

**İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OSMANLI DÖNEMİ MİMARLIK ESERLERİ RESTORASYON İNŞAAT
MALİYETLERİNİN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ**

**DOKTORA TEZİ
İbrahim YILMAZ
609111003**

**Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Proje Yönetimi**

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. S.Ümit DİKMEN

EYLÜL 2012

**İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OSMANLI DÖNEMİ MİMARLIK ESERLERİ RESTORASYON İNŞAAT
MALİYETLERİNİN YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ**

**DOKTORA TEZİ
İbrahim YILMAZ
609111003**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: EYLÜL 2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 EYLÜL 2012**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. S.Ümit DİKMEN
Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Heyecan GİRİTLİ
Prof.Dr. Nur AKIN
Yrd.Doç.Dr. Hikmet ÇAĞLAR
Öğr. Gör.Dr. Emre CAN**

EYLÜL 2012

ÖNSÖZ

Hiç kuşku yok ki, tüm çağlar boyunca yapı üretim sürecinin planlamasının temelini yapı maliyetleri oluşturmuştur. Yapının kaç mal olacağından önceden bilinmesi her dönem önemli olmuş, buna göre de öncelikli olarak bütçe organizasyonları yapılmıştır. Bu çalışmada, Yapay Zeka Yöntemleri kullanılarak Osmanlı dönemi kubbeli anıtsal yapıların restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmin edilmesine çalışılmıştır. Vakıflar Genel Müdürlüğü birim fiyatları esas alınarak çıkartılan yaklaşık maliyet değerleri, YSA yöntemi ile elde edilen maliyet tahmin değerleriyle karşılaştırılarak geliştirilen yöntemin performansı araştırılmıştır. Yöntemin ihtiyaç duyduğu veriler, restorasyon yapan kurumların Bursa ve çevresinde gerçekleştirdikleri çalışmalardan elde edilmiştir.

Bu tezin gerçekleşmesinde bana yol gösteren, önerileri ile daha doğruya ulaşmamı sağlayan, proje yönetimi dalında çalışmamda beni teşvik eden ve önümde büyük ufuklar açan, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. S.Ümit Dikmen'e teşekkür ederim.

Ayrıca, jürimde bulunmasından dolayı büyük onur ve gurur duyduğum, tezimin restorasyon bölümünü oluşturmamda öneri ve katkılarıyla bana yön veren, İTÜ Mimarlık Fakültesi Lisans eğitimim döneminde de hocam olan çok değerli bilim insanı Prof.Dr. Nur Akın hocama da teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince beni azami derecede destekleyerek yardımcı olan, her türlü anlayışı ve sabrı gösteren sevgili eşim, öğretim görevlisi Hatice Biçen Yılmaz'a ve oğlum Ozan Onur Yılmaz'a da teşekkür ederim.

EYLÜL-2012

İBRAHİM YILMAZ

İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. RESTORASYON	5
2.1. Restorasyon Temel İlkeleri	5
2.1.1. Mimari Boyut	5
2.1.2. Yapımsal Boyut	8
2.2. Restorasyon Yöntemleri	10
2.3. Osmanlı Döneminde Yapılan Onarım Çalışmaları	16
3. OSMANLI DÖNEMİ KUBBE MİMARİSİ	20
3.1. Kubbe Sayısına Göre Yapı Türleri	25
3.1.1. Tek Kubbeli Yapılar	27
3.1.2. Çok Kubbeli Yapılar	28
3.1.3. Eş Büyüklükte Çok Kubbeli Yapılar	28
3.1.4. Eş Büyüklükte Olmayan Çok Kubbeli Yapılar	30
3.1.5. Merkezi Üniteli Çok Kubbeli Yapılar	31
3.2. Kubbeli Yapıların Hasar Nedenleri ve Biçimleri	32
3.2.1. Kubbe Hasarları	37
3.2.2. Kasnak Hasarları	37
3.2.3. Beden Duvarı Hasarları	38
3.2.4. Kemer Hasarları	39
3.2.5. Döşeme Hasarları	40
4. MALİYET VE MALİYET TAHMİNİ	50
4.1. Yapı Maliyeti	50
4.2. Yapı İnşaat Maliyetleri	52
4.3. Maliyet Hesaplama Süreçleri	55
4.4. Restorasyon Maliyetleri	60
4.5. Maliyet Tahmini	68
4.6. Eski Çağlarda Maliyet Tahmini ve Önemi	69
4.7. Osmanlı Döneminde Maliyet Tahmini Çalışmaları	71
4.7.1. Osmanlı Döneminde Kullanılan Maliyet Tahmin Yöntemleri	71
4.8. Yeni Yapıların İnşaat Maliyet Tahmini Üzerine Yapılan Çalışmalar	77
4.9. Restorasyon İnşaat Maliyet Tahmini Üzerine Yapılan Çalışmalar	84
5. YAPAY ZEKA	88
5.1. Yapay Zekanın Hedefleri	89

5.2. Yapay Zeka Teknikleri	89
5.3. Yapay Sinir Ağları	90
5.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları	91
5.3.2. Yapay Sinir Ağlarının Temel Elemanları	93
5.3.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Test Etme	97
5.3.4. Yapay Sinir Ağının Yapısı	100
5.3.5. Yapay Sinir Ağı Modelleri	102
5.3.6. Çok Katmanlı Ağlar (Danışmanlı Öğrenme)	104
5.3.7. Çok Katmanlı Ağların Uygulama Alanları	105
5.3.8. Yapay Sinir Ağı Uygulamalarının Avantajları ve Dezavantajları	105
5.3.9. Yapay Sinir Ağlarının İnşaat Mühendisliği Alanında Uygulamaları	106
5.4. Bulanık Mantık	107
5.4.1. Bulanık Küme Teorisi ve Üyelik İşlemleri	109
5.4.2. Bulanık Mantıkta Sistem Tasarımı	113
5.4.3. Bulanık Kurallar Tabanının Oluşturulması	113
5.4.4. Bulanık Mantık Sistemlerinin Temel Yapısı	114
5.4.5. Bulanıklaştırma	115
5.4.6. Bulanık Mantık Kural Tabanı	115
5.4.7. Bulanık Çıkarım Yöntemleri	115
5.4.8. Durulaştırma	117
5.4.9. Bulanık Mantık Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	118
6. ÖNERİ YÖNTEM VE MODELİN SINANMASI	119
6.1. Modelin Oluşturulması	119
6.1.1. Modelde Bulanık Mantık Yöntemlerinin Kullanılması	129
6.1.2. Modelde Yapay Sinir Ağları Yönteminin Kullanılması	137
6.1.3. Verilerin Tabanının Tanımı	138
6.1.4. Veri Setinin Oluşturulması	139
6.2. Analiz Çalışmaları	140
6.2.1. Bulanık Mantık Analizleri	140
6.2.2. Yapay Sinir Ağı Analizleri	150
6.2.3. Kullanılan Yazılım	164
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	165
7.1. Sonuçlar	165
7.2. Yapılması Önerilen Çalışmalar	169
KAYNAKÇA	171
EKLER	181
ÖZGEÇMİŞ	185

KISALTMALAR

YSA	: Yapay Sinir Ağları
GYSA	: Geri Yayılım Yapay Sinir Ağı
MSE	: Desired Error
SRSS	: The Square Root Sum Of The Squares Calculation

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL	AÇIKLAMA	SAYFA NO
Şekil 2.1	Osmanlı Dönemi Onarım Süreç Şeması	17
Şekil 3.1	Bursa Ulucami'nin Duvar İçine Gömülü Kemer ve Yaslama Ayaklarının Dış Cephede Yaptığı Çıkıntılar	22
Şekil 3.2	Beyazıt Cami Yarım Kubbesinin Bağlandığı Kemerin Altına Mimar Sinan Tarafından Eklenen Sivri Kemer ve Taşıyıcı Ayaklar	24
Şekil 3.3	Tek Kubbeli Alaaddin (Bursa) Planı	27
Şekil 3.4	Çok Kubbeli Ulucami (Bursa) Planı	29
Şekil 3.5	Ters "T" Tipi plana sahip Orhan Cami (Bursa) Planı	30
Şekil 3.6	Sultan Ahmet Cami (İstanbul) planı	32
Şekil 3.7	Şeyh Kutbeddin Cami beden duvarı ve minare kalıntıları	42
Şekil 3.8	Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami restorasyon öncesi kalıntıları	43
Şekil 3.9	Kayıhan Hamamı kubbe, kasnak ve kemerde oluşan çatlaklar	43
Şekil 3.10	Kayıhan Hamamı kemer iç yüzünde oluşmuş derin çatlaklar	44
Şekil 3.11	Kayıhan Hamamı kubbede polimer karbon çubuklarla dikiş yapılması	45
Şekil 3.12	Kayıhan Hamamı kasnak ve kemerde karbon polimer kumaşlarla sargı yapılması	45
Şekil 3.13	İncirli Hamamı kubbe, kasnak ve beden duvarı yüzeyinde bakımsızlık sonucu oluşmuş bozulmalar	46
Şekil 3.14	İncirli Hamamı kubbe, kasnak ve kemer sıvalarında meydana gelen kabarma ve dökülmeler	46
Şekil 3.15	İncirli Hamamı alçı bezemelerinde oluşmuş kabarma ve sıva Dökülmeleri	47
Şekil 3.16	Ördekli Hamamı çöken kubbesi ile kemer ve mukarnaslarda oluşan bozulmalar ve sıva dökülmeleri	47
Şekil 3.17	Ördekli Hamamı dış kabuk sistemindeki kopmalar ve yüzey yenilemeleri	48
Şekil 3.18	Şehzade Ahmet Türbesi taban tuğlalarındaki kopmalar ve bozulmalar	48
Şekil 3.19	II.Mahmut Türbesi pencere üstü kemerlerde çimento esaslı derzler ile dış boyanın dökülmesi	49
Şekil 3.20	Ebe Kadın Türbesi kubbe ve kemerde meydana gelmiş çatlaklar	49
Şekil 4.1	Farklı Maliyet Hesaplama Süreçlerinin Doğruluk Yüzdeleri ile Harcanan Zaman Arasındaki İlişki	58
Şekil 4.2	Proje Safhalarındaki Maliyet Hesap Düzeyleri	59
Şekil 4.3	Maliyet Gruplarının Ayrılma Şeması	64
Şekil 4.4	Maliyet Gruplarının Sayısı ile Maliyet Hata Bağlantısı	65
Şekil 4.5	Şeyh Kutbeddin Cami Kalıntıları	66
Şekil 4.6	Şeyh Kutbeddin Cami'sinin Bütünleme Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Restorasyon Sonrası Görünüşü	66
Şekil 4.7	Bilecik Emirler Cami Kalıntıları	67
Şekil 4.8	Çorum Abdal Ata Türbesi İçin Hazırlanmış Alternatifli Plan	74

