geneli için kullanılan bütün yöntemlerden, BAMY yaklaşımından elde edilen sonuçlara göre daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bunun yanısıra, Doğu Anadolu bölgesi için MLP yöntemi dışındaki bütün yöntemlerden, BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni; Doğu Anadolu bölgesi için maliyet modeli kapsamında kullanılan veri sayısının az olması ve MLP yönteminin, veri sayısının az olması nedeniyle beklenen performansı gösterememiş olması, olarak ifade edilmiştir. Akdeniz bölgesi içinse GPA ve SCA yöntemleri dışındaki bütün yöntemlerden, BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak, hibrit yapay zekâ yaklaşımlarından olan GPA ve SCA yöntemlerinin, maliyet modeli için ANN yaklaşımlarından olan MLP ve RBF yöntemleri ile istatistiksel MLR yönteminin gerisinde kaldıkları belirlenmiştir. Yöntem bazında da; toplam sekiz analizde üçer kere MLP ve RBF yöntemlerinin, iki kere de MLR yönteminin optimum sonuç verdiği ve maliyet modeli için hibrit yöntemler olarak analizlere dahil edilen GPA ve SCA yöntemlerinden optimum sonuç alınamamasının dikkat çekici bir nokta olduğu ortaya konulmuştur.
- Maliyet modeli için; MLP ve RBF yöntemlerinin genel olarak birbirlerine yakın performans gösterdiği ancak özellikle Türkiye geneli için optimum sonucun MLP yönteminden elde edilmiş olmasının, bu yöntemi bir adım öne çıkardığı vurgulanmıştır. Mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olarak gösterilen MLP yönteminin iteratif yapısının, en yüksek performansın bu

yöntemden elde edilmesi ile doğrudan ilişkili olduğu da ifade edilmiştir. Kombinezon bazında ise; Doğu Anadolu bölgesi ile Karadeniz bölgesi dışındaki bütün coğrafi bölgeler ve Türkiye geneli için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edildiği belirlenmiştir. Neticede; maliyet modeli kapsamında MLP, RBF ve MLR yöntemlerinden elde edilen tahmini kesin hesap tutarlarının, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlere oranla, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarına daha yakın tahminler yapabildikleri ortaya çıkarılmıştır.

- Maliyet sapması konusunda; Türkiye genelinde tamamlanmış olan toplam 420 kamu yapım işinin sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranı ortalaması %9,81 olarak hesaplanmıştır. Türkiye genelinden elde edilen %9,81 oranı sınır değer olarak düşünülmüş ve Ege bölgesi dışındaki bütün coğrafi bölgelerde yapılmış olan kamu binalarının maliyet sapması oranı ortalamasının bahsedilen sınır değerinin altında olduğu, Ege bölgesinde ise sınır değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle, Ege bölgesinde gerçekleştirilen yapım işlerinin maliyet sapması oranı ortalaması %44,91 olarak elde edilmiş ve kesin hesap tutarlarının, sözleşme bedellerine göre büyük farklılıklara sahip oldukları belirlenmiştir. Sözleşme bedeline göre maliyet sapması oranının en düşük olduğu, başka bir ifadeyle kesin hesap tutarlarının sözleşme bedellerine en yakın olduğu coğrafi bölge ise Doğu Anadolu bölgesi olarak belirlenmiştir. Doğu Anadolu bölgesinde gerçekleştirilen yapım işlerinin ortalama maliyet sapması oranı %0,67 olarak elde edilmiştir.
- Maliyet sapması modeli için; yedi coğrafi bölge ve Türkiye geneli olmak üzere toplam sekiz analizin beşinde MLP yönteminden, üçünde de RBF yönteminden optimum sonuçların elde edildiği, hibrit yöntemler olarak analizlere dahil edilen GPA ve SCA yöntemleri ile istatistiksel yöntem olarak analizlere dahil edilen MLR yönteminden optimum sonuç alınamamasının, maliyet sapması modeli için en dikkat çekici nokta olduğu vurgulanmıştır. Bunun yanında, MLP yönteminin RBF yöntemine göre daha yüksek performans gösterdiği ifade edilmiştir. Kombinezon bazında; İç Anadolu bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Akdeniz bölgesi ve Türkiye geneli için optimum sonuçların beşinci ve son

kombinezondan elde edildiği belirlenmiştir. Maliyet sapması modeli kapsamında yapılan analizlerden elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin beklentileri karşılayamadığı, sadece Ege bölgesi için maliyet sapması modelinin, maliyet sapması oranlarını gerçeğe daha yakın tahmin edebildiği ortaya konulmuştur. Ege bölgesi için de maliyet sapması oranı ortalamasının zaten yüksek olmasının bu sonuca neden olduğu belirtilmiştir. Bunun yanısıra, Marmara bölgesinin ve Doğu Anadolu bölgesinin eğitim aşamalarından elde edilen R^2 değerlerinin kabul edilebilir seviyede olmalarına rağmen, test aşamasında bütün analizlerin R^2 değerlerinin, 0,80 olan kabul edilebilir sınır değerinin altında kaldığı belirlenmiştir. Bu durumun, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan maliyet sapması oranları ile kullanılan yöntemlerden elde edilen maliyet sapması oranları arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu ve dolayısıyla gerçek maliyet sapması oranları ile tahmini maliyet sapması oranları arasındaki ilişkilerin beklenilene yakalayamadığını gösterdiği, ifade edilmiştir.

- Süresel sapma konusunda; Türkiye genelinde tamamlanmış olan toplam 644 kamu yapım işinin öngörülen proje süresine göre süresel sapma oranı ortalaması %23,52 olarak hesaplanmıştır. Türkiye genelinden elde edilen %23,52 oranı sınır değer olarak düşünülmüş olup, Ege bölgesi ve Doğu Anadolu bölgesi dışındaki bütün coğrafi bölgelerde yapılmış olan kamu binalarının süresel sapma oranlarının, bahsedilen sınır değerinin altında olduğu, Ege bölgesinde ve Doğu Anadolu bölgesinde ise sınır değerinin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle, Ege bölgesinde ve Doğu Anadolu bölgesinde gerçekleştirilen yapım işlerinin süresel sapma oranları sırasıyla %33,46 ve %34,99 olarak elde edilmiş ve gerçekleşen proje süreleri ile öngörülen proje süreleri arasında büyük farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir. Öngörülen proje süresine göre süresel sapma ortalamasının en düşük olduğu, başka bir ifadeyle gerçekleşen proje sürelerinin öngörülen proje sürelerine en yakın olduğu coğrafi bölge de Akdeniz bölgesi olarak belirlenmiştir. Akdeniz bölgesinde gerçekleştirilen yapım işlerinin süresel sapma oranı ortalaması %9,77 olarak elde edilmiştir.

- Süresel sapma modeli için; yedi coğrafi bölge ve Türkiye geneli olmak üzere toplam sekiz analizin altısında MLP yönteminden, ikisinde de RBF yönteminden optimum sonuçlar elde edilmiştir. Süresel sapma modeli için de maliyet sapması modelindeki gibi hibrit yöntemler olarak analizlere dahil edilen GPA ve SCA yöntemleri ile istatistiksel yöntem olarak analizlere dahil edilen MLR yönteminden optimum sonuç alınamamasının, bu model için de dikkat çekici bir nokta olduğu vurgulanmıştır. Bu durumda, kamu yapım işlerinde meydana gelen süresel sapmaların tahmini için yapay sinir ağları (ANN) yöntemlerinin, hibrit yapay zekâ yöntemleri ile istatistiksel yöntemlere nazaran daha başarılı oldukları belirlenmiştir. Bunun yanında, süresel sapma modeli için MLP yönteminin RBF yöntemine göre daha yüksek performans gösterdiği de vurgulanmıştır. Kombinezon bazında; Marmara bölgesi, Güneydoğu Anadolu bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi ve Karadeniz bölgesi için optimum sonuçların beşinci ve son kombinezondan elde edildiği belirlenmiştir. Süresel sapma modeli kapsamında yapılan analizlerden elde edilen RMSE ve MAE değerlerinin beklentileri karşılayamadığı, eğitime aşaması için sadece Akdeniz bölgesinde yer alan Adana şehri için, test aşaması içinse sadece Karadeniz bölgesinde yer alan Trabzon ve Samsun şehirleri için süresel sapma değerlerinin gerçeğe daha yakın tahmin edilebildiği ortaya konulmuştur. Bunun yanısıra, sadece Akdeniz bölgesinin analizinin eğitime aşamasından elde edilen R^2 değerinin kabul edilebilir seviyede olduğu, test aşamasındaki bütün analizlerin R^2 değerlerinin, 0,80 olan kabul edilebilir sınır değerinin altında kaldığı da ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçların; Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için ihale dosyalarından elde edilen verilerle hesaplanan süresel sapma oranları ile kullanılan yöntemlerin analizlerinden elde edilen süresel sapma oranları arasındaki nümerik ilişkilerin zayıf olduğunu gösterdiği ve dolayısıyla yapılan analizlerde, gerçek süresel sapma oranları ile tahmini süresel sapma oranları arasındaki ilişkilerin beklenilene yakalayamadığı ifade edilmiştir.