Şekil 4.9 Çorum Abdal Ata Türbesi İçin Hazırlanan İlk Alternatif Planın Kare Tabanlı Altılığa (Satrançini) Oturumu	75
Şekil 4.10 Freiman Eğrisi	79
Şekil 4.11 Restorasyonda Proje ve Maliyet Safhalarında Kabul edilebilir Hata Oranları ile Bunlara ait Güvenli Bölgeler	86
Şekil 5.1 Yapay Bir Sinir (Düğüm) Hücresi	94
Şekil 5.2 Yapay Sinir Hücresinin Yapısı	95
Şekil 5.3 Transfer Fonksiyonun Çalışma Yapısı	96
Şekil 5.4 En Çok Kullanılan Transfer Fonksiyonları	97
Şekil 5.5 Yapay Sinir Ağı Katmanlarının Birbirleriyle İlişkisi	101
Şekil 5.6 Bir Yapay Sinir Ağı Örneği	101
Şekil 5.7 Bir Geri Yayılım Ağ Örneği	103
Şekil 5.8 Klasik Mantık İle Bulanık Mantık Arasındaki Farkın Gösterimi	108
Şekil 5.9 Sıcaklık İçin Bir Keskin Küme Örneği	110
Şekil 5.10 Sıcaklık İçin Bir Bulanık Küme Örneği	110
Şekil 5.11 Bulanık Kümelerde Örtüşüm	111
Şekil 5.12 Üçgen Yamuk ve Çan Eğrisi Üyelik İşlevleri	112
Şekil 5.13 Yedi Ayrı Etiketli Üyelik İşlevleri ve Örnek Ölçeklendirme Katsayısı	112
Şekil 5.14 Bulanık Küme Tabanlı Bir Sistemin Genel Yapısı	114
Şekil 5.15 Mamdani Bulanık Çıkarım Yöntemi	116
Şekil 5.16 Ağırlık Merkezi Yöntemi	117
Şekil 6.1 Kubbe Modülünü Temel Alan Restorasyon İnşaat Maliyet Hesaplama Süreç Şeması	121
Şekil 6.2 Tez Konusu Geliştirilen Modelin Genel Yapısı	128
Şekil 6.3 Şeyh Kutbeddinin Cami'si Kalıntıları	130
Şekil 6.4 Şeyh Kutbeddin Cami'sinin Bütünleme Yöntemi Kullanılarak Yapılmış Restorasyon Sonrası Görünüşü	130
Şekil 6.5 Bilecik Karacalar Cami Kalıntıları	131
Şekil 6.6 Bilecik Emirler Hamamı Kalıntıları	131
Şekil 6.7 Bilecik Emirler Cami Kalıntıları	132
Şekil 6.8 Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si restorasyon öncesi Kalıntıları	133
Şekil 6.9 Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si restorasyon sonrası Görünüşü	133
Şekil 6.10 Modelde Kullanılacak Bulanık Mantık Sistem Şeması	134
Şekil 6.11 Modelde Kullanılan Beş Ayrı Etiketli Üyelik İşlevleri	135
Şekil 6.12 Modelde Kullanılacak Çok Katmanlı YSA Yapısı ve İle Girdi ve Çıktı Değişkenleri	138
Şekil 6.13 Modelin Girdi Çıktı Değişkenlerine Dayalı İşleyişi	141
Şekil 6.14 Kubbe Yapım Birimine Ait Üyelik Fonksiyonlarının Program Ara Yüz Görüntüsü	142
Şekil 6.15 Kubbe Modülü Çıktı Üyelik Fonksiyonlarının Program Ara Yüz Görüntüsü	143
Şekil 6.16 Sözel Değerlendirilmeler İçin Oluşturulan Koşulların Program Ara Yüz Görüntüsü	144
Şekil 6.17 Hasar derecesi değerlerinin Program Ara Yüzündeki Şekilsel Gösterimi	145

Şekil 6.18	Beden Duvarı ve Kubbe Yapım Birimlerinin Toplam Kubbe Modülü Üzerindeki Ağırlıklarının Yüzey Görünüşü	149
Şekil 6.19	Kemer ve Döşeme Yapım Birimlerinin Toplam Kubbe Modülü Üzerindeki Ağırlıklarının Yüzey Görünüşü	149
Şekil 6.20	Oluşturulan YSA'nın Program Ara Yüzünde Şematik Gösterimi	159
Şekil 6.21	Vakıflar Birim Fiyat Analizlerine Göre Gerçekleşmiş Veriler İle YSA Modelinin Elde Ettiği Değerlerin Karşılaştırılması	162
Şekil 6.22	Örnek Projelerin Vakıflar Birim Fiyat Analizleriyle Hesaplanan Maliyet Değerlerinin YSA Yöntemi ile Karşılaştırılması	163

TABLO	AÇIKLAMA	TABLO LİSTESİ
		SAYFA
Tablo 3.1	Osmanlı Dönemi Kubbeli Yapıların Tipolojik Şeması	26
Tablo 3.2	Hasar Biçimleri ve Restorasyon Müdahale Teknikleri	41
Tablo 4.1	Proje Safhalarına Göre Maliyet Hesaplama Süreçleri	55
Tablo 4.2	Bursa Ulucam'nin 1567 Yılındaki Tamirleri İçin Keşif	73
Tablo 5.1	Bulanık Kural Tablosu	115
Tablo 6.1	Örnek Restorasyon Pozisyon Tablosu, Şeyh Kudbettin Cami Verileri	123
Tablo 6.2	Restorasyon Paketi tablosu, Şeyh Kudbettin Cami verileri	124
Tablo 6.3	Yöntemde Kullanılan Kurallar Tablosu	136
Tablo 6.4	Örnek Veri Seti Tablosu, Ördekli Hamamı Verileri	140
Tablo 6.5	Yöntemde Kullanılan Kurallar Tablosu Sözel Değerlendirme Örneği	144
Tablo 6.6	Bulanık Mantık Çıkış Değerleri Tablosu	146
Tablo 6.7	Veri Seti Tablosu	151
Tablo 6.8	Ysa Veri Seti max-min değerler	155
Tablo 6.9	Normalize Veri Seti Tablosu	156
Tablo 6.10	YSA Analizleri ve Karşılaştırmaları Tablosu	160
Tablo 6.11	SRSS İle Hata Hesabı- Ağ Performansı	161
Tablo 6.12	Vakıflar Birim Fiyatları İle YSA Yönteminin Karşılaştırılması	163

Üniversitesi : İstanbul Kültür Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Proje Yönetimi
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. S.Ümit Dikmen
Tez Türü ve Tarihi : Doktora – Eylül 2012

ÖZET

OSMANLI DÖNEMİ MİMARLIK ESERLERİ RESTORASYON İNŞAAT MALİYETLERİNİN YAPAY ZEKAYÖNTEMLERİ İLE TAHMİNİ

İbrahim YILMAZ

Osmanlı dönemi mimarlık eserleri restorasyon inşaat maliyetlerinin Yapay Zeka yöntemleri ile tahmin edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; Yapay Zeka sistemlerine ait iki yöntem iki aşamalı olarak bir arada kullanılmıştır. Bu bağlamda restorasyon çalışması yapılacak anıtsal yapının hasar düzeyi değerinin belirlenmesinde “Bulanık Mantık Yöntemi”, restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmininde ise, “Yapay Sinir ağları Yöntemi” kullanılmıştır. Bulanık mantık yöntemi ile elde edilecek hasar düzeyi değeri, restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmini amacı ile oluşturulacak yapay sinir ağı modelinde, tespit edilen diğer giriş değişkenleri ile birlikte giriş vektörü olarak kullanılmıştır. Yöntemin oluşturulması ve sınanması için restorasyon çalışması yapan resmi kurumlardan elde edilen, 153 adet kubbe modülüne sahip 43 adet Osmanlı anıtsal kubbeli yapısının rölöve, restitüsyon ve restorasyon projelerinden elde edilen onarım metrajlarından yararlanılmıştır. Yine bu amaçla bu yapıların projelerinden kubbe yarıçapı, kubbe yüksekliği, kubbe biçimi, yapı yüksekliği, dolu cephe sayısı, hasar düzeyi (Bulanık Mantık Yöntemiyle, Mevcut durum), yapı açıklığı, müdahale derecesi (Hedef durum) gibi bilgiler derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Osmanlı dönemi, kubbe mimarisi, restorasyon, maliyet tahmini, yapay zeka

Bilim Dalı Sayısal Kodu : 09.01

University : Istanbul Kültür University
Institute : Physical Sciences
Department : Construction Engineering
Program : Project Management
Thesis Advisor : Assistant Prof. Dr. S. Ümit Dikmen
Type and Date of Thesis : Doctorate – September 2012

ABSTRACT

ESTIMATION OF CONSTRUCTION COSTS OF OTTOMAN ARCHITECTURE RESTORATION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

İbrahim YILMAZ

In this study which was carried out in order to estimate construction costs of Ottoman architecture restoration with Artificial Intelligence methods; two methods belonging to Artificial Intelligence systems were used together in two stages. In this sense, “Fuzzy Logic Method” was used in the determination of value of damage level of monumental structure to be restored; “Method of Artificial Neural Networks” was used in the estimation of restoration construction costs. Value of damage level to be obtained with fuzzy logic method was used as input vector together with other input variables in artificial neural network model to be created for the estimation of restoration construction costs. Restoration surveying obtained from restitution, restoration and building survey projects of 43 Ottoman monumental vaulted structures which have 153 vault modules were used by obtaining from public enterprises which make restoration study for the formation and examination of method. For this aim, information such as vault radius, vault height, vault shape, height of construction, number of fill front, damage level (with Fuzzy Logic Method, Current condition), construction opening, intervention level (Target condition) were compiled from the projects of these constructions.

Keywords: Ottoman Empire, vault architecture, restoration, cost estimation, artificial intelligence

Numeric Code of Department: 09.01

1. GİRİŞ

Tarihi eserler, korunması gerekli kültür varlıkları olarak tanımlanır. Tarihi eserleri kendi içinde anıtsal eserler ve sivil mimarlık örneği eserler olmak üzere iki grupta sınıflamak mümkündür. Gerek anıtsal eserlerin, gerekse sivil mimarlık örneği eserlerin ortak temel özelliği, yapıldıkları dönemin kentsel ve mimari düzenini, yapım tekniklerini, sanatsal ve estetik özelliklerini, sosyal ve kültürel yaşamını ifade etmesidir. Anıtsal eserler genellikle kamusal yaşam kültürünü, sivil mimarlık örneği eserler ise, konut kültürünü yansıtmaktadır.