Özetlemek gerekirse; tez çalışması kapsamında oluşturulan; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli için, ANN yaklaşımlarından olan MLP ve RBF yöntemleri, hibrit yapay zekâ yaklaşımlardan olan GPA ve SCA yöntemlerine ve istatistiksel bir yaklaşım olan MLR yöntemine oranla daha yüksek performans

göstermişlerdir. Bahsedilen iki yöntem kıyaslandığında ise genel olarak MLP yönteminin RBF yöntemine göre bir adım öne çıktığı söylenebilir. Bir başka ifadeyle, tez çalışması kapsamında kullanılan MLP yönteminin, kamu yapım işlerinin inşaat evresi öncesinde, kesin hesap tutarları ile maliyet sapmaları ve süresel sapmaların tahmin edilmesindeki uygulanabilirlik düzeyinin yüksek olduğuna ilişkin ciddi bulgulara ulaşılmıştır. En yüksek performansın MLP yönteminden elde edilmiş olması, özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olarak gösterilen MLP yönteminin bulunduğu yeri hak ettiğini teyit etmektedir.

5.2. Öneriler

Mevcut tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak yapılan öneriler maddeler halinde özetlenecek olursa;

- Tez çalışması kapsamında, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesinde yer alan sekiz şehirde faaliyet gösteren Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde gerçekleştirilen arşiv çalışmalarında, ihale dosyasından; toplam inşaat alanı, yapı yüksekliği, yaklaşık maliyet, gerçekleşen proje süresi vb. parametreleri tespit edilemeyen yapım işleri hesap dışı bırakılmıştır. Çalışma yapılan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşivlerinde yer alan birçok ihale dosyasında, özellikle yapı fiziki özelliklerinin yer almadığı ve ihale dosyalarının düzenlenmesinde kullanılan genel bir nizamın bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ihale dosyalarına ulaşılmasına rağmen, aranan değerlere ulaşamadığından dolayı birçok kamu yapım işi, tez çalışması kapsamında değerlendirilememiştir. Buradan hareketle, Türkiye'de yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde, bilgilerin doğru ve sağlıklı olarak arşivlenmesi sorunu ön plana çıkmaktadır. Türk kamu inşaat sektöründe bu tür uygulamalar için henüz yeterli arşiv çalışmalarının bulunmadığı ve/veya geçmiş bilgilerden yararlanma düşüncesinin yerleşmediği dikkate alındığında, ileriki çalışmalar için de en büyük sorunun nitelikli veriye ulaşmak olacağı söylenebilir. Bu nedenle, Türkiye'de bulunan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri arşivleri için genel bir nizam belirlenmeli ve ihale dosyalarının oluşturulmasında belirlenen nizama uyulmalıdır. Bu şekilde ihale dosyaları, gereksiz bilgi ve belgelerden de arındırılmış olacaklardır.

- Türkiye’de kamu kurum ve kuruluşlarınca yapılmış olan ihalelerle ilgili bilgilerin elektronik ortama aktarılması konusunda, Kamu İhale Kurumu tarafından "kamu satınalma platformu" adı altında bir web hizmetinin sağlandığı (<http://vatandas.ihale.gov.tr/>) bilinmektedir. Bahsedilen uygulama, bütün üst idarelerin bir arada toplanması ve ihale işlemlerinin tek elden yürütülmesi açısından avantajlı olsa da, uygulamada yer alan ihale bilgileri sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı başta olmak üzere, Türkiye’de kamu kurum ve kuruluşları tarafından yapılan ihalelerin bütün bilgilerinin (fiziksel, mali ve süresel özellikler vb.) elektronik ortama aktarılmasının, veriye erişim kolaylığı, şeffaflık ve genel bir ihale veritabanı oluşturulması açısından faydalı olabileceği düşünülmektedir. Bilgi kirliliğini önlemek adına, bahsedilen sisteme, sadece tamamlanmış olan yapım işleri dâhil edilebilir. Bu uygulamanın hayata geçirilmesi, kamu kurum ve kuruluşlarının Kamu İhale Kurumu ile müşterek çalışması ile mümkün olabilecektir.
- Tez çalışması kapsamında incelenen kamu yapım işlerinin yapı sınıfları belirlenirken; köy konağı, halk eğitim merkezi, zihinsel engelliler okulu vb. yapıların yapı sınıflarının belirlenmesi adına, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek yayımlanmakta olan "mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ"de; köy konağı, halk eğitim merkezi, zihinsel engelliler okulu vb. bazı yapılar için net ifadelerin mevcut olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, ilgili tebliğler kapsamında, sürüncemeye yer vermeyecek şekilde Türkiye’de inşa edilen bütün yapı türlerinin sınıflandırmalarda yer almasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Bir başka ifadeyle, yayımlanmakta olan tebliğler, yapı sınıfı sınırlarının belirlenmesi açısından zayıf kalmaktadır ve yapı sınıfı kapsamının genişletilmesi gerekmektedir.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından her yıl güncellenerek yayımlanan ve "birim alan maliyeti yöntemi" (BAMY) olarak da bilinen "mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ" in, genel anlamda gerçekçi yapı yaklaşık maliyet tahmini yapmaktan uzak olduğu ispatlanmıştır.

- Kamu işlerinin yapım maliyeti tahmini için BAMY yaklaşımının yerine öneri niteliğinde sunulan maliyet modeli kapsamında; MLP, RBF ve MLR yöntemlerinin BAMY yaklaşımına göre daha yüksek performans gösterdikleri ve yapım maliyetlerini daha gerçekçi tahmin ettikleri ortaya konulmuştur. Kullanılan yöntem bazında ise MLP yönteminden en iyi performans elde edilmiş ve MLP yönteminin en az hata ile yapım maliyeti tahmini yapabildiği ortaya konulmuştur. Önerilen maliyet modeli kapsamında, yapım maliyetine direkt etkisi olan toplam inşaat alanının yanısıra; kat sayısı ve yapı yüksekliği gibi fiziki özellikler de dikkate alınarak daha gerçekçi bir yapım maliyeti tahmini yapılabilmektedir. Bu şekilde; yapının finansal modelinin doğru bir şekilde kurulmaması ve nakit akışından kaynaklanan inşaatın tamamlanamaması vb. sorunların ortadan kaldırılması mümkün olabilecektir.
- BAMY yaklaşımının en başarısız olduğu Güneydoğu Anadolu bölgesi için, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlerin toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarlarının toplamına göre %34,80 oranında daha yüksek hesaplanmışken, MLR yönteminin beşinci kombinezonundan elde edilen tahmini kesin hesap tutarları toplamı, ihale dosyalarından elde edilen kesin hesap tutarları toplamına göre %0,05 oranında daha düşük hesaplanmış ve oran bazında Türkiye genelinden sonraki en yüksek performansı göstermiştir. Buna göre; Güneydoğu Anadolu bölgesi için MLR analizinin beşinci kombinezonundan elde edilen ve Bölüm 4.1.4'de Formül 4.38 olarak verilen; $y = -7333 - 0,049 \cdot x_1 + 11,35 \cdot x_2 - 13361 \cdot x_3 + 5025 \cdot x_4 + 1,06 \cdot x_5$ şeklindeki optimum regresyon denkleminin, Türkiye genelindeki yapım işleri için BAMY yaklaşımının yerine kullanılması önerilmektedir. Maliyet modeli kapsamında önerilen yukarıdaki formülde; y : kesin hesap tutarı, x_1 : yaklaşık maliyet, x_2 : toplam inşaat alanı, x_3 : kat sayısı, x_4 : yapı yüksekliği, x_5 : sözleşme bedeli, olarak tanımlanmıştır. Buna göre, 2013 yılında yapılması planlanan; yaklaşık maliyeti 1.000.000 TL, toplam inşaat alanı 1000 m², kat sayısı 5, yapı yüksekliği 15 m. ve sözleşme bedeli 700.000 TL olan bir okulun; yukarıdaki formülle hesaplanan kesin hesap tutarı 705.587 TL olacaktır. Yapı sınıfı III.B olan aynı okulun, BAMY yaklaşımı ile hesaplanan yaklaşık maliyeti ise; 1000 m² x 585 TL/m² =

585.000 TL olacaktır. Sözleşme bedeli olan 700.000 TL dikkate alındığında, 705.587 TL'lik bir yapım maliyetinin, 585.000 TL'lik bir yapım maliyetine oranla daha gerçekçi olduğu düşünülmektedir.