Anıtsal yapılar, yapıldıkları dönemde ne kadar mükemmel kalitede inşa edilmiş olurlarsa olsunlar, zaman içerisinde çeşitli nedenlere bağlı olarak farklı düzeylerde hasar görmüş ve zaman zaman da tamirleri gerekmiştir. Tarihi eserlerde, yapılacak müdahalenin türüne ve derecesine bağlı olarak korumaya ve anıtsal yapının ömrünü uzatmaya yönelik gerçekleştirilen bu tamirler, restorasyon eylemi olarak adlandırılmaktadır. Restorasyon, yapının belli ölçüde orijinal haline geri götürülmesi, sağlamlaştırılarak ayakta daha uzun süre kalmasını sağlamak olarak tanımlanırken, yapının hem tamirini, hem de beraberinde eski fonksiyonunu devam ettirmesi ya da yapıya yeni bir fonksiyon verilmesini içerir. Restorasyonda yapıya gerek eski fonksiyonunu devam ettirmesi, gerekse yeni bir fonksiyon kazandırılırken, yapının kullanımının sağlanması koruma kültürünün önemli hedeflerindedir. . Restorasyonda nadir hallerde, yapının ilk orijinal haline tam bir dönüş sağlayan (Rekonstrüksiyon) işlemi olabileceği gibi, çoğu kez mevcudun korunması amaçlanır. Bu nedenlerle, yapılacak tamir/tamamlama işlemlerinin kapsamı, elbette yapıdaki hasar oranı ile ne seviyede restore edilmek istendiğine sıkı sıkıya bağlantılı olacaktır.

Yeni bir inşaatta binayı oluşturan tüm iş kalemlerinin hesabı yapılırken, ya da tüm binanın belirli kriterlere göre maliyeti tahmin edilirken, restorasyon inşaatında sadece müdahale edilecek kısımların miktarı ile maliyet hesabı ya da tahmini yapılabilmektedir. Bu yüzden, yapıların restorasyon inşaat maliyeti tahmininde;

mevcut durum ve hedef durum olmak üzere iki durum söz konusudur. Mevcut durum; restorasyon çalışması yapılacak yapının günümüzdeki durumudur. Hedef durum ise; uluslararası düzeyde kabul edilmiş restorasyon kuram ve ilkelerine göre yapının mevcut durumuna uygulanacak olan müdahale derecesini, restorasyon tekniklerini ve müdahale miktarını içermektedir. Hedef durum aynı zamanda, yapıdaki hasarın miktarına bağlı olarak yapılacak onarımın da miktarıdır. Yapıların restorasyon çalışmalarında; birbirinden farklı müdahale (restorasyon yöntemi) dereceleri kullanılmaktadır. Bu yüzden, seçilen müdahale yöntemlerine ve hasar düzeylerine göre, gerçekleştirilmesi istenen restorasyon çalışmasının onarım miktarları da değişmektedir. Buna bağlı olarak restorasyon inşaat maliyetleri de farklılık göstermektedir. Bu nedenle, restorasyonu yapılacak anıtsal yapının mevcut kalıntı yüzdesi ve miktarı ile ona yapılacak müdahalenin yüzdesi ve miktarını restorasyon projesi öncesi veya tasarım aşamasında tespit edip maliyet tahmini yapmak oldukça güçtür. Böylesi bir tahmin kişiden kişiye değişmekte olup, ayrıca büyük sapma oranları gösterebilmektedir. Bu bağlamda; restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmin edilmesinde karşılaşılan en zor nokta; hasar düzeyinin ve onarım miktarının tespit edilmesidir. Ancak, onarım miktarı ve hasar düzeyi değerlerinin tespitindeki belirsizlik, karmaşıklık ve insana özgü olan yargılardaki bulanıklık bu konuda ortaya çıkan en önemli zorluklardandır. Restorasyon inşaat maliyetlerinin hesaplanmasında hasar miktarları önemli iken, restorasyon inşaat maliyet tahminlerinde ise, hasar düzeyi oranının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı Osmanlı dönemi mimarlık eserlerinin restorasyon maliyetlerinin Yapay Zeka Yöntemleri ile tahmin edilmesidir. Bu amaçla Yapay Zeka Yöntemlerinden iki yöntemin iki aşamalı olarak bir arada kullanılması hedeflenmiştir. İlk aşamada restorasyon çalışması yapılacak yapının hasar düzeyi değerinin belirlenmesinde “Bulanık Mantık Yöntemi”, restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmininde ise, “Yapay Sinir Ağları Yöntemi” (YSA) kullanılacaktır. Bulanık mantık yöntemi ile elde edilecek hasar düzeyi değeri, restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmini amacı ile oluşturulacak yapay sinir ağı modelinde, tespit edilen diğer giriş değişkenleri ile birlikte giriş vektörü olarak kullanılacaktır. Çalışma, ayrıca anıtsal ve kubbeli eserlerin restorasyonu ile kısıtlı tutulacaktır. Yanlış bu noktada vurgulanması gereken önemli bir nokta da, Osmanlı'nın anıtsal sınıfa giren eserlerinin köprüler hariç hemen hepsinde kubbe kullanılmış olmasıdır.

Yapay zeka yöntemlerinden bilhassa yapay sinir ağı yöntemi sağlıklı çalışma açısından mümkün olduğunca çok ve homojen yapıya ihtiyaç göstermektedir. Bu çalışmada, geliştirilen yöntemin sınanması için ihtiyaç duyulan veriler, özellikle Bursa ve yakın çevresinde bulunan Osmanlı dönemi kubbeli anıtsal yapıların, Vakıflar Bölge Müdürlükleri, Büyükşehir Belediyeleri ve İlçe Belediyeleri tarafından yapılmış ya da yapımı devam eden restorasyon çalışmalarından elde edilen örneklerden oluşmaktadır. Bu yapıların rölövelerinden, restitüsyon projeleri ile müdahaleye yönelik hazırlanan restorasyon projelerinin onarım metrajlarından yararlanılmıştır.

Bu tez çalışması, toplam 7 bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın gerekçesinin ve amacının kısaca sunulduğu giriş bölümünün ardından gelen ikinci bölümde, restorasyon eylemi tanımlanmış, restorasyonun boyutları, restorasyon müdahale dereceleri ile, ülkemizde ve diğer ülkelerde kullanılan restorasyon yöntemleri terminolojik ifadeleri ile birlikte açıklanmıştır. Yine bu bölümde, Osmanlı döneminde yapılan onarım ve restorasyon çalışmaları arşiv belgelerine dayalı olarak araştırılarak sunulmuştur.

Üçüncü bölümde; tez konusu ile ilişkili olan Osmanlı dönemi anıtsal kubbe mimarisi, genel ve yapımsal özellikleri ile birlikte incelenmiştir. Bu bölümde öneri yönteme esas olmak üzere, Osmanlı Dönemi Kubbeli yapılarının tanımlanması için geliştirilen bir sınıflandırma sistemi sunulmuştur.

Dördüncü bölümde; maliyet ve maliyet tahmini anlatılmıştır. Yapı inşaat maliyet ve maliyet tahminleri, yeni yapım ve restorasyon yapım maliyet ve maliyet tahminleri olarak ikiye ayrılmış, restorasyon inşaat maliyet tahminleri konusunda daha önce yapılan çalışmalar araştırılmıştır. Diğer yandan, günümüzde ve eski çağlarda maliyet tahmininin önemi ve Osmanlı döneminde kullanılan maliyet tahmin yöntemleri de bu bölümde anlatılmıştır.

Beşinci bölümde; yapay zeka tanımlanmış, amaçları, uygulamaları ve teknikleri belirtilerek, bu tekniklerden modelde kullanılacak olan Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları metodları incelenmiştir. Bulanık mantık sistemleri, küme teorisi ve üyelik işlevleri, bulanık sistemlerin temel yapısı, bulanık kurallar tabanının

oluşturulması, bulanık mantık çıkarım yöntemleri ile bulanık mantık sistemlerinin avantajları ve dezavantajları konusunda bilgiler verilmiştir. Diğer yandan, yine modelde kullanılacak olan YSA'nın yapısı, eşitleri, çalışma prensipleri, uygulama alanları, YSA kullanımının avantajları ve dezavantajları ile YSA'nın inşaat mühendisliği alanındaki uygulamaları değerlendirilmiş yapılan çalışmalar ve bulgular hakkında bilgiler verilmiştir.

Altıncı bölümde; Osmanlı dönemi kubbeli yapılarının restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmini için geliştirilen öneri yöntem anlatılmıştır. Bu bağlamda, öneri yöntemde kullanılmak üzere elde edilen verilerin tanımı yapılmıştır. Yöntemde, Bulanık Mantık ve YSA'nın kullanımı açıklandıktan sonra, elde edilen verilerle ait parametreler kullanılarak Bulanık Mantık ve YSA ile yapılan analizler anlatılmıştır. Yöntemin sınanması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yine bu bölümde ele alınmıştır.

Yedinci bölüm olan sonuç bölümünde ise; çalışmada elde edilen bulgular özetlenmiş ve ileride yapılacak olan çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. RESTORASYON

Genel tanımıyla restorasyon, günümüze ulaşmış anıtsal yapıların bir tarih ve kültür belgesi olarak tüm özgün özellikleri ile ömrünü uzatmak için yapılan mimari ve yapımsal müdahalelerin tümüdür (Kuban 2000). Eski bir yapıyı ayakta tutmak için yapılan müdahale, içerdiği bütün düşünsel, estetik, teknik, kültürel, ekonomik ve örgütsel etkinliklerle birlikte kullanıldığında restorasyon eylemini oluşturmaktadır. Restorasyon; temelde bugün kazandığı bilimsel ve kavramsal içerikten soyutlanırsa, insanların bütün tarihleri boyunca bildikleri tamir etkinliğidir (Kuban 2000).

2.1. Restorasyonun Temel İlkeleri

Geçmişte restorasyon çalışmasının amacı yapıyı ayakta tutmak, yıkılan kısımları yeniden yaparak biçimsel bütünlüğü sağlamak iken, bugün ise; aynı zamanda belirli dönemin kentsel ve mimari düzenini, yapım tekniklerini, sosyal ve kültürel yaşamını da açıklayıcı belgeler olmuştur. Koruma kültürünün artması ile birlikte çoğalan günümüz restorasyon çalışmalarının, mimari ve yapımsal olmak üzere önemli iki boyutu vardır.

2.1.1. Mimari Boyut

Restorasyonun mimari boyutu veya diğer bir tanımla proje boyutu esas itibariyle üç aşamadan oluşur. Restorasyon proje çalışmasının ilk aşaması tespit ve belgelemeye yönelik yapılan **rölöve** çizimleridir. Restorasyon projesi, anıta ait ayrıntılı rölöveye dayanılarak çizilir. Rölöve, tarihi yapının mevcut durumunun ölçekli çizimlerle anlatımıdır. Dolayısıyla bir proje değildir. Projede çizimden yapıya giden süreç, rölövede mevcut yapıdan çizim elde etme yönündedir (Ahunbay 1999). Rölöve çalışmaları, genellikle çevre boyutunda ve tek yapı boyutunda olmak üzere iki tip olarak gerçekleştirilmektedir.

Rölöve çalışmalarında yapılan çizimlerin ölçekli olması gerekmektedir. Yerleşim planı çizimlerinde genellikle yapının büyüklüğüne göre, 1/500, 1/200 ölçekler kullanılmaktadır. Çevre boyutunda, yapıların plan ve kütle özelliklerini, genel görünümelerini anlatmak için hazırlanan rölövelerin 1/200 veya 1/100 ölçekte olması gerekmektedir. Ancak, tek yapı boyutunda ve restorasyona yönelik hazırlanan rölövelerin kat planlarının çiziminde, genellikle 1/50 ölçek kullanıldığı gibi, yapının boyutlarının büyük olması durumunda planın daha iyi kavranabilmesini sağlamak amacıyla, ölçeğin 1/200 olarak kullanılabilmesi mümkündür. Kesit ve görünüşlerde ise, 1/20 ölçek kullanılabilirdiği gibi, genellikle 1/50 ölçek kullanılmaktadır. Ancak plan, kesit ve görünüş üzerinde kapı, pencere, korkuluk, süsleme vb. detayların daha anlaşılır biçimde ifade edilebilmesi için, binanın sistemini ifade eden sistem detaylarının (plan, kesit ve görünüşler), 1/20 ve 1/10 ölçeğinde çizilmesi gerekmektedir. Detay olarak pencereler, kapılar, dolaplar, merdiven korkulukları, demir işleri, döküm işleri, taş işleri, tezyinatlar, diğer süslemeler vb. detaylar 1/5, 1/2, 1/1 ölçeğinde nokta detayları olarak çizilir.

Ayrıca rölöve çalışmasında, tarihi yapının mevcut durumunun tespit ve belgelenmesine yarar sağlayacak, yapının ayrıntılarını açık biçimde gösteren, ölçek, yön ve tarih belirten fotoğrafları çekilir. Yine bu çalışmada yapının tarihçesi, mekansal ve estetik özellikleri, yapım tekniği, strüktür yapısı, özgün malzemeleri ve malzeme özellikleri, yapıdaki bozulmalar, hasarlar, hasar düzeyleri, hasarların nedenleri araştırılır, laboratuvar ortamında yapılan test ve analiz çalışmalarından da yararlanılarak elde edilen veriler, gerek rölöve çizimleri üzerinde, gerekse analiz raporları şeklinde hazırlanarak açıklanır (Ahunbay 1999).

Günümüzde geleneksel yöntemler kullanılarak rölöve çalışmaları yapıldığı gibi, teknolojik olanakların gelişmesiyle birlikte giderek artan oranda kullanımı yaygınlaşan fotoğremetrik, total station, G.P.S. (Global Positioning System) vb. aletli yöntemlerle de rölöve çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Sözü edilen teknolojik yöntemlerin kullanılması ile rölöve çalışmaları daha kolay, hassas ve hızlı yapılır hale gelmiştir (Uluengin 2005).

Restorasyon çalışmalarının mimari boyutunun ikinci aşaması **restitüsyon** projesidir. Uzman çalışması ile belge ve kaynak araştırması gerektirmektedir. Anıtsal

yapının ilk halinin ve günümüze gelene kadar geçirdiği evrelerin, yapılan müdahalelerin çizimlerle anlatıldığı aşamadır. Restitüsyon, tarihi bir yapının özgün tasarımı ve geçirdiği tarihi dönemler hakkında fikir vermek amacıyla yapılır (Ahunbay 1999). Restitüsyon çalışmasında arşiv kayıtlarından, yapı üzerindeki izlerden, yapıya ait daha önceki dönemlerden günümüze ulaşmış çizim, fotoğraf, gravür gibi belgelerden yararlanır. Restitüsyon çalışması için gerekli olan belgelerin, sağlam ve güvenilir kaynaklar olmasına, varsayma dayanmamasına özen gösterilmelidir. Belgelerin yetersiz olduğu durumlarda ise, aynı dönemlerde yapılmış benzer özellik gösteren yapıların, karşılaştırmalı olarak yapısal ve mekansal özelliklerinden yararlanmak mümkündür. Diğer yandan restitüsyon proje çalışmalarında, hem tarihi yapının özgün özelliklerini hem de yapıldığı dönemin özelliklerini iyi bilen tarihçi, arkeolog, sanat tarihçisi, mimarlık tarihçisi vb. uzmanların görüşlerine başvurmak gerekmektedir. Bu şekilde, uzmanların da katılımıyla hazırlanacak restitüsyon projelerinin, daha doğru ve gerçeğe daha yakın özelliklerde gerçekleştirilebilmesi mümkün olacaktır.

Üçüncü aşama ise, **restorasyon** projesidir. tarihi yapıya ait restitüsyona uygun olarak, restorasyon kuram ve ilkelerine göre kabul edilebilir yöntemlerle yapılacak yapısal müdahalelerin ölçekli çizimlerle anlatımıdır. Korumaya değer bir yapı üzerinde çalışıldığından restorasyon projesi, tarihi yapıya en az müdahale ile en iyi korumayı sağlayacak yöntem seçilerek hazırlanmalıdır (Ahunbay 1999). Ancak, geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda yapının harabiyet durumuna göre, günümüz çağdaş malzeme ve tekniklerinin de kullanımı gerekli hale gelebilmektedir. Böyle durumlarda kullanılan yeni yapım tekniklerinin ve yapım malzemelerinin eskisi ile mümkün olduğunca uyumlu olmasına, özgün olanla özgün olmayanın kolayca ayırt edilebilmesine dikkat edilmelidir.

Restorasyon projesi, mimarlık, inşaat mühendisliği, sanat tarihi, vb. disiplinlerin katkılarıyla hazırlanır. Uygulamanın doğru yürütülebilmesi amacıyla, her öge için önerilen müdahale biçiminin, restorasyon proje paftaları üzerinde (plan, kesit, görünüşler) açıkça belirtilmesi gerekmektedir. Restorasyon projesi genellikle, yalnız strüktürün sağlamlaştırılması ve uygulanacak tekniklerin belirlenmesi ile kalmaz, tarihi yapının yeniden kullanılması ile ilgili önerileri de içerir. Verilmesi istenen işlevin yapıya uygulanabilirliği araştırılır, yeni fonksiyonun yapının özgün

fonksiyonuna da saygılı olmalıdır. Ayrıca, yeniden kullanım projesinin yapının özgün özelliklerini bozmamasına özen gösterilir (Ahunbay 1999).

2.1.2. Yapımsal Boyut

Restorasyon çalışmasının yapım boyutu, günümüze ulaşmış, kullanılan veya kullanılmayan iyi, orta veya kötü durumda bulunan tarihi yapının bugünkü durumuna, geliştirilen restorasyon projesine uygun olarak, kabul edilmiş restorasyon ilke, kuram ve teknikleri çerçevesi içinde yapılacak yapımsal müdahaleler olarak tanımlanabilir. Restorasyon müdahaleleri tek yapı boyutunda genellikle, bakım ve onarım (konservasyon), sağlamlaştırma, temizleme, tamamlama, yeniden yapım, çağdaş ekler ekleme ve farklı fonksiyonlarda kullanma amaçlı iç ve dış düzenleme türleri olduğu gibi, sokak ve cephe düzenlemesi, çevre düzenlemesi, ışıklandırma gibi çevre boyutunda da gerçekleştirilmektedir.

Eski yapıların korunması ve onarımıyla ilgili ilkeler üzerinde karara varmak ve bunları uluslar arası bir temele yerleştirmek amacıyla da Venedik'te 25-31 Mayıs 1964 tarihleri arasında toplanan II. Uluslar arası Tarihî Anıtlar Mimar ve Teknisyenleri Kongresi "Venedik Tüzüğü" adıyla anılan kararları almıştır. Tüzükte; onarımda çağdaş teknolojiden yararlanma, çevre düzenleme, arkeolojik sitlerde yapılacak onarımlar konularında açıklamalar getirilmiştir (Palalı, 1992).

Bu yüzden, anıtların korunması ve onarılması amacıyla gerçekleştirilen yapımsal müdahalelerde, bu konuda kabul edilmiş uluslararası mevzuatlar ile restorasyon ilke, kuram ve tekniklerin kullanılmasına özen gösterilmelidir. Venedik Tüzüğü'nün, bir restorasyon çalışmasında dikkate alınması gerekli onarımla ilgili temel maddeleri, esas madde numaralarıyla birlikte aşağıda belirtilmiştir (Ahunbay 1999):

Madde 9- Onarım uzmanlık gerektiren bir iştir. Amacı, anıtın estetik ve tarihi değerini korumak ve ortaya çıkarmaktır. Onarım kendine temel olarak aldığı özgün malzeme ile güvenilir belgelere saygıyla bağlıdır. Faraziyenin başladığı yerde onarım durmalıdır; yapılması gerekli herhangi bir eklemenin

mimari kompozisyondan farkı anlaşılabilir ve günün damgasını taşımaktadır;

Madde 10- Geleneksel tekniklerin yetersiz kaldığı yerlerde, koruma ve inşaa için bilimsel verilerle ve deneylerle geçerliliği saptanmış herhangi çağdaş bir teknik kullanılarak anıt sağlanabilir;

Madde 12- Eksik kısımlar tamamlanırken, bütünle uyumlu bir şekilde bağdaştırılmalıdır; fakat bu onarımın, aynı zamanda sanatsal ve tarihi tanıklığı yanlış bir biçimde yansıtmaması için, özgünden ayırtedilebilecek bir şekilde yapılması gereklidir.

Madde 13- Eklemelere, ancak yapının ilgi çekici bölümlerine, geleneksel konumuna, kompozisyonuna, dengesine ve çevresiyle olan bağıntısına zarar gelmediği durumlarda izin verilir.

Diğer yandan, 1981-1987 yılları arasında Birleşik Krallık ICOMOS Milli Komitesi başkanlığına seçilen Sir Bernard Feilden, ICCROM'daki misyonunun yanı sıra, UNESCO'ya danışman olarak; Irak, İran, Hindistan, Pakistan, Sri Lanka, Çin, Yeni Zelanda ve Kanada'da mimarlara "koruma mimarlığı" disiplinini öğretmiştir. Bernard Feilden'in, mimari koruma kuramı ve koruma etikleri açısından ortaya koyduğu önemsenmesi gereken ilkeler, Venedik Tüzüğü'nde belirtilen temel koruma ve onarım ilkeleriyle örtüşmektedir. Feilden'in, restorasyon yapımları ile ilgili belirtmiş olduğu, özen gösterilmesi gerekli olan ilkeler aşağıda sunulmuştur (Ersen 2011).

- Tarihi belge ve delil anlamındaki hiçbir şey tahrip, tahrif edilmemeli veya yapıdan uzaklaştırılmamalıdır.
- Yapılacak her yapımsal müdahale, gerekli minimum miktarda ancak maksimum etkinlikte olmalıdır.
- Tarihi yapılara yapılacak yapımsal müdahale, yapının tarihi, estetik ve fiziki bütünlüğüne saygılı olmalıdır.