- Türkiye'nin bütün coğrafi bölgelerinde yer alan ve tez çalışması kapsamında incelenen kamu yapım işlerinin; öngörülemeyen maliyet artışları ve öngörülemeyen süresel artışlardan dolayı %66,72'sinde maliyet sapmaları ve %47,50'sinde süresel sapmalar yaşanmıştır. Bu durum, kamuyu zarara uğratmakta ve milli servet kayıplarına neden olmaktadır. Bahsedilen kayıpların azaltılabilmesi için, etkin maliyet sapması tahmin sistemi ve süresel sapma tahmin sistemi geliştirmelidir.
- Ege bölgesinde gerçekleştirilen yapım işlerinin maliyet sapması oranı %44,91 olarak elde edilmiş ve kesin hesap tutarlarının, sözleşme bedellerine göre büyük farklılıklara sahip oldukları belirlenmiştir. Makine-malzeme fiyatları, işgücü, iklim koşulları vb. yapım maliyetine direkt olarak etki eden unsurlar göz önüne alınacak olursa, sadece Ege bölgesinde yapılan işlerin maliyet sapması ortalamasının Türkiye genelinin üzerinde olması dikkat çekicidir. Daha çok Doğu Anadolu bölgesi gibi makine-malzeme fiyatlarının talep azlığından dolayı değişkenlik gösterebileceği öngörülen ve zorlu iklim koşullarına sahip olan bir coğrafi bölgeden ziyade Ege bölgesindeki maliyet sapması oranının yüksek olması, bu coğrafi bölgede yapım maliyetine etki eden unsurların çok daha titizlikle göz önüne alınmasını gerekli kılmaktadır.
- Kamu yapım işlerinde meydana gelen maliyet sapmalarının tahmini için öneri niteliğinde oluşturulan maliyet sapması modeli, Türkiye'nin yedi coğrafi bölgesi ve Türkiye geneli için; yapay zekâ yaklaşımlarından olan MLP, RBF, GPA ve SCA yaklaşımının yanısıra, istatistiksel bir yaklaşım olan MLR yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Kullanılan yöntem bazında MLP yaklaşımından en iyi performans elde edilmiştir. Sonuç olarak; maliyet sapması modelinin mevcut haliyle kullanımının kayda değer üstünlük içermediği ortaya çıkmıştır. Yapım maliyetlerine etki eden ancak öngörülemeyen ve bu tez çalışmasında da maliyet sapması modeline dâhil edilemeyen birçok değişken faktörün bulunması, elde

edilen bu sonucun temel nedeni olarak gösterilebilir. Yapım maliyetlerine direkt olarak etki edebilecek faktörlerin (keşif artışı, projede değişiklik yapılması vb.) maliyet sapması modeline dâhil edilmesi ile daha gerçekçi analiz sonuçlarının elde edilebileceği düşünülmektedir. Mevcut tez çalışmasından maliyet sapması modeli için elde edilen sonuçlar ilerisi için umut vericidir ancak maliyet sapmasına etki edebilecek değişkenlerin birçoğunun nümerik olarak ifade edilmesinin zor olduğu da gözardı edilmemelidir. Türkiye geneli için geçerli bir maliyet sapması modeli oluşturulabilmesi için; her şeyden önce yapım işlerinin ihale dosyalarının tanziminin özenle yapılması ve ilgili projelere ait olan her türlü verilerin ve bilgilerin ihale dosyalarında yer alması gereklidir.

- Ege bölgesinde ve Doğu Anadolu bölgesinde gerçekleştirilen yapım işlerinin süresel sapma oranları Türkiye ortalamasının üzerinde ve sırasıyla %33,46 ve %34,99 olarak elde edilmiştir. Bahsedilen coğrafi bölgelerde, öngörülen proje süreleri ile gerçekleşen proje süreleri arasında büyük farklılıklar bulunduğu belirlenmiştir. Yapım işlerinin proje sürelerine direkt olarak etki eden; iklim şartları ve hava muhalefeti, proje değişikliği, ödenek yokluğu veya yetersizliği vb. unsurlar göz önüne alınacak olursa, Doğu Anadolu bölgesindeki yapım işlerinin süresel sapma oranı ortalamasının Türkiye ortalamasından yüksek olması normal karşılanırsa da Ege bölgesinde yapılan işlerin süresel sapma oranı ortalamasının Türkiye genelinin üzerine çıkması dikkat çekicidir. Doğu Anadolu bölgesinin yanında, Karadeniz bölgesi gibi zorlu iklim koşullarına sahip olan bir coğrafi bölgeden ziyade Ege bölgesindeki süresel sapma oranının yüksek olması, bu coğrafi bölgede yapım işlerinin proje sürelerine etki eden unsurların, proje maliyetlerine etki eden unsurlar gibi çok daha titizlikle göz önüne alınmasını gerekli kılmaktadır.
- Kamu yapım işlerinde meydana gelen süresel sapmaların tahmini için öneri niteliğinde oluşturulan süresel sapma modeli de, maliyet modeli ve maliyet sapması modeli gibi Türkiye'nin bütün coğrafi bölgeleri ve Türkiye geneli için; yapay zekâ yaklaşımlarından olan MLP, RBF, GPA ve SCA yaklaşımının yanısıra, istatistiksel bir yaklaşım olan MLR yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Kullanılan yöntem bazında MLP yaklaşımından en iyi performans elde

edilmiştir. Sonuç olarak; süresel sapma modelinin mevcut haliyle kullanımının başarısız sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonucun ortaya çıkmasının temel nedeninin; yapım işlerinin proje sürelerinin oldukça fazla sayıda parametre ile ilişkili olması ve mevcut süresel sapma modelinde kullanılan beş girdi ve bir çıktı parametresine sahip sistemin yetersiz kalması olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, yapım işlerinin proje sürelerine direkt olarak etki edebilecek daha fazla sayıda değişkenin (iklim koşulları, proje değişikliği durumu, ödenek yokluğu veya yetersizliği durumu vb.) süresel sapma modeline dâhil edilmesi ile daha gerçekçi analiz sonuçlarının elde edilebileceği düşünülmektedir. Ancak tez çalışması kapsamında arşiv çalışması yapılmış olan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinin arşiv koşulları ve ihale dosyalarının belli bir nizamata tabi olmaması, temin edilmesi planlanan proje verilerine erişimi olanaksız kılmaktadır.

- Coğrafi bölge fark etmeksizin, yapım işlerinin proje sürelerinin gerçekçi olarak belirlenmesinin, yapım işlerinin proje maliyetlerinin belirlenmesinden daha zor olduğu düşünülmektedir. Çünkü özellikle Türkiye'nin iklim koşulları göz önüne alındığında; hava muhalefeti, ruhsatın geç alınması, fiilen işe geç başlanması, teknik elemanın geç bildirilmesi, iş programının zamanında yapılmaması, proje değişikliği vb. teknik nedenlerin yanısıra, ödenek yokluğu veya yetersizliği vb. öngörülemeyen nedenlerin de etkisiyle, yapım işi projelerin öngörülen süreleri içerisinde tamamlanamamaktadır. Bununla birlikte, bazı projelerde gecikme cezası uygulanmasından dolayı süresel gecikmeler kayıtlara geçirilirken, geciken ancak gecikme cezası uygulanmamış olan projelerde süresel gecikmeler kayıtlara geçirilmemiş olma ihtimali de mevcuttur. Bu gibi durumlar, mevcut tez çalışması kapsamında irdelenen süresel sapmalar için yanıtıcı oranlara neden olmuş olabilir.
- Tez çalışması kapsamında; maliyet modeli, maliyet sapması modeli ve süresel sapma modeli olmak üzere sunulan üç model arasından en başarılı olanının maliyet modeli olduğu açıkça ifade edilebilir. Ancak maliyet modelinin Türkiye geneli için iyi sonuçlar vermesine rağmen, coğrafi bölge bazında düşük performanslar gösterebildiği de gözlemlenmiştir. Bu nedenle, her ne kadar

yukarıdaki maddelerde yapım maliyeti hesabı tek bir formül altında önerilmiş olsa da, Türkiye’de yapım maliyeti tahmini için bölgesel tabanlı bir maliyet tahmin sistemine geçilmesinin daha gerçekçi tahminler elde edilmesini sağlayabileceği düşünülmektedir. Çünkü coğrafi çeşitliliğin fazla olduğu ülkemizde, iklim, yer koşulları vb. etkenlerin yapım maliyetleri üzerinde doğrudan ve yadsınamaz etkileri olduğu açıktır.

Tez çalışmasının ilerleyen aşamalarında; maliyet modelinin, maliyet sapması modelinin ve süresel sapma modelinin girdi parametresi sayılarının ve dolayısıyla kombinezon sayılarının artırılması, bunun yanısıra Türkiye’nin daha fazla şehrinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinden, ihale edilmiş ve tamamlanmış olan kamu yapım işlerine ait bilgilerin elde edilmesi, tez çalışmasından elde edilen sonuçların iyileştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Kullanılan yöntem sayısının artırılmasının da, daha başarılı sonuçların elde edilebilmesi ve sağlıklı yöntem kıyaslaması yapılabilmesi açısından önem taşıdığı ve tez çalışmasını bir adım ileriye taşıyabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ünder, M. B., 2006. İnşaat İşletmelerinde Proje Yönetimi ve Bilgi Teknolojileri Uygulamaları. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 137 s.
2. Bayraktar, M. E., 2010. Proje maliyet ve süresini düşürmede etkili yöntemler: endüstriyel sektörden vaka çalışmaları, s. 1045-1052. 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 29 Eylül-01 Ekim, Ankara.
3. Ashworth, A., 2010. Cost Studies of Buildings, Fifth Edition. Pearson Education, Great Britain 562 pp.
4. Hall, M., Tomkins, C., 2001. A cost of quality analysis of a building project: towards a complete methodology for desing and building. **Construction Management and Economics**, **19** (7): 727-740.
5. Akınbingöl, M., Gültekin, A. T., 2005. Bina üretimi yapım evresinde maliyet planlama ve denetimine yönelik bir maliyet yönetim modeli önerisi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **20** (4): 499-505.
6. Uğur, L. O., 2007. İnşaat firmalarının maliyet ve süre belirleme yöntemleri üzerine bir alan çalışması, s. 241-251. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, 30-31 Ekim, İstanbul.
7. Saraçoğlu, M. E., 2003. Türkiye İnşaat Sektörünün Ekonomik Analizi. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 156 s.
8. Turhan, N., 2003. Kamu İhale Sistemindeki Değişikliğin İnşaat Yatırımlarının Süre ve Maliyetlerine Yansımaları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 268 s.
9. Sorguç, V. D., Kuruoğlu, M., 2002. İnşaat (proje) yönetiminin hizmet ve uygulama standartları. İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayınları, İstanbul.
10. Kömürcü, A. M., 2007. İnşaat Sektöründe Yalın Proje Yönetimi. Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 239 s.
11. Baykan, U. N., 2007. İnşaat Projelerinde Kaynak İhtiyacının Yapay Sınır Ağları Yaklaşımı ile Tahmini. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 134 s.