- Herhangi bir müdahale teknik olarak mümkünse dönüşümlü (*İngilizce tanımıyla “reversible”*) olmalı; olamıyorsa objenin delil niteliğine daha sonraki bir müdahalede ulaşmayı engellememelidir.
- Özgün malzeme, mümkün olan maksimum miktarda yerinde korunmalıdır.
- Ekler, renk tonu, doku, form ve ölçek olarak özgün kısımlara uyumlu olmalı, özgün kısımları ön plana çıkaracak vurguda yapılmalıdır. Yakın mesafeden bakıldığında yeni oldukları anlaşılmalı, uzak mesafeden bakıldığında ise, özgün kısımlarla uyum içersinde olmalıdır.
- Tarihi yapılara yapılacak müdahaleler, deneyimsiz ve eğitimsiz konservatör/restoratörler tarafından yapılmamalıdır. Restitusyan yapılacak formlarda, form bilgileri olmayan mimarların disiplinler arası çalışma yapmaları gerekmektedir.

Ayrıca, 1994 yılında Japonya'nın Nara kentinde Dünya Miras Sözleşmesi çerçevesinde UNESCO, ICCROM (Roma'da kurulan kültür varlıklarının korunması ve restorasyonu ile ilgili uluslararası araştırma merkezi) ve ICOMOS'un işbirliğiyle “korumada özgünlük” üzerine bir konferans düzenlenmiş ve konferansın sonunda, 45 katılımcının katkılarıyla kaleme alınan koruma tarihinin en önemli belgelerinden biri olan NARA Bildirgesi kabul edilmiştir. Bildirgenin önsözünde, küreselleşme ve bir örnekleşme baskısına karşı, kültür mirasının korunması uygulamalarında özgünlüğün dikkate alınmasının insanlığın ortak belleğinin tüm yönlerine saygı göstermeye ve onu aydınlatmaya en büyük katkıyı sağlayacağı belirtilmektedir. Nara Bildirgesi'nin ışığı altında öncelikle vurgulanması gereken; korumada temel hedefin her şeyden önce özgünlüğün korunması, yani kültür varlığının tüm biçimleri ve tüm tarihi dönemleriyle korunmasıdır (Akın 2010).

2.2. Restorasyon Yöntemleri

Günümüzde anıtların korunması için temel yaklaşım sürekli bakımlarının sağlanmasıdır. Ayakta duran yapıların periyodik muayeneleri, koruyucu ve önleyici konservasyon ve minimum bakım-onarım müdahaleleriyle yaşamlarının uzatılması, günümüzün koruma anlayışını oluşturmaktadır. Ancak günümüze yıpranarak ve

değişime uğrayarak ulaşmış anıtsal yapıların restorasyon çalışmasında, yapının yıpranma nedenleri araştırıldıktan sonra, bozulmanın durdurulması ve varsa strüktürel aksaklıkların giderilmesi için gerekli müdahalelerin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılacak müdahalelerde, restorasyon ilke ve kuramlarına uygun restorasyon yöntemleri kullanılmalıdır. Onarımın özgün dokuya en az müdahale ile gerçekleştirilmesi, kullanılan yapım tekniklerinin özgün olanı ile uyumlu olmasına dikkat edilmelidir (Ahunbay 1999).

Diğer yandan, kültür varlıklarında bozulma sorunlarını gidermeye yönelik müdahalelerde kullanılacak onarım malzemelerinin de; yapının özgün malzemelerine, yapısal davranışına ve işlevsel sistemlerine zarar vermemesi; yapı bütünündeki uyumluluk ve dayanıklılık özellikleri gözetilerek planlanması ve uygulama tariflerinin yapılması gereklidir (Mersin Bildirgesi 2009).

Ülkemizde, anıtsal yapıların onarımı ve restorasyonu için genel olarak aşağıdaki restorasyon tekniklerinden yararlanılmaktadır (Ahunbay 1999):

- Sağlamaştırma (Consolidation); Sağlamaştırma, anıtın malzemesinin, taşıyıcı sisteminin ve üzerinde bulunduğu zeminin sağlamaştırılması çalışmalarını kapsamaktadır,
- Bütünleme (Reintegrasyon), Bir bölümü hasar görmüş, ya da yok olmuş yapı ve öğelerinin, ilk tasarımlarındaki bütünlüğe kavuşturmak için yapılan tamamlama çalışmalarıdır,
- Yenileme (Renovasyon), Özgün işlevi, zamanla değişen yaşam biçimi ve buna bağlı isteklere cevap veremeyen anıtsal yapıların, günümüz konfor şartlarına uygun olarak yenilenmesi, yeni bir işlev kazandırılarak, yeniden kullanılmasıdır,
- Yeniden yapım (Rekonstrüksiyon), Tümüyle yok olmuş, ya da çok harap durumda olan tarihi yapıların, mevcut ve varsayıma dayanmayan geçerli belgelere göre hazırlanan restitüsyon ve rekonstrüksiyon projelerine uygun olarak yeniden inşa edilmesidir. Ancak, bu yöntem özel durumlarda kabul edilen bir uygulamadır. Sadece bir kentin silüetinin önemli bir parçası, tarihi

bir kompozisyonun ögesi olan yapıların yeniden yapılması gerekebilir (Ahunbay 1999).

- Temizleme, Anıtların tarihi ve estetik özellikleri taşımayan eklerden arındırılması ile cephelerin, iç ve dış mekanlarında bulunan sıva, boya, kalem işi, fresk gibi bezemelerin temizliği ve onarımı çalışmalarıdır,
- Taşıma, Bayındırlık ve diğer doğal afet etkileri sonucu yerinde korunması sorun taşıyan anıtsal bir yapının, yapı elemanlarının uygun teknikle sökülerek daha güvenli bir yere taşınmasıdır.

Çoğu kez bir anıtın restorasyonu için yukarıda sıralanan tekniklerden bir kaçını bir arada kullanılması gerekmekte, hatta kullanılmaktadır (Ahunbay 1999).

Türkiye dışında farklı ülkelerde de anıtların korunması ve onarılmasıyla ilgili restorasyon çalışmaları yapılmaktadır. Almanya'da bu yönde yapılan çalışmalar, eski yapı yenileme ve koruma güvenliği adı altında değerlendirilmektedir. Bu ülkede yapılan restorasyon çalışmalarında kullanılan yöntemler, ülkemizde kullanılan restorasyon yöntemleri ile benzerlik göstermektedir. Almanya'da eski eserlerin onarımı için genel olarak kullanılan restorasyon yöntemleri, parantez içinde italik font ile Almanca terimleri ile birlikte aşağıda açıklanmıştır (Nedderman 1994);

- Bakım ve koruma (*Instandhaltung*), Eski yapıların, yaşamlarını sağlıklı sürdürmelerini amaçlayan, değişikliğe yönelik hiçbir müdahale yapılmaksızın, belirli aralıklarla bakımlarının yapılarak korunmasıdır. Yıllık periyotlarla kontrol edilen yapıların, gerekli bakımları zamanında yapılarak, ileride doğabilecek yüksek maliyetli müdahalelere gerek kalmadan korunmaları sağlanmaktadır.
- Tamir, onarım ve sağlamlaştırma (*Instandsetzung*), Yapının iklimsel koşullara, zamana ve diğer etkenlere bağlı olarak; malzemesinde, strüktürel yapısında veya mimari öğelerinde ortaya çıkan hasarların tamir edilerek onarılması ve gerektiğinde sağlamlaştırılmasıdır,
- Modernleştirerek kullanım (*Modernisieren*), Anıtsal bir yapıyı korumanın temel koşullarından biriside yapıyı kullanmaktır. Ancak, eski bir yapıyı

günümüzde kullanabilmek için, yapıda günümüz konfor şartlarına uygun değişikliklerin yapılması gerekmektedir. Isıtma, aydınlatma ve diğer tesisatlarda yapılan modernleştirme çalışmaları ile çağdaş kullanıma uygun hale getirilen anıtsal yapının kullanımı ile daha uzun süre yaşaması sağlanmaktadır,

- Yenileme (*Sanierung, Erneuern*), Anıtsal yapının zamana ve diğer etkenlere bağlı olarak eskiyen yapısal elemanlarının yenilenmesi ile, yapının içinde bu günün konfor şartlarını sağlayan güncelleştirmelerin yapılmasıdır,
- Değiştirerek kullanım (*Ausbau*), Yapı içinde yapılan bazı değişikliklerle, kullanıcı ihtiyaçlarını daha iyi karşılayacak iyileştirmelerin yapılmasıdır. Ör; Yapının içinde bölme duvarları kaldırılarak mekanların genişletilmesi, ya da bölme duvarları ile daha çok mekan yaratılması, yapının içine mutfak, banyo, wc gibi ihtiyaç duyulan yeni mekanların ilave edilmesi vb.,
- Tamamlama, orijinal hale getirme, bütünleme (*Restaurierung*), Anıtsal yapıya ait kalıntıların, yapının ilk tasarımındaki bütünlüğünü sağlayacak biçimde tamamlanmasıdır. Sağlam verilerle hazırlanmış restitüsyonlara uygun olarak, yapının ilk orijinal haline getirilmesidir,
- Yeniden kullanım (*Renovieren*), Zamanla değişen koşullara bağlı olarak, anıtsal yapıların özgün işlevleri ile kullanılmaları çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Yeniden kullanım, özgün işlevi ile günümüzde kullanılması mümkün olmayan anıtsal bir yapının, gerekli yenileme çalışmaları yapılarak yeniden işlevlendirilmesidir
- Koruma, saklama (*Konservierung*), Yapının, yapı kalıntılarının ya da detaylarının, ayakta kalmalarını sağlayacak önlemler dışında hiçbir müdahale yapılmadan korunmasıdır,
- Yeniden yapım, canlandırma (*Wiederherstellen*), Günümüzde ayakta olmayan ya da çok az kalıntısı bulunan, anıtsal yapıların, varsayıma dayanmayan sağlam ve geçerli belgelerle hazırlanmış restitüsyonlara uygun olarak yeniden üretilmesidir.

İtalya'da bilimsel restorasyon kuramının 20. yüzyıl başındaki sözcülerinden Gustavo Giovannoni ise, restorasyon tekniklerini beş sınıfa ayırmıştır (Kuban 2000).

- Sağlamaştırma,
- Yeniden yapım (Rökompozisyon),
- Temizleme,
- Bütünleme,
- Yenileme

Diğer yandan, Sir Bernard Feilden restorasyonu yeniden tanımlarken, restorasyonun tarihi yapılara yapılabilecek sınırları belirlenmiş bir müdahale derecesi olduğunu, temel ilkelerini de yeniden kavramlaştırarak vurgulamıştır. Feilden'in tanımlamalarında restorasyon tipleri olmayıp, farklı eskilik ve yaş değerinde ve korunmuşluk durumundaki yapılara yapılabilecek müdahale dereceleri vardır. Feilden yedi adet müdahale derecesi belirlemiştir. Tarihi yapılara yapılacak müdahale dereceleri; yapının yaşı, korunmuşluk durumu, iklimsel ortam, hava kirliliği, zemin koşulları, deprem, sel baskını, yapının kullanılıp kullanılmayacağı ve yalnızca kültürel amaçlarla korumanın söz konusu oluşuna göre değişmektedir (Ersen 2011). Müdahale derecelerinden biri veya bir kaç birlikte, yapının farklı bölümlerinde farklı şekillerde uygulanabilir. Yani yapının farklı korunmuşluk durumlarındaki kısımlarında bütünleme veya kısmi rekonstrüksiyon gerektirecek bölümleri için, ayrı ayrı kararların üretilmesi gerekmektedir. Feilden'in belirttiği müdahale dereceleri aşağıda çıkartılmıştır (Ersen 2011).