12. Öcal, M. E., Kadirhan, F., 2009. İnşaat sektöründe genel gider kavramı ve yapı maliyetine yansıtılma düzeyi, s. 299-309. 5. Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi, 22-23 Ekim, Eskişehir.
13. Akbıyıklı, R., 2012. İnşaat Yönetimi, Metraj ve Maliyet Hesapları. Birsen Yayınevi, İkinci Baskı, İstanbul, 611 s.
14. Kolaylıoğlu, Ö., 2006. İnşaat Sektöründe Proje Yönetimi ve Proje Yöneticisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 111 s.
15. Erden, S. A., 2004. İnşaat işletmelerinde, inşaat maliyetlerinin tespitinde faaliyet tabanlı maliyetleme yaklaşımının yeri. **Muhasebe ve Denetime Bakış Dergisi**, **11**: 17-26.
16. Kuruoğlu, M., 2002. Bilgisayar Destekli Planlama. İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İnşaat Yönetimi Eğitim Semineri Serisi, İstanbul.
17. Dabakoğlu, B. V., 2008. Türkiye İnşaat Sektöründe İnşaat Proje Yönetim Tabanlı Arazi Geliştirici Şirket Modeli Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 137 s.
18. Polat, D. A., Çıracı, M., 2005. Türkiye’de tasarım öncesinde maliyet tahmini için veri tabanı modeli. **İTÜ Mühendislik Dergisi**, **4** (2), 59-69.
19. Karancı, H., 2010. A Comparative Study of Regression Analysis, Neural Networks and Case-Based Reasoning for Early Range Cost Estimation of Mass Housing Projects. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, MSc thesis, Ankara, Turkey, 100 p.
20. Akçay, C., Karakaş, A. S., Sayın, B., Manısalı, E., 2011. Ekonomik açıdan en avantajlı teklifin belirlenmesinde 2004/18/EC AB kamu ihale direktifi ile 4734 sayılı kamu ihale kanununun karşılaştırılması, s. 01-08. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım, Bursa.
21. Göktürk, İ., 2007. İnşaat Sektöründe Fizibilite Aşamasında Maliyet Tahmini Yapmakta Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Değerlendirme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 210 s.
22. Karaman, E., Kale, S., 2007. Bulanık Hedef programlama yöntemi ile süre-maliyet-kalite eniyilemesi, s. 109-118. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, 30-31 Ekim, İstanbul.

23. Johnson B. P., Liberatore M. J., 2006. Incorporating quality considerations into project time/cost tradeoff analysis and decision making. **IEEE Transactions on Engineering Management**, **53** (4): 534-542.
24. Finnie, G. R., Wittig, G. E., Desharnais, J. M., 1997. A comparison of software effort estimation techniques: using function points with neural networks, case-based reasoning and regression models. **Journal of Systems Software**, **39** (3): 281-289.
25. Tokalakoğlu, D., Taş, E., 2010. Kamu inşaat sektöründe yaklaşık maliyet hesabı şartnamesi oluşturulmasına yönelik bir çalışma, s. 839-851. 1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 29 Eylül-01 Ekim, Ankara.
26. Polat, D. A., 2005. Türkiye’de tasarım öncesi evrede inşaat maliyeti tahmini için bir yöntem önerisi. **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı**, **77**: 20-24.
27. Tarı, S., 2010. Yapı Kooperatiflerinde İnşaat Yapım Yöntemleri ve Muhasebe Uygulaması. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 169 s.
28. Uğur, L. O., 2007. Yapı Maliyetinin Yapay Sinir Ağı ile Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 175 s.
29. Uğur, L. O., 2009. Yapı Maliyeti Çalışmaları, 1. Baskı. Alter Yayıncılık, Ankara, 567 s.
30. Adiloğlu, B., 2006. İnşaat Taahhüt İşletmelerinde Muhasebe Kayıtları, Birim Maliyetleme ve Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 185 s.
31. Akbıyıklı, R., 2009. Mühendislik Ekonomisi: Temel Prensipleri ve Uygulamaları. Birsan Yayınevi, Birinci Basım, İstanbul, 416 s.
32. Chapman., C., Ward, S., 2003. Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. John Wiley & Sons, Second Edition, 389 pp.
33. Kurt, Ö., 2006. Proje Planlama ve Programlama Teknikleri ve İnşaat Sektörüne Ait Bir Uygulaması. Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 131 s.
34. Erdem, A. E., 1996. Konut Projelerinde Ön Tasarım Aşamasında, Fonksiyonel Elemanlara Dayalı Maliyet Tahmini İçin Bir Model Geliştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 98 s.

35. Çelik, L. Y., 2006. Türkiye’de İnşaat Sektöründe Kullanılan Ön Maliyet Tahmini Yöntemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 247 s.
36. Ekici, S., 2006. Proje Organizasyonlarının Yönetimi ve İnşaat Sektöründe Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 141 s.
37. Bisen, Ö., Dikmen, S. Ü., 2009. Üst yapı inşaat projelerinde öngörülemeyen maliyetlerin belirlenmesine yönelik bir karar destek modeli, s. 253-261. 5. Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi, 22-23 Ekim, Eskişehir.
38. Bisen, Ö., Dikmen, S. Ü., 2011. Üst yapı projelerde, maliyet tahmin çalışmalarında, belirsizliklerin yapay zeka teknikleriyle analizi, s. 01-09. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım, Bursa.
39. Özdemir, İ., 1997. Bina inşaatında yapı teslim süresinin en az maliyetli hesabı, s. 325-341. Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, 23-25 Ekim, İzmir.
40. Okka, O., 2006. Mühendislik Ekonomisi-Çözümlü Problemler. Nobel Yayın Dağıtım, Dördüncü Baskı, Ankara, 1108 s.
41. Kieso, D. E, Weygandt, J. J., Warfield, T. D., Hunt, M. F., 2001. Intermediate Accounting, 10th Edition, John Wiley & Sons, USA, 480 pp.
42. Arafa, M., Alqedra, M., 2011. Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural Networks. **Journal of Artificial Intelligence**, 4 (1): 63-75.
43. Seyyar, B., 2000. Bina Tasarım Sürecinde Bilgisayar Destekli Maliyet Tahmin Modelleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 117 s.
44. Madni, I. K., 1999. The empirical method of budget pricing for prisons. **Cost Engineering**, 41 (4): 39-43.
45. Ostwald, P. F., 2001. Construction Cost Analysis and Estimating. Prentice Hall, USA, 462 pp.
46. Kuruoğlu, M., 2003. İnşaatçılar İçin Yeni İhale Düzeninde Pratik Teklif Fiyatı Belirleme Yöntemi, İstanbul Ticaret Odası Yayınları No: 2003-50, İstanbul, 77 s.
47. Bostancıoğlu, E., 1999. Konut Binalarının Ön Tasarım Evresinde Maliyeti Etkileyen Faktörler ve Faktörlere Dayalı Maliyet Tahmin Yöntemi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 382 s.

48. Topçu, G., 1989. Yapı Üretim Sürecinde Maliyete İlişkin İşlemler: Tahmin, Planlama, Kontrol. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
49. Polat, D. A., 2004. Türkiye'de Tasarım Öncesi Evrede Bina Maliyeti Tahmini İçin Veri Tabanı Oluşturulmasına Yönelik Bir Model. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 119 s.
50. Uğur, L. O., Baykan, U. N., Korkmaz, S., 2011. Yığma konutların maliyet tahmininde yapay sinir ağlarının (YSA) kullanılması, s. 01-11. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım, Bursa.
51. Halaç, O., 1982. Kantitatif Karar Verme Teknikleri. Arpas Matbaacılık, İstanbul, 67 s.
52. Kuruoğlu, M., Sevim, D., 2011. Süresel planlamadaki verimliliklerin mevsime göre değişiminin regresyon analizi, s. 01-08. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım, Bursa.
53. Bigat, E., 1980. Yapı İşletmesi. Bozak Matbaası, Cilt II, İstanbul, 219 s.
54. Çetmeli, E., 1972. Yatırımların Planlanmasında Kritik Yörünge (CPM) ve PERT Metotları. Çağlayan Basımevi, İstanbul, 163 s.
55. Helvaci, A., 2008. Comparison of Parametric Models for Conceptual Duration Estimation of Building Projects. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, MSc thesis, Ankara, Turkey, 100 p.
56. Odabasi, E., 2009. Models for Estimating Construction Duration: An Application for Selected Buildings on the METU Campus. Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, MSc thesis, Ankara, Turkey, 112 p.
57. Saraç, S., 1995. A Time Information System for the Construction Industry. İstanbul Technical University, MSc thesis, İstanbul, Turkey, 45 p.
58. Karşlı, E. D., 1998. İnşaat Süresini Etkileyen Faktörler ve İnşaat Süresi Tahmin Modelleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 114 s.
59. Kumaraswamy, M. M., Chan, D. W. M., 1995. Determinants of construction duration. **Construction Management and Economics**, **13**: 209-217.

60. Kuruoğlu, M., Sevim M., Şaşmaz H., Ezcan V., Işıkdağ Ü., 2009. İnşaat projelerinde süresel planlamayı etkileyen faktörler ve etki derecelerinin Türkiye koşullarında belirlenmesi, s. 13-22. 5. Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi, 22-23 Ekim, Eskişehir.
61. Gören, S. G., 1998. Kamu İnşaat Projelerinin Gerçekleştirilmesinde Süre Uzama Nedenlerinin Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 150 s.
62. Bromilow, F. J., 1974. Measurement and scheduling of construction time and cost performance in the building industry. **The Chartered Builder**, **10** (9): 79-82.
63. Yapım işlerine ait tip sözleşme (anahtar teslimi götürü bedel işler için, Ek: 6). (Web Sayfası: [http://www.alomaliye.com/yapim_Ek6\(goturu_tip_sozlesme\).doc](http://www.alomaliye.com/yapim_Ek6(goturu_tip_sozlesme).doc)), (Erişim tarihi: Mayıs 2012).
64. T.C. Bayındırlık Bakanlığı, 07.07.1982 tarih ve 3/99-2/101156-B sayılı "fen noktasında çalışılmayacak günler hakkında genelge". (Web Sayfası: <http://ihalemagazin.com/haberdetay.asp?ID=771>), (Erişim tarihi: Şubat 2011).
65. Karshenas, S., 1984. Predesign cost estimating method for multistory buildings. **Journal of Construction Engineering and Management**, **110** (1): 79-86.
66. Nkado, R. N., 1992. Construction time information system for the building industry. **Construction Managements and Economics**, **10** (6): 489-509.
67. Adeli H., Wu, M., 1998. Regularization neural network for construction cost estimation. **Journal of Construction Engineering and Management**, **124** (1): 18-24.
68. Bhokha, S., Ogunlana, S. O., 1999. Application of artificial neural network to forecast construction duration of buildings at the predesign stage. **Engineering, Construction and Architectural Management**, **6** (2): 133-144.
69. Siqueira, I., 1999. Neural Network-Based Cost Estimating. Concordia University, Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Degree of Masters of Applied Science, Canada, 87 p.
70. Emsley, W. E., Lowe, D. J., Duff, A. R., Harding, A., Hickson, A., 2002. Data modelling and the application of a neural network approach to the prediction of total construction costs. **Construction Management and Economics**, **20** (6): 465-472.

71. Chan, A. P. C., Chan, D. W. M., 2004. Developing a benchmark model for project construction time performance in Hong Kong. **Building and Environment**, **39** (3): 339-349.
72. Gunaydin, H. M., Dogan, S. Z., 2004. A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. **International Journal of Project Management**, **22** (7): 595–602.
73. Kim, G. H., An, S. H., Kang, K. I., 2004. Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks and case-based reasoning. **Building and Environment**, **39** (10): 1235-1242.
74. Sonmez, R., 2004. Conceptual cost estimation of building projects with regression analysis and neural networks. **Canadian Journal of Civil Engineering**, **31** (4): 677–683.
75. Kim, G. H., Seo, D. S., Kang, K. I., 2005. Hybrid models of neural networks and genetic algorithms for predicting preliminary cost estimates. **Journal of Computing in Civil Engineering**, **19** (2): 208-211.
76. Lowe, D. J., Emsley, M. W., Harding, A., 2006. Predicting construction cost using multiple regression techniques. **Journal of Construction Engineering and Management**, **132** (7): 750-758.
77. Ahmad Bari, N. A., Abdul Kadir, M. R., Ismail, N., Yusuf, R. M., 2008. Exploring the types of construction cost modelling for industrialised building system (IBS) projects in Malaysia, pp. 67-79. The 1st International Conference on Industrialised, Integrated, Intelligent Construction (I3CON), May 14-16, Loughborough, UK.
78. Kusan, H., Aytakin, O., Ozdemir, I., 2009. Comparison of fuzzy logic, artificial neural network and multiple regression analysis methods in the determination of selling prices of residences, pp. 1275-1282. Fifth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-V), May 20-22, İstanbul, Turkey.
79. Kuruoğlu, M., Çelik, L. Y., Topkaya, E., Yöñez, E., 2011. İnşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması, s. 01-10. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım, Bursa.
80. Baalousha, Y., Celik, T., 2011. An integrated web-based data warehouse and artificial neural networks system for unit price analysis with inflation adjustment. **Journal of Civil Engineering and Management**, **17** (2): 157-167.

81. Bayram S., Ocal M. E., Laptali Oral, E., 2012. Analysis of cost and schedule variances in construction works with artificial intelligence approaches: the case of Turkey, pp. 01-11. International Students' Conference of Civil Engineering (ISCCE 2012), May 10-11, Tirana, Albania.
82. Civelekoğlu, G., 2006. Arıtma Proseslerinin Yapay Zeka ve Çoklu İstatistiksel Yöntemler ile Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 173 s.
83. Jain, A. K., Mao, J. C., Mohiuddin, K. M., 1996. Artificial neural networks: a tutorial. **Computer**, **29** (3): 31-44.
84. Kayadelen, C., Taskiran, T., Gunaydin, O., Fener, M., 2009. Adaptive neuro-fuzzy modeling for the swelling potential of compacted soils. **Environmental Earth Sciences**, **59** (1): 109-115.
85. Berthouex, P. M., Brown, L. C., 2002. Statistics for Environmental Engineers. Lewis Publishers, 2nd Edition, Boca Raton, FL, USA, 335 pp.
86. Laptalı Oral, E., 2010. IM-578 Veri Toplanması ve Analizi Lisansüstü Dersi Notları (2009-2010 Bahar Yarıyılı). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
87. Eren, B., Eyüpoğlu, V., 2011. Yapay sinir ağları ile Ni(II) iyonu geri kazanım veriminin modellenmesi, pp. 186-190. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), May 16-18, Elazığ, Turkey.
88. Singh, K. P., Basant, A., Malik, A., Jain, G., 2009. Artificial neural network modeling of the river water quality-a case study. **Ecological Modelling**, **220** (6): 888-895.
89. Kaveh, N. S., Ashrafizadeh, S. N., Mohammadi, F., 2008. Development of an artificial neural network model for prediction of cell voltage and current efficiency in a chlor-alkali membrane cell. **Chemical Engineering Research and Design**, **86** (5): 461-472.
90. Oral, M., Laptalı Oral, E., Aydın, A., 2012. Supervised vs. unsupervised learning for construction crew productivity prediction. **Automation in Construction**, **22**: 271-276.
91. Kumanlıoğlu, A. A., Fıstıkoğlu, O., 2011. Kavramsal bir hidrolojik modele yapay zeka entegrasyonu ve model performanslarının Gediz nehri havzasında irdelenmesi. **Devlet Su İşleri (DSİ) Teknik Bülteni**, **111**: 25-43.

92. MATLAB, Version 7.9.0, The MathWorks Inc., Massachusetts, USA. (Web page: <http://www.mathworks.com>), (Date accessed: June 2011).
93. Minitab, Version 15, Software for Quality Improvement, United Kingdom. (Web page: <http://www.minitab.com/en-TR/default.aspx>), (Date accessed: July 2012).
94. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/turkce/index.php>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
95. Türkiye istatistik kurumu (TÜİK), adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) sonuçları.
(Web sayfası: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>), (Erişim tarihi: Mart 2012).
96. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye İstatistik Yıllığı 2009.
(Web sayfası: http://www.turkstat.gov.tr/yillik/stat_yearbook.pdf), (Erişim tarihi: Mart 2012).
97. T.C. Bakanlar Kurulu, 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu, Resmi Gazete Tarihi/Sayısı:22.01.2002/24648.
(Web sayfası: http://www.ihale.gov.tr/mevzuat/kanun/4734_271075_rg.doc), (Erişim tarihi: Ocak 2011).
98. T.C. İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/izmir/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
99. T.C. Bursa Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/bursa/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
100. T.C. Ankara Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/ankara/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
101. T.C. Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/gaziantep/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
102. T.C. Malatya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/malatya/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
103. T.C. Adana Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/adana/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).

104. T.C. Trabzon Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/trabzon/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
105. T.C. Samsun Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
(Web sayfası: <http://www.csb.gov.tr/iller/samsun/>), (Erişim tarihi: Aralık 2012).
106. Uğur, L. O., 2006. İnşaat Sektöründe Riskler ve Risk Yönetimi-Seminer Notları. Türkiye Müteahhitler Birliği, Ankara, 153 s.
107. Akbilgiç, O., 2011. Hibrit Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları ile Değişken Seçimi ve Tahminleme: Menkul Kıymet Yatırım Kararlarına İlişkin Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 165 s.
108. Yurtoğlu, H., 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler için Türkiye Örneği. T. C. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), Ekonomik Modeller ve Stratejik Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, Ankara, 104 p.
109. Altuntaş, E., Çelik, T., 1998. Yapay Zekâ'nın Tarihçesi. Otak Yayıncılık, İstanbul.
110. Sağıroğlu, S., Beşdok, E., Eriş, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I. Ufuk Yayıncılık, Kayseri, 423 s.
111. Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 238 s.
112. Haykin, S., 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice Hall Publishing, 2nd Edition, USA, 842 pp.
113. McCulloch, W. S., Pitts, W. H., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, **5**: 115-133.
114. Bayram, S., 2009. Öngerilmeli Betondan Boşluklu Verev Plak Köprülerin Yapay Sinir Ağları ile Analizi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 192 s.
115. Hebb, D., 1949. The Organization of Behavior. Wiley & Sons, New York, USA, 335 pp.
116. Newell, A., Simon, H. A., 1956. The Logic Theory Machine: A Complex Information Processing System. The Rand Corporation, California, USA, 868 pp.
117. Rosenblatt, F., 1958. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological Review**, **65**: 386-408.
118. Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. **Information and Control**, **8**: 338-353.