1. Bozulmaya neden olan koşulların önlenmesi; periyodik kontrol ve bakımla yapıların ihmal edilmesinin önüne geçilmesi, yapıların bozulma ortamlarını oluşturan nedenlerin aktif hale gelmelerini önlemekle başlamaktadır.
2. Mevcut korunmuşluk durumunun sabitlenmesi; Koruyucu bakım onarımla, yapının çatı ve zemin elemanlarının işlevlerini sürdürmelerinin sağlanmasından, yapı malzemelerinin suyun bütün fiziki hallerinden, kimyasal korozyondan, mikrobiyolojik, biyolojik ve botanik zararlılardan korunmasına değin müdahaleleri içermektedir. Bu aşamada detaylardaki

aksayan kısımların özgün form ve malzemeleriyle onarılmaları da söz konusudur.

3. Strüktür ve malzemenin sağlamlaştırılması; sağlamlaştırma (*İngilizce tanımıyla “consolidation”*), ayrıışmış ve eksilmiş bağlayıcıların ikame edilmesi ve özgün strüktürü destekleyecek yeni elemanların yapılması yoluyla, yapının ya da yapı bölümlerinin durabilite ve strüktürel bütünlüğünün sürdürülmesidir. İç yapısı ayrıışmış ve boşalmış taş duvarların enjeksiyonu veya strüktürü destekleyecek ekler ve onarımlar, bu kapsamdadır.
4. Restorasyon; restorasyonun amacı, objenin özgün konseptinin ve okunabilirliğinin canlandırılmasıdır. Yapı elemanlarının, detaylarının ve bezeme elemanlarının bütünlenmesi de söz konusudur. Ayrıışmış, formları erimiş ve eksik kısımların bütünlenmesinde, renk doku olarak bütünle uyum sağlanmalıdır; bunların yakın mesafeden restorasyon izleri oldukları anlaşılırken, uzak mesafeden bakıldığında bütünlük arz etmelidirler.
5. Rehabilitasyon; yakın döneme ait, göreceli olarak daha genç yapıların kullanılarak korunmaları ve buldukları kentsel tarihi sitlerle birlikte modern yaşama ve planlama ölçütlerine katılmaları istenen bir durumdur. Yeniden kullanımlar, özgün işlevin sürmesi veya yeniden işlevlendirme yoluyla gerçekleştirilebilir. Rehabilitasyon, modern konfor koşullarını sağlayacak alt yapı ve tesisatların yeniden kullanılan yapılara uygulanmasıdır.
6. Reprodüksiyon (Yeniden üretme, Replika yoluyla bütünleme); özgün malzeme, işçilik ve tekniklerle eksik olan veya form erimesi nedeniyle anlaşılabilir hale gelmiş, sanat değeri olan bezeme elemanlarının estetik bütünlük sağlamak amacıyla yeniden üretilmeleridir.
7. Rekonstrüksiyon (Yeniden inşa); yapıların, yapı gruplarının ve kentsel tarihi sitelerin yeniden inşası, doğal afetler veya savaş tahribatıyla yok olmaları durumunda gerekebilir. Ancak yeniden inşa edilen yapıların patinaları ve yaş değerleri yok olduğundan, belge değerleri yoktur.

Feilden'in belirttiği restorasyon m¼dahale dereceleri, aynı zamanda anıtsal yapıdaki hasarların da derecesini göstermektedir. Buna göre, anıtsal yapıdaki hasarın derecesini mevcut durum olarak, ona yapılacak restorasyonun m¼dahale derecesini ise hedef durum olarak değerlendirmek mümkündür. Restorasyon uygulamalarında mevcut durum derecelerini, mevcut duruma istenilen düzeyde yapılacak restorasyon m¼dahalelerine göre oluşacak restorasyon m¼dahale dereceleri ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir.

2.3. Osmanlı Döneminde Yapılan Onarım Çalışmaları

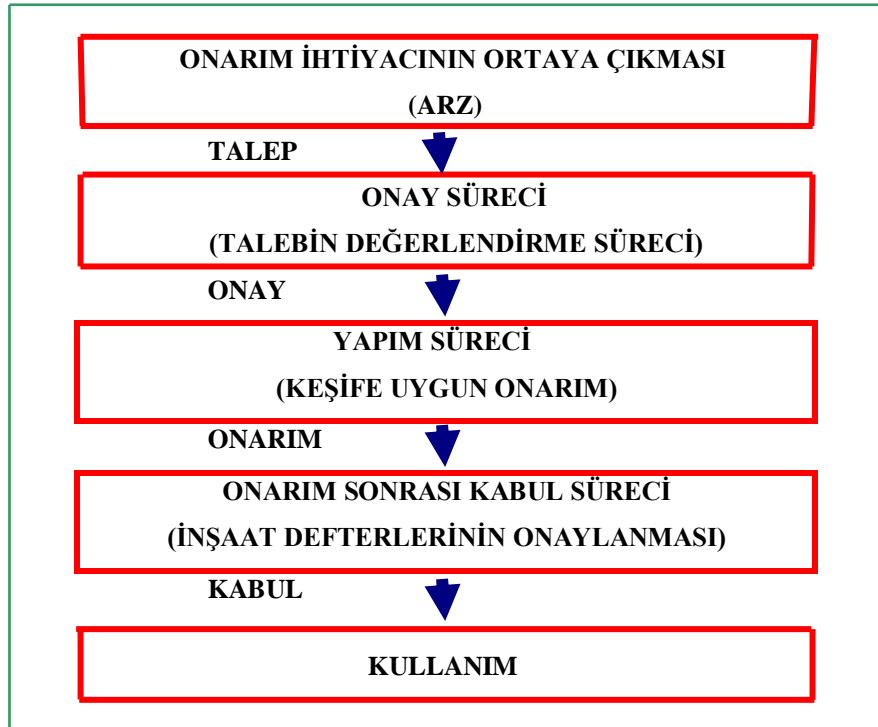
Burada, Osmanlı döneminde onarım çalışmalarının ne şekilde ele alındığı ve süreçleri hakkında da kısa bir bilgi sunulacaktır.

Osmanlı dönemi yapılarının, yüzyıllarca ayakta kalarak, günümüze ulaşmasındaki en önemli etken, yapılarında değişik faktörlere bağlı olarak zamanla ortaya çıkan bakım, onarım ve yenilenme gibi gereksinimlerin, zamanında yapılan uygun m¼dahalelerle giderilmesinden kaynaklanmıştır. Osmanlı'ların inşa ettikleri yapıları korumada dolayısıyla bunların onarımında gösterdikleri özen, eserlerinin sonraki kuşaklara birer hizmet üniteleri olarak aktarma gayesi olmuş, bu düşünce aynı zamanda yapılarının sürekli kullanımına olanak veren önemli bir temel oluşturmuştur. Onarım ihtiyacının ortaya çıkmasından başlayıp onarımın tamamlanıp, yapının yeniden kullanıma hazır hale gelmesine kadar geçen süreçte uyguladıkları, tasarım, onay ve nihayetinde yapım organizasyonu teknikleri, olası suistimalleri en aza indirgeyen, kaynakların doğru ve yerinde kullanımını sağlayan sonuçların ortaya çıkmasını sağlamıştır (Yılmaz vd. 2011).

Osmanlı döneminde yapılarda oluşan hasarların nedenleri günümüzde olduğu gibi kullanımdan doğan hasar ve aşınmalar, malzeme eskimesi, kötü malzeme kullanımı, iklimsel koşullar, yangınlar, deprem ve sel gibi doğal afetler olabildiği gibi, günümüzde o devirlere nazaran daha az rastlanan savaşlar, toplumsal olaylar ve isyanlar neticesinde doğan hasarlar da olabiliyordu. Elbette hasar nedenlerine bağlı olarak hasar düzeyleri, dolayısıyla da onarım türleri de değişmekte idi. Bu bağlamda basit onarım sınıfına giren, zamana ve iklimsel koşullara bağlı

hasarlara, üst örtü malzemesinin eskimesi (Kurşun, kiremit, vb.), iç mekanda oluşan zararlar, rüzgar ve lodostan çatıların uçması gibi hasar örnekleri verilebilir. Deprem, sel gibi doğal felaketler ile yangınlar, savaşlar ve diğer nedenlerden dolayı yapının büyük bir kısmının ya da tamamının yıkılması ile yapıda oluşan hasarların düzeyi yüksek olduğundan, bu tür onarım çalışmaları ise esaslı onarım sınıfına girmektedir. Esaslı onarımları günümüz restorasyon terimleriyle ifade etmek mümkündür. Bu farklı durumlara bağlı olarak Osmanlı dönemi onarım onay yazılarında “ke’l-evveli bina edilmesi”, “üslub-i kadimi üzere binası”, “üslub-i sabik üzere tamir edilmesi” gibi terimlerin kullanılması, yapıdaki hasar düzeylerinin boyutunu göstermekle beraber, onarım amacıyla yapılacak olan müdahalenin de, yapının aslına sadık kalınarak inşa edilmesi gerektiği ifade edilmektedir (Hızlı 1993).

Osmanlı döneminde, yapılarda onarım ihtiyacının ortaya çıkması ile başlayıp, yapının onarım sonrası kullanılabilir hale gelmesine kadar geçen sürede gerçekleşen onarım çalışmasının Şekil 2.1’de görüldüğü gibi, 3 temel süreci bulunmaktadır. Osmanlı’larda onarım çalışmasının gerektirdiği bu süreçlerin her birinde titizlikle uyulması gereken adet ve kurallar, hiyerarşik bir yapı içerisinde düzenlenmiştir (Yılmaz vd. 2011).



Şekil 2.1 Osmanlı Dönemi Onarım Süreç Şeması

Onarım süreçleri Şekil 2.1' de de görüldüğü gibi, sırası ile onarım öncesi süreç, onarım süreci ve onarım sonrası süreçlerini kapsamaktadır. Osmanlı'larda onarım çalışmasının gerektirdiği bu süreçlerin her birinde titizlikle uyulması gereken adet ve kurallar, hiyerarşik bir yapı içerisinde düzenlenmiştir (Yılmaz vd. 2011).