119. Afşar, S., 2008. Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Tava Buharlaştırma Tahmini Yapılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 81 s.
120. Elbistanlı, G., 2007. HVAC Sisteminin MLP Tipi Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanarak Denetlenmesi. Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 76 s.
121. Mamdani, E. H., Assilian, S., 1975. An experiment in linguistic synthesis of fuzzy controllers. **International Journal of Man-Machine Studies**, **7** (1): 1-13.
122. Hopfield, J. J., 1982. Neural network model which combines unsupervised and supervised learning. **IEEE Transactions on Neural Networks**, **4**: 357-360.
123. Kohonen, T., 1982. The self-organized formation of topography correct feature maps. **Biological Cybernetics**, **43**: 59-69.
124. Sugeno, M., 1985. Industrial Applications of Fuzzy Control. Elsevier Science Inc., New York, USA, 269 s.
125. Sugeno, M., Kang, G. T., 1988. Structure identification of fuzzy model. **Fuzzy Sets and Systems**, **28** (1): 15-33.
126. Takagi, T., Sugeno, M., 1985. Fuzzy identification systems and its application to modeling and control. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, **15**: 116-132.
127. Şen, Z., 2004. Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri. Su Vakfı Yayınları, İkinci Baskı, İstanbul, 189 s.
128. Vural, B. B., 2007. Yapay Sinir Ağları ile Finansal Tahmin. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 161 s.
129. Broomhead, D. S., Lowe, D., 1988. Radial Basis-Functions, Multi-Variable Functional Interpolation and Adaptive Networks. Royal Signals and Radar Establishment (RSRE), Technical Report Memorandum 4148, London, England, 34pp.
130. Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları: Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 192 s.
131. Adeli, H., Karim, A., 2001. Construction Scheduling, Cost Optimization, and Management: A New Model Based on Neurocomputing and Object Technologies. Taylor & Francis, New York, England, 320 pp.

132. Pala, M., Ozbay, E., Oztas, A., Yuce, M. I., 2007. Appraisal of long-term effects of fly ash and silica fume on compressive strength of concrete by neural networks. **Journal of Construction and Building Materials**, **21** (2): 384-394.
133. Doğan, E., Işık S., Sandalcı, M., 2007. Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi. **İMO Teknik Dergi**, **18** (2): 4119-4131.
134. Ocakoğlu, G., 2006. Lojistik Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağları Tekniklerinin Sınıflama Özelliklerinin Karşılaştırılması ve Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 54 s.
135. Kişi, Ö., 2005. Kızılırmak Nehri seviye-akış ilişkilerinin çok katmanlı yapay sinir ağları ile belirlenmesi, s. 01-11. II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 21-24 Eylül, İzmir.
136. Çıtakoğlu, H., Çobaner, M., Haktanır, T., Şorman, A. Ü., Uğurlu, A., 2011. Türkiye aylık ortalama tava buharlaşma miktarlarının meteorolojik verilerle ilişkilendirilmesi, s. 01-12. 5. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 12-16 Eylül, İstanbul.
137. Karakaya, K., 2012. Yapay Zekâ Modelleriyle Tam Ölçekli Çamur Çürütme Reaktörlerinden Elde Edilen Biyogaz Üretiminin Tahmini: Yapay Sinir Ağları ve Fuzzy Logic Uygulamaları. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 225 s.
138. Seçkin, N., Güven, A., Yurtal, R., 2010. Taşkın debilerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi: Örneksel bölge çalışması-batı karadeniz havzası. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **25** (1-2): 45-58.
139. Marquardt, D. W., 1963. An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM)**, **11** (2): 431-441.
140. Şen, Z., 2004. Yapay Sinir Ağları İlkeleri. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 183 s.
141. Orhan, M., Işık, N. S., Özer, M., Toprak, B., 2009. Killi zeminlerin sıkışma indisinin istatistiksel yöntemlerle ve yapay sinir ağlarıyla tahmin edilmesi, s. 01-06. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs, Karabük.

142. Arslan, O., Kurt, O., Konak, H., 2007. Yapay sinir ağlarının jeodezide uygulamaları üzerine öneriler, s. 01-10. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 02-06 Nisan, Ankara.
143. Aydın, Ö., 2005. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Bir Ses Tanıma Sistemi Geliştirilmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 82 s.
144. Kosko, B., 1990. Unsupervised learning in noise. **IEEE Transactions on Neural Networks**, **1** (1): 44-57.
145. Çavuşlu, M.A., 2006. FPGA ile Yapay Sinir Ağı Eğitiminin Donanımsal Gerçeklenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Lisans Tezi, Kocaeli, 58 p.
146. Okkan, U., Mollamahmutoğlu, A., 2010. Yiğitler çayı günlük akımlarının yapay sinir ağları ve regresyon analizi ile modellenmesi. **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **23**: 33-48.
147. Kaynar, O., Taştan, S., Demirkoparan, F., 2010. Ham petrol fiyatlarının yapay sinir ağları ile tahmini. **Ege Akademik Bakış**, **10** (2): 559-573.
148. White, H., 1990. Connectionist non-parametric regression: multilayer feedforward networks can learn arbitrary mappings. **Neural Networks**, **3** (5): 535-549.
149. Almeida, L. B., 1997. Multilayer Perceptrons, Handbook of Neural Computation. IOP Publishing Ltd. & Oxford University Press, UK.
150. Werbos, P. J., 1994. The Roots of Back Propagation: From Ordered Derivatives to Neural Networks and Political Forecasting. John Wiley & Sons, Inc, Chichester, 320 pp.
151. Fine, T. L., 1999. Feedforward Neural Network Methodology. Springer, USA, 340 pp.
152. Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J., 1986. Learning Internal Representation By Error Propagation, in: Rumelhart, D. E., and McClelland, J. L. (Eds.). Parallel Distributed Processing, MIT Press, Cambridge, 1208 pp.
153. Bishop, C. M., 1995. Neural Networks for Pattern Recognition. Clarendon Press, Oxford, UK, 482 pp.

154. Okkan, U., Dalkılıç, H. Y., 2012. Radyal tabanlı yapay sinir ağları ile Kemer barajı aylık akımlarının modellenmesi. **İMO Teknik Dergi**, **23** (2): 5957-5966.
155. Alp, M., Cığızoğlu, H. K., 2004. Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi, **İTÜ Mühendislik Dergisi**, **3** (1): 80-88.
156. Fernando, D. A. K., Jayawardena, A. W., 1998. Use of radial basis function type artificial neural networks for runoff simulation. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, **13** (2): 91-99.
157. Moradkhani, H., Hsu, K., Gupta, H. V., Sorooshain, S., 2004. Improved streamflow forecasting using self-organizing radial basis function artificial neural Networks. **Journal of Hydrology**, **295** (1-4): 246-262.
158. Hacıoglu, A., 2005. A novel usage of neural network in optimization and implementation to the internal flow systems. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**, **77** (5): 369-376.
159. Powell, M. J. D., 1987. Radial Basis Functions for Multivariable Interpolation: A Review (in Algorithms for Approximation). Clarendon Press, New York, 143-167 pp.
160. Broomhead, D. S., Lowe, D., 1988. Multivariable functional interpolation and adaptive networks. **Complex Systems**, **2** (3): 321-355.
161. Moody, J., Darken, C. J., 1989. Fast learning in networks of locally-tunes processing units. **Neural Computation**, **1** (2): 281-294.
162. Park, J., Sandberg, I. W., 1991. Universal approximations using radial-basis-function network. **Neural Computation** **3** (2): 246-257.
163. Bianchini, M., Frasconi, P., Gori, M., 1995. Learning without local minima in radial basis function networks. **IEEE Transactions on Neural Networks**, **6** (3): 749-755.
164. Chen, S., Cowan, C. F. N., Grant, P. M., 1991. Orthogonal least squares learning algorithm for radial basis function networks. **IEEE Transactions on Neural Networks**, **2** (2): 302-309.
165. Bolat, S., Kalenderli, Ö., Önal, E., 2004. Yapay sinir ağı ile gaz karışımında elektrot açıklığına ve karışım yüzdelerine bağlı olarak delinme gerilimlerinin belirlenmesi, s. 01-04. Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU-INISTA), 23-25 Haziran, İstanbul.

166. Ham, F. M, Kostanic, I., 2001. Principles of Neurocomputing for Science and Engineering. McGraw-Hill, USA, 642 pp.
167. Hacıoğlu, A., 2006. Hızlı evrimsel eniyileme için yapay sinir ağı kullanılması. **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, **2** (3), 01-08.
168. Ozger, M., Sen, Z., 2007. Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach. **Ocean Engineering**, **34** (3-4): 460-469.
169. Güneş, M., 1997. Klasik mantığa alternatif: bulanık mantık (fuzzy logic) ve işletme problemlerine uygulaması, III. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 29-30 Mayıs, Bursa.
170. Kaptanoğlu, D., Özok, A. F., 2006. Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model. **İTÜ Mühendislik Dergisi**, **5** (1): 193-204.
171. Güranlı, G. E., Müngen, U., 2006. Bulanık kümeler ile inşaatlarda yeni bir iş güvenliği risk analizi yöntemi. **İTÜ Mühendislik Dergisi**, **5** (4): 83-94.
172. Ayan, T., Akyılmaz, O., 2006. Yeryuvarı gravite alanının grace uydu verilerinden bulanık çıkarım sistemleri ile modellenmesi. T. C. Milli Savunma Bakanlığı, Harita Genel Komutanlığı, **Harita Dergisi**, **135**: 10-25.
173. Özdemir, İ., AYTEKİN, O., Kuşan, H., 2007. Şerefiye bedelinin bulanık mantık yaklaşımı ile hesaplanması, s. 181-190. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, 30-31 Ekim, İstanbul.
174. Elmas, Ç., 2003. Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 230 s.
175. "Fuzzification Methods" Lecture Notes. (Web page: http://140.133.35.1/faculty/pwu/expert/fuzzy_7.doc), (Date accessed: November 2012).
176. Tsukamoto, Y., 1979. An approach to fuzzy reasoning method. In: Gupta, M. M., Ragade, R. K., Yager, R. R. (Eds.). **Advances in Fuzzy Set Theory and Applications**: 137-149.
177. Jang, J. S. R., 1993. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, **23** (3): 665-685.
178. Perendeci A., 2004. Şeker Fabrikası Anaerobik Atıksu Arıtma Tesisinin Yatışkın Olmayan Durumda Modellenmesi Çalışmaları. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 123 s.

179. Narendra, K., Parthasarathy, K., 1990. Identification and control of dynamical systems using neural networks. **IEEE Transactions on Neural Networks**, **1** (1): 4-27.
180. Passino, K. M., Yurkovich, S., 1997. Fuzzy Control. Addison-Wesley Longman, California, USA, 502 pp.
181. Tsoukalas, L. H., Uhrig, R. E., 1996. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. John Wiley & Sons, New York, USA, 600 pp.
182. Ersavaş, C., Karatepe, E., 2011. LTC transformatör tap ayarının yenilenebilir enerji kaynakları ve yük belirsizlikleri altında ANFIS ve yapay sinir ağları ile belirlenmesi, s. 01-07. II. Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi, 24-27 Kasım, İzmir.
183. Özçalık, H. R., Uygur, A. F., 2003. Dinamik sistemlerin uyumlu sinirsel-bulanık ağ yapısına dayalı etkin modellenmesi. **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) Fen ve Mühendislik Dergisi**, **6** (1): 36-46.
184. Jang J. S. R., Sun C. T., 1995. Neuro-fuzzy modeling and control. **Proceedings of the IEEE**, **83** (3): 378-406.
185. Gülcan, B., 2012. Bulanık Doğrusal Programlama ve Bir Bisküvi İşletmesinde Optimum Ürün Formülü Oluşturma. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Karaman, 150 s.
186. Şen, Z., 2004. Mühendislikte Bulanık Mantık ile Modelleme Prensipleri. SuVakfı Yayınları, İstanbul, 190 s.
187. Yen, J., Langari, R., 1999. Fuzzy Logic, Intelligence, Control and Information. Prentice Hall, USA, 548 pp.
188. Alçı, E., Karatepe, E., 2002. Bulanık Mantık ve MATLAB Uygulamaları, Birinci Baskı, Yüksek Lisans yardımcı ders notu, 118 s.
189. Kızılluluk, S., Alataş, B., 2012. Sosyal tabanlı güncel sezgisel optimizasyon algoritmaları. **Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, **13** (2): 39-56.
190. Alataş, B., 2007. Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmaları Geliştirme. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 157 s.
191. Yavaş, A., Civalek, Ö., 2005. Yapı hasarlarının belirlenmesinde uzman sistemlerin kullanımı. **Türkiye Mühendislik Haberleri**, **439-440** (5-6): 46-55.
192. Winstanley, G., 1991. Artificial Intelligence in Engineering. John Wiley, New York, USA, 456 pp.

193. Uysal, Ö., Kurban, M., 2003. Enerji yönetim sistemlerinin uzman sistemler kullanılarak işletilmesi, s. 01-12. I. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 22-24 Mayıs, Denizli.
194. Varol, A., Varol, N., 1996. Uzman sistemlerde ESTA yazılımının önemi, s. 289-294. Bilişim'96, 18-22 Eylül, İstanbul.
195. Yavuz, S., 2009. Hataları ardışık bağımlı (otokorelasyonlu) olan regresyon modellerinin tahmin edilmesi. **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, **23** (3): 123-140.
196. Tekin, V. N., 2006. SPSS Uygulamalı İstatistik Teknikleri. Seçkin Yayıncılık, Birinci Baskı, Ankara, 274 s.
197. Akdeniz, F., 2010. Olasılık ve İstatistik. Nobel Kitabevi, Genişletilmiş 15. Baskı, Adana, 590 s.
198. Yüzer, A. F., Ağaoğlu, E., Tatlıdil, H., Özmen, A., Şıklar, E., 2009. İstatistik. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 1448, 3. Baskı, Eskişehir, 331 s.
199. Akdağ, M., 2011. SPSS'de İstatistiksel Analizler. İnönü Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Yöntemleri Ders Modülü, Malatya, 45 s.
200. Pamukçu, E., 2010. Sistolik Kan Basıncını Etkileyebilecek Faktörlerin Ridge Regresyon Analizi ile İncelenmesi ve Çoklu Bağlantı Problemi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 84 s.
201. Dekartezyen Profesyonel İstatistik Hizmetleri.
(Web sayfası: <http://www.dekartezyen.com/onewayanova.html>), (Erişim tarihi: Ekim 2012).
202. Girginer, N., 1996. Ridge Regresyon Yöntemiyle Türk Tekstil ve Konfeksiyon Sanayii Dışsattımının Analizi. Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 115 s.
203. İmir, E., 1986. Çoklu Bağlantılı Doğrusal Modellerde Ridge Regresyon Yöntemiyle Parametre Kestirimi: Türkiye'de (1963-1983) Enflasyon Analizi. Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 212, 76 s.
204. Söküt, T., 2011. Değişen Varyanslı ve Otokorelasyonlu Hataya Sahip Lineer Regresyon Modellerinde Hata Yapılarının ve Yanlı Tahmin Edicilerin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 130 s.

205. Başyigit, C., Kaçar Akkaş, A., Kurtarıcı, N., 2012. Betonların radyasyon zırh kalınlıklarının yapay sinir ağları ve çoklu regresyon metotları ile tahmini. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **16** (1): 77-81.
206. Takma, Ç., Atıl, H., Aksakal, V., 2012. Çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağı modellerinin laktasyon süt verimlerine uyum yeteneklerinin karşılaştırılması. **Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi**, **18** (6): 941-944.
207. Soong, T. T., 2004. Fundamentals of Probability and Statistics For Engineers. John Wiley & Sons, Chichester, England, 204 pp.
208. Özbey, F., 2012. Çoklu İç İlişki Olması Durumunda Lineer Regresyon Modellerinin Kullanımı ile Kestirim ve Öngörü. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 73 s.
209. Bayar, B., 2003. Regresyon Analizi. Osmangazi Üniversitesi Fen Fakültesi, İstatistiksel Çözümleme Teknikleri I Dersi Notları, Eskişehir, 38 s.
210. Shepperd, M., Schofield, C., 1997. Estimating software project effort using analogies. **IEEE Transactions on Software Engineering**, **23** (12): 736-743.
211. Kalaycı, Ş., 2005. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayın Dağıtım, Birinci Basım, Ankara, 426 s.
212. Chapra, S. C., Canale, R. P., 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. (Çevirenler: Heperkan, H., Kesgin, U.), Literatür Yayıncılık, İstanbul, 994 s.
213. Ünver, Ö., Gamgam, H., 1999. Uygulamalı İstatistik Yöntemler. Siyasal Kitabevi, Ankara, 413 s.
214. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2013 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ". (Web sayfası: http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/1472c23e8fe3568_ek.pdf?tipi=83&tuuru=X&sube=0), (Erişim tarihi: Eylül 2012).
215. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, "Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2010 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ". (Web sayfası: http://www.alomaliye.com/2010/mimarlik_ve_muhendislik_hizmet.htm), (Erişim tarihi: Eylül 2012).

216. Adalier, O., 2007. Yapay Zeka Yöntemleri ile Yazılım Projelerinde Maliyet Kestirimi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 96 s.
217. Uncuoğlu, E., 2003. Kaba Daneli Zeminlerde Sükûnetteki Toprak Basıncı Katsayısının Yapay Sinir Ağları ile Bulunması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 173 s.
218. Twomey, J. M., Smith, A. E., 1997. Validation and verification. In: Kartam, N., Flood, I., and Garrett, J. H. (Eds.) 1996 from ASCE Press. **Artificial Neural Networks for Civil Engineers: Fundamentals and Applications**: 44-64.
219. Hertz, J. A., Krogh, A., Palmer, R. G., 1991. An Introduction to the Theory of Neural Networks. Addison-Wesley, Redwood City, USA.
220. Ergülen, A., Topuz, D., 2008. İşletmelerdeki verimliliğin tahmin edilebilmesi ve bu verimliliği etkileyen faktörlerin MLP tipi yapay sinir ağları tekniği ile belirlenmesi. **Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, **5** (10): 219-231.
221. Hornik, K., Stinchcombe, M., White, H., 1989. Multilayer feedforward networks are universal approximators. **Neural Networks**, **2**: 359-366.
222. Shahin, M. A., Maier, H. R., Jaksa, M. B., 2002. Predicting settlement of shallow foundations using neural networks. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, **128** (9): 785-793.
223. Cetin, G., 2010. Artificial Neural Networks by Using the Internet Traffics on the Internet Exit Routers (MTRG) Estimated Traffic Analysis and Planning for the Future, Cukurova University, MSc Thesis, Adana, Turkey, 82 p.
224. Bayazıt, M., Yeğen Oğuz, B., 1998. Mühendisler İçin İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul, 211 s.