- i. **Onarım Öncesi Süreç;** Onarım öncesi süreç, öncelikle onarıma yönelik yapılan talep ile bu talebin değerlendirilmesi sürecidir. Bu süreçte, yapının onarıma ihtiyacı olduğu belirtilir, gerekli çalışmaların yapılarak onarıma izin verilmesi arz ile talep edilirdi. Mahkemeye yapılan bu talebe karşılık, o yörenin mahkemesinde görev yapan kadılar gerekli çalışmaları yaparak hazırlanan keşif, rapor ve projeleri Divan-ı Hümayun'a iletmekle yükümlü olmuşlardır. Divan-ı Hümayun'dan çıkan onarımın onay kararı ile birlikte onarım öncesi süreç sona ermektedir. Bu yüzden, bu süreci aynı zamanda onarımın onay süreci olarak değerlendirmek gerekmektedir. Onay kararından sonra onarımın yapım süreci başlamaktadır (Yılmaz vd. 2011).
- ii. **Onarım Süreci;** Onarımın inşa sürecidir. Onarım çalışmasında onay yazılarında belirtilen ilke ve esaslar dikkate alınır. Onarım çalışması, onay sürecinde hazırlanan keşif ve raporlara uygun olarak, önceden atanan sorumlular gözetimin de yürütülür. Ayrıca alınan malzemelerin miktarları ve ücretleri, çalışan işçi, usta, kalfa, neccarlara ödenen ücretler, nakliye masrafları ve sarf giderler, inşaat defterlerine kayıt edilerek onarımın gerçek maliyeti elde edilir idi (Hızlı 1991).
- iii. **Onarım Sonrası Süreç;** Onarım inşaatından sonra, onarımın keşifte belirlenenlere uygun olarak yapılıp yapılmadığı bilirkişilerce kontrol edilir. İnşa sürecinde muhasebeye uygun olarak tutulan inşaat defterleri, kadı ve mimar ile birlikte mühürlenerek evkaf defterlerine işlenmek üzere başkente gönderilirdi (Yılmaz vd. 2011).

Osmanlı döneminde, diğer yapı faaliyetlerinde olduğu gibi restorasyon çalışmalarında da onay ve kontrol mekanizmasının merkezin elinde bulunduğu görülmektedir. Bu yüzden, restorasyon çalışmasının her sürecinde merkezin müdahalesi ve yönlendirmesi söz konusu olmuştur. Ancak farklı süreçleri

bulunmasına rağmen, onarım çalışmalarının en önemli sürecini, onarımın onay süreci oluşturmaktadır.

Taleple başlayan, başkentten onarım izninin alınmasıyla sona eren onarım öncesi bu süreçte, imparatorluğun farklı bölgelerindeki onarım faaliyetlerinin kontrolü ilk olarak, bölgede bulunan bir mimar görevlendirilerek, ya da o bölgeye mimar gönderilerek sağlanırdı. Bu mimarın asıl görevi, onarımı için onay alınacak yapıyı diğer görevlilerle birlikte yerinde incelemek, gerekirse onarım projesi çizmek, onarımın tahmini maliyetini çıkartarak, buna göre hazırlanan proje, keşif ve raporları başkentten onay alınmak üzere meclis-i şerife sunmaktır. İncelenen arşiv belgeleri değerlendirildiğinde, Divan-ı Hümayun'dan onarım için onay izni alınabilmesindeki en temel koşulun bu çalışma olduğu görülmektedir.

.Osmanlı döneminde yapılacak onarımın gerekliliği, kapsamı ve maliyeti için, içinde yerel ahalinin de olduğu tüm paydaşları içeren katılımcı bir yöntem uygulanmaktadır (Yılmaz vd. 2011). Yapılan bu katılımcı çalışmaların ürünü olan maliyet çalışması olmadan onarım çalışmasına kesinlikle izin verilmemekteydi. Bunun nedeni, onarımla ilgili yapı faaliyetlerinde ortaya çıkabilecek olası süistimallerin önüne geçilmesi olduğu gibi, onarımın gerektirdiği parasal kaynakların nereden sağlanacağı ile, onarım harcamalarının nasıl ve kim tarafından yapılacağından önceden belirlenerek yatırımın garantiye alınması, bu sayede de özellikle şeffaflığın ve onarım sonrası hesap verilebilirliğin sağlanmasıdır (Yılmaz vd. 2011).

İncelenen arşiv belgelerine göre, onarım talebinin ilk yapıldığı ve bu talebe karşılık gerekli çalışmaları başlatarak, onarımın onay sürecinin her aşamasında etkili mevki olarak meclis-i şerif, yani kadılar görülmekle birlikte, onay sürecindeki çalışmaların en önemlisi olan, onarılacak yapının muayene edilmesi, onarım planlarının çizilmesi, onarıma ait keşif ve yaklaşık maliyet hesaplarının çıkartılması aşamalarının en önemli aktörlerinin ise mimarlar olduğu görülmektedir.

Osmanlı döneminde, özellikle kamu yapıları ve vakıf eserlerinin onarımına verilen önem, bu yapıların birer hizmet üniteleri olarak yüzlerce yıl ayakta kalmalarının da teminatı olmuştur.

3. OSMANLI DÖNEMİ KUBBE MİMARİSİ

Anıtsal kubbe mimarisi, dünya kültür tarihinde özel bir yer işgal etmektedir. Hangi bağlamda ve perspektifte bakılırsa bakılsın, Osmanlı kültürü dünyanın her yerindeki bu ürünlerle hem boyut, hem örgütlenme, hem de biçim açısından boy ölçüşecek niteliktedir (Kuban 1998).

Osmanlı kültürünün en büyük ürünü mimaridir. Bu etki Balkanlar'dan Arap ülkelerine kadar uzanmıştır. 14. yüzyıldan sonra gelişen anıtsal kubbe mimarisi dünya yapı tarihinde Osmanlı mimarisinin evrensel mimarideki düzeyini belirlemiştir. Kubbe, yapı tarihinin başta gelen simgelerinden biridir. Hiçbir kültürün kendi başına sahiplik edemeyeceği evrensel bir örtü ögesidir. Kubbeli yapımlar sistemlerinde kubbe kullanışı genel olarak iki değişik eğilimi yansıtır. Bunlardan ilki; kubbenin strüktürel biçiminin öncelik taşınması, diğeri ise; kubbenin simgesel eğilimler ve şemalar içinde şekillenmesidir. Kubbeyi yapısal saflığıyla kullanan tek uzun ömürlü üslup Osmanlı dönemidir (Kuban 2007). Kubbe Osmanlı mimarlığında, yapının bütün biçimlenmesini yöneten ana öge olarak ortaya çıkar. Osmanlı yapılarında gördüğümüz gibi kubbe yapıyı taçlandırır, fakat ondan bağımsız kendi kimliğini ifade etmez (Kuban 1992).

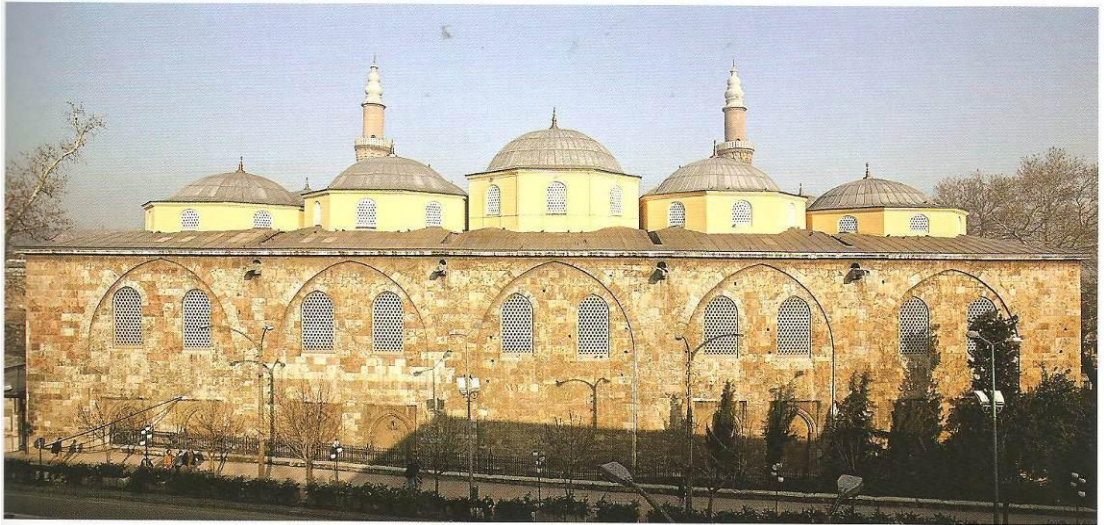
Osmanlı Dönemi anıtsal kubbe mimarisinde, kubbe kullanımı için farklı kaynaklar gösterilmektedir. Petersen'e göre kubbe, Osmanlı Mimarlığı'na Bizans yoluyla (PETERSEN 1996), Goodwin'e göre ise, Zerdüşt etkileri sonucu girmiştir (GOODWIN 1997). 1905 yılında padişahın davetlisi olarak İstanbul'a gelerek, Bizans ve Osmanlı mimarisini karşılaştırmalı olarak inceleyen Dresden Teknik Üniversite'si mimarlık tarihi profesörü Cornelius Gurlitt, üç öğrencisinden bu konu üzerinde tez çalışması yapmasını istemiştir (Kuban 2007). Bu öğrencilerden Henrich Wilde, Bursa'ya gelerek erken Osmanlı dönemi mimarisi üzerine araştırmalar yapmıştır. Henrich Wilde'nin yaptığı bu araştırmalar sonucu 1909 yılında geliştirdiği, "Erken Osmanlı Dönemi Mimarisi ve Küçük Asya'da Bir Kent Gelişimi"

konulu doçentlik tezi çalışmasında, Osmanlılar İstanbul'a ne kadar yaklaşmışlarsa, yapılarında Bizans konstrüksiyonlarını ve kubbeyi o kadar çok kullandıklarını, İstanbul'a tamamen hakim olduklarında ise kubbe mimarisinde çok ilerlemiş olduklarını ve oldukça gelişmiş detaylar kullandıklarını belirtmiştir. Kaynağı ne olursa olsun kubbe, Osmanlı Mimarlığı'nın en karakteristik ve en önemli yapım birimlerinden birisidir. Önceleri kare bir mekanın üzerine konstrüktif geçiş öğeleri kullanılarak oturtulan kubbe, zamanla zarifleşmiş, oturduğu kasnağa koyulan pencerelerle daha hafif ve ağırlıksız bir etki yaratmıştır (Goodwin 1997). 16.yüzyıl başında (1501), klasik döneme girildiğinde ise, Osmanlı mimarlığının artık kubbelere dayalı bir mimarlık haline geldiği görülmektedir (Uluengin vd. 2001). Osmanlı klasik çağı Mimar Sinan'la eşdeğerdir. Klasik dönem Osmanlı mimarisi, Sinan'ın yapılarıyla tanımlanmış ve onunla biçimsel potansiyelinin en üst düzeyine erişmiştir (Kuban 2007).