EKLER

EK-1: Arşiv Çalışması Kapsamında Oluşturulan Maliyet Sapması Tablosu

EK-2: Arşiv Çalışması Kapsamında Oluşturulan Süresel Sapma Tablosu

EK-3: t Dağılım Çizelgesi

EK-4: F Dağılım Çizelgesi

EK-5: Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesi İçin Yapılan Varyans Analizi (ANOVA)
Sonuçları

Tablo EK-3.1. t dağılım çizelgesi.

Serbestlik Derecesi (df)	Tek Kuyruk Sınaması için Önem Düzeyi					
	,10	,05	,025	,01	,005	,0005
	Çift Kuyruk Sınaması için Önem Düzeyi					
	,20	,10	,05	,02	,01	,001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,445	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	1,310	1,697	2,042	2,467	2,750	3,646
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,737
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Kaynak: Mason and Lind

Tablo EK-4.1. F dağılım çizelgesi.

 $(\alpha=0,05)$

<i>Df1 Df2</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.12	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.39	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.19	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.53	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.12	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	3.84	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.63	3.63	3.48	3.33	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.48	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.59
11	4.84	3.98	3.36	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.26	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.18	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.11	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.06	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.01	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	2.96	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	2.93	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.49	2.90	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.47	2.87	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.44	2.84	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.42	2.82	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.40	2.80	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.39	2.78	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.32	2.76	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
30	4.17	3.23	2.69	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.15	2.61	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.07	2.53	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.81	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.17
120	3.92	3.00	2.45	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.46	1.50	1.43	1.35

Df1: Payın serbestlik derecesi / *Df2*: Paydanın serbestlik derecesi

Tablo EK-5.1. Ege bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
EGE BÖLGESİ (İZMİR)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	5104,57	4,00
		2	0,000	0,050	3378,06	3,07
		3	0,000	0,050	2485,65	2,53
		4	0,000	0,050	1991,39	2,53
		5	0,000	0,050	15568,61	2,37
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,729	0,050	0,12	4,00
		2	0,006	0,050	5,65	3,07
		3	0,009	0,050	4,31	2,53
		4	0,000	0,050	6,32	2,53
		5	0,000	0,050	7,15	2,37
	Süresel Sapma Modeli	1	0,000	0,050	27,71	3,92
		2	0,000	0,050	15,12	3,00
		3	0,000	0,050	10,50	2,45
		4	0,000	0,050	7,95	2,45
		5	0,000	0,050	6,32	2,29

Tablo EK-5.2. Marmara bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
MARMARA BÖLGESİ (BURSA)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	963,60	4,49
		2	0,000	0,050	480,24	3,63
		3	0,000	0,050	298,27	3,01
		4	0,000	0,050	248,78	3,01
		5	0,000	0,050	4706,38	2,85
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,001	0,050	17,30	4,49
		2	0,004	0,050	8,48	3,63
		3	0,010	0,050	6,04	3,01
		4	0,003	0,050	7,59	3,01
		5	0,003	0,050	7,97	2,85
	Süresel Sapma Modeli	1	0,010	0,050	7,31	4,08
		2	0,009	0,050	5,31	3,15
		3	0,002	0,050	5,83	2,61
		4	0,005	0,050	4,43	2,61
		5	0,012	0,050	3,46	2,45

Tablo EK-5.3. İç Anadolu bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
İÇ ANADOLU BÖLGESİ (ANKARA)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	720,88	4,08
		2	0,000	0,050	381,79	3,15
		3	0,000	0,050	248,83	2,61
		4	0,000	0,050	186,00	2,61
		5	0,000	0,050	599,66	2,45
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,482	0,050	0,50	4,08
		2	0,484	0,050	0,74	3,15
		3	0,693	0,050	0,49	2,61
		4	0,822	0,050	0,38	2,61
		5	0,777	0,050	0,50	2,45
	Süresel Sapma Modeli	1	0,200	0,050	1,69	4,08
		2	0,089	0,050	2,57	3,15
		3	0,051	0,050	2,82	2,61
		4	0,057	0,050	2,51	2,61
		5	0,082	0,050	2,13	2,45

Tablo EK-5.4. Güneydoğu Anadolu bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ (GAZİANTEP)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	678,61	3,92
		2	0,000	0,050	336,92	3,00
		3	0,000	0,050	226,16	2,45
		4	0,000	0,050	168,22	2,45
		5	0,000	0,050	1423,52	2,29
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,082	0,050	3,09	3,92
		2	0,050	0,050	3,08	3,00
		3	0,076	0,050	2,36	2,45
		4	0,061	0,050	2,33	2,45
		5	0,049	0,050	2,31	2,29
	Süresel Sapma Modeli	1	0,000	0,050	13,89	3,92
		2	0,000	0,050	10,00	3,00
		3	0,000	0,050	7,32	2,45
		4	0,000	0,050	5,48	2,45
		5	0,001	0,050	4,53	2,29

Tablo EK-5.5. Doğu Anadolu bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
DOĞU ANADOLU BÖLGESİ (MALATYA)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	210,84	4,54
		2	0,000	0,050	106,41	3,68
		3	0,000	0,050	223,74	3,06
		4	0,000	0,050	167,61	3,06
		5	0,000	0,050	974,18	2,90
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,002	0,050	15,92	4,54
		2	0,005	0,050	8,75	3,68
		3	0,001	0,050	13,46	3,06
		4	0,002	0,050	9,31	3,06
		5	0,005	0,050	7,30	2,90
	Süresel Sapma Modeli	1	0,010	0,050	7,27	4,00
		2	0,032	0,050	3,69	3,07
		3	0,021	0,050	3,55	2,53
		4	0,006	0,050	4,18	2,53
		5	0,013	0,050	3,28	2,37

Tablo EK-5.6. Akdeniz bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
AKDENİZ BÖLGESİ (ADANA)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	771,34	4,17
		2	0,000	0,050	401,46	3,23
		3	0,000	0,050	258,78	2,69
		4	0,000	0,050	196,95	2,69
		5	0,000	0,050	3069,83	2,53
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,078	0,050	3,32	4,17
		2	0,186	0,050	1,78	3,23
		3	0,229	0,050	1,52	2,69
		4	0,088	0,050	2,25	2,69
		5	0,140	0,050	1,83	2,53
	Süresel Sapma Modeli	1	0,024	0,050	5,48	4,08
		2	0,076	0,050	2,73	3,15
		3	0,022	0,050	3,56	2,61
		4	0,028	0,050	3,02	2,61
		5	0,036	0,050	2,65	2,45

Tablo EK-5.7. Karadeniz bölgesi için varyans analizi (ANOVA) sonuçları.

BÖLGE	Model Adı	Komb. No	P _{örneklem}	P _{kritik}	F _{örneklem}	F _{kritik}
KARADENİZ BÖLGESİ (TRABZON VE SAMSUN)	Maliyet Modeli	1	0,000	0,050	10730,41	4,04
		2	0,000	0,050	5644,54	3,11
		3	0,000	0,050	3699,20	2,57
		4	0,000	0,050	4479,80	2,57
		5	0,000	0,050	12599,94	2,41
	Maliyet Sapması Modeli	1	0,459	0,050	0,56	4,04
		2	0,012	0,050	4,90	3,11
		3	0,000	0,050	10,49	2,57
		4	0,000	0,050	48,77	2,57
		5	0,000	0,050	38,68	2,41
	Süresel Sapma Modeli	1	0,883	0,050	0,02	4,04
		2	0,416	0,050	0,89	3,11
		3	0,320	0,050	1,20	2,57
		4	0,127	0,050	1,90	2,57
		5	0,131	0,050	1,81	2,41

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Savaş BAYRAM
 Uyuğu: Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 22 Şubat 1984, Kayseri
 Medeni Durumu: Evli
 Tel: +90 352 207 66 66 / 32 385
 Fax: +90 352 437 57 84
 e-mail: sbayram@erciyes.edu.tr
 Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat
 Mühendisliği Bölümü 38039 Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2009
Lisans	Erciyes Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh.	2006
Lise	Şehitler Fen Lisesi, Yozgat	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2006- Halen	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce, Almanca

DOKTORA TEZİYLE İLGİLİ YAYINLAR

2012, **Bayram, S.**, Ocal, M. E. and Laptali Oral, E., "Analysis of Cost and Schedule Variances in Construction Works with Artificial Intelligence Approaches: The Case of Turkey", International Students' Conference of Civil Engineering (ISCCE 2012), May 10-11, Tirana, Albania.

2013 (in press), **Bayram, S.**, Ocal, M. E., Laptali Oral, E. and Atis, C. D., "Comparison of Multi Layer Perceptron (MLP) and Radial Basis Function (RBF) for Construction Cost Estimation: The Case of Turkey", Journal of Civil Engineering and Management, ISSN: 1392-3730.