Osmanlı'nın kubbe mimarisi ile oluşturduğu yapı türleri; camiler, hamamlar, türbeler, medreseler, imarethaneler, şifahaneler, hanlar, çarşılar vb. dir. Bu yapıların mekan sayıları arttıkça, mekanların üstünü örten kubbe sayıları da artmaktadır. Örneğin; türbe yapıları genellikle tek hacimden ibaret olduğundan üzerileri tek kubbe ile örtülü iken, hamam yapılarında, soyunma, ılıklik, sıcaklık, soğukluk, halvet gibi birden çok mekan bulunduğundan üzerileri farklı büyüklüklerde birden çok kubbe ile örtülüdür. Osmanlı yapı ustalarının küçük mekanların üzerini bile kubbe ile örtmeleri, simgesel özelliklerden dolayı değil yapım kolaylığından kaynaklanmıştır (Kuban 2007).

Osmanlı Mimarlığı konusunda yapılan, yerli ve yabancı kaynak araştırması ile günümüzde yapılan anıtsal yapı restorasyon çalışmaları dikkatli bir biçimde incelendiğinde; Osmanlı dönemi anıtsal kubbe mimarisini oluşturan çoğu geleneksel yapım detaylarının birbirine benzediği görülmektedir. İmparatorluğun birbirinden uzak bölgelerinde, farklı dönemlerde ve farklı amaçlarla yapılmış olsa dahi, her bir yapım biriminde kullanılan temel detayların birbirine benzemesi oldukça şaşırtıcıdır. Bunun nedeni, işlevini doğru yerine getiren bir yapım detayının değiştirilme ihtiyacı duyulmadan sürekli kullanılmasıdır (Uluengin vd. 2001). Kullanım amaçları farklı da olsa, kubbeli yapıların benzer özellik taşıyan temel yapım birimlerinin, Kubbe, kasnak, kemer, beden duvarları, geçiş elemanları, (Tromplar, Pandantifler, Türk

üçgenleri vb.), döşemeler, kapı ve pencereler olduğu görülmektedir. Bu benzerlikten dolayı Osmanlı Dönemi anıtsal kubbeli yapıların tümünde, kubbe, tromplar ve pandantifler aracılığıyla, planı daire ya da düzgün çokgen olan kasnaklara oturtulmaktadır. Kubbe ile örtülen iç mekanın planı genellikle kare şeklinde olmakla beraber, kubbe kasnağı, dış beden duvarlarının içinde yer alan, ya da açıkta görünen ayaklara oturan, beden duvarları içindeki gizli veya açıkta olan kemerler tarafından taşınmaktadır (Mungan 2007). 1399 yılında yapılmış Bursa Ulu Camii buna en güzel örnektir. Kısa kenar doğrultusunda 4 sıra, uzun kenar doğrultusunda 5 sıra olmak üzere, 4 x 5 modülü ile yapılmış, kubbe çapı 10.5 metre olan 20 adet kubbe modülünden oluşmuştur. Burada da kenar yüzeylere gelen kubbelerin oturduğu beden duvarları içine gömülü 18 adet gizli kemer ile, kemerlerin oturduğu 18 adet yaslama ayağı bulunmaktadır. Bursa Ulucami'deki duvar içine gömülü gizli kemer ve yaslama ayaklarının, beden duvarlarının dış yüzeylerinde yaptığı çıkıntılar Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Bursa Ulucami'nin duvar içine gömülü kemer ve yaslama ayaklarının, dış cephede yaptığı çıkıntılar

İstanbul'a doğulu ve İslami kubbe geleneklerinin Anadolulaşmış örnekleri ile gelen Osmanlılar için Ayasofya'nın etkileyici bir büyüklüğü vardı. Ayasofya'da tanımlanan kubbeli yapı potansiyelinin gelişip büyük sentezlere ulaşmasının yolunu, Osmanlı'nın mimarları son noktasına kadar kullandılar ve merkezi büyük kubbeli mimari üslubu yarattılar (Kuban 2007). Bu sayede yarım kubbelerle desteklenmiş,

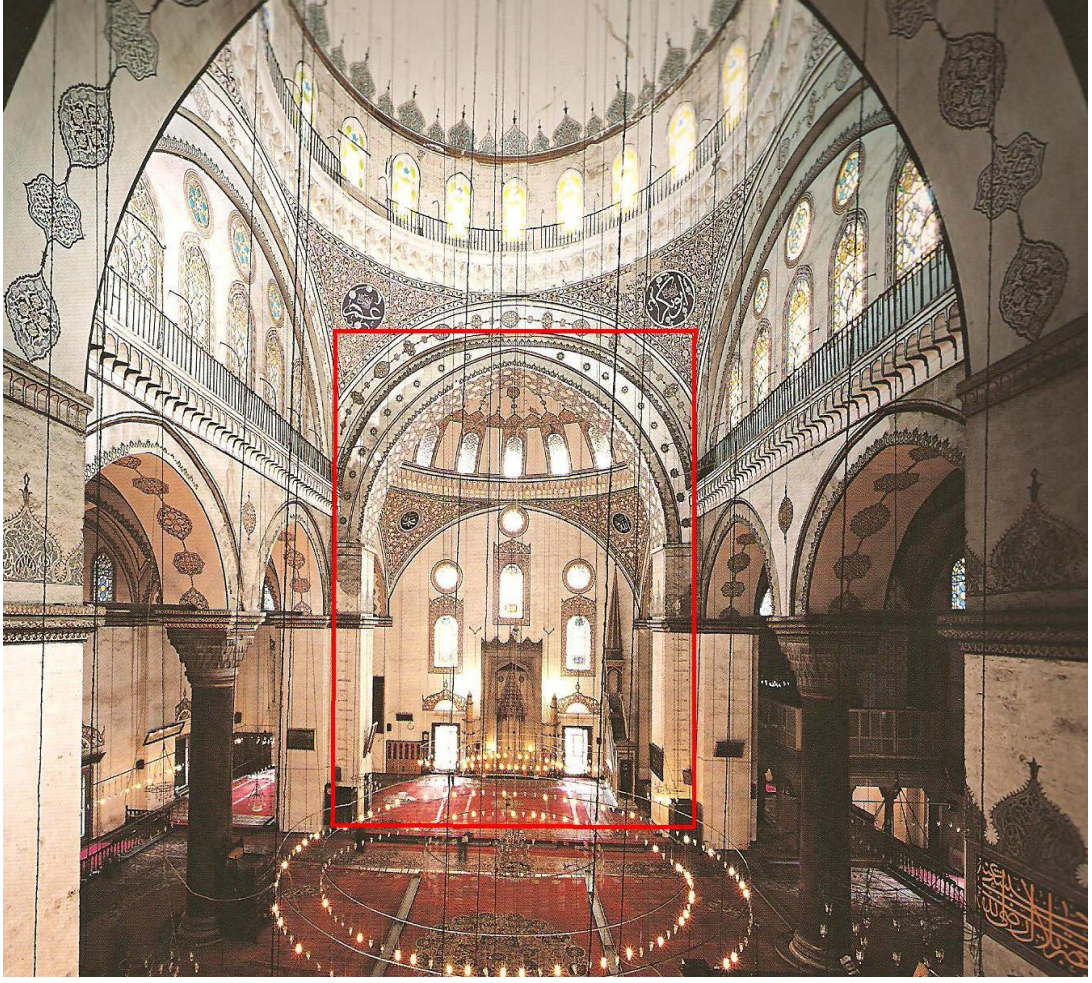
geniş açıklığa sahip merkezi kubbeli görkemli Sultan yapıları yapılmıştır. Bu yapılar, gerek sultanın gerekse, dönemin görkemini de yansıtmakta idi.

Osmanlılar yarım kubbeyi temel bir strüktür özelliği ile sadece bir strüktür ögesi olarak görmeyerek, özellikle büyük cami tasarımlarının arkasında yatan yüzyıllık geniş bir mekan gelişimini de sağlamışlardır. İlk olarak 1470 yılında tamamlanan, kubbe çapı 26 metre olan tek yarım kubbeli Fatih Camii yapılmıştır. Osmanlı'nın iki yarım kubbeli ilk yapısı ise, 1505 yılında tamamlanmış, kubbe çapı yaklaşık 17 metre olan Beyazıt Cami'sidir.

Ayasofya ve erken dönem yarım kubbeli camilerde, iç mekanda daha geniş kullanım alanı yaratmak amacıyla, büyük merkezi kubbelere eklenen yarım kubbelerin, ana kubbe ile bağlandığı kemerlerin kesitleri, merkezi kubbenin yarım kubbesiz oturduğu diğer kemerlerle aynı ölçülerde yapılmış olması kesit yetersizliğine neden olmuş, bu durum iki kubbenin birlikte oturduğu kemerlerin diğerlerine göre daha dayanıksız olması sonucunu doğurmuştur. Dolayısıyla bu kemerlerin taşıma gücünde meydana gelen yetersizlik, iki kubbeden gelen ağırlığa karşı koyamaması, ayrıca yapılan diğer strüktürel hataların da etkisiyle, Ayasofya dahil benzer diğer yapıların yarım ve merkezi kubbeleri geçmiş dönemlerde meydana gelen depremler sonucu çökmesine neden olmuştur.

Bu yüzden, Osmanlılar Mimar Sinan'a kadar yarım kubbeli strüktürlerin yük taşıma davranışını tam olarak anlayamamışlardır (Mungan 2007). Mimar Sinan'ın, iki yarım kubbeli Beyazıt Camii'nde kesitini yetersiz bulduğu yarım kubbe kemerlerinin altını, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, 0.75 metre genişliği bulunan ayaklar üzerinde taşınan sivri bir kemer ile desteklemesi, kubbe çökme sorununun daha çok bu noktalarda olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

Mimar Sinan 1547 yılında üç yarım kubbeli Mihrimah Sultan Cami'sini, 1548 yılında ise dört yarım kubbeli, ideal merkezi planlı bir yapı olan, Şehzade Cami'sini inşa etmiştir. Şehzade Cami'si, Mimar Sinan'ın yarım kubbe problemini ilk ele aldığı yapısı olma özelliğini de taşımaktadır (ASLANAPA 2004).



Şekil 3.2 II. Beyazıt Cami, yarım kubbesinin bağlandığı kemerin altına, Mimar Sinan tarafından eklenen sivri kemer ve taşıyıcı ayakları

Anıtsal mimarinin en temel yapım birimlerinden birisi de kubbedir. Kubbe, oluşturulan mekanı dış etkilerden koruyan eğrisel yüzeyle bir üst örtü sistemidir. Osmanlı Dönemi kubbeli anıtsal yapıların kubbe konstrüksiyonunu oluşturan temel elemanı, yarım küre şeklinde biçimlenmiş, genellikle horasan harç ile örülen pişmiş toprak malzemeden yapılmış küresel tuğla kabuktur. Kasnaklara mesnetlenerek oturtulan bu küresel tuğla kabuğun kalınlığı, Osmanlı kubbelerinde genellikle 0.70 metreyi geçmemektedir (Mungan 2007).

Kubbe açıklığı geniş olan yapılarda, kubbenin kasnağa oturduğu kısımlarda küresel tuğla kabuk daha kalın olup, üst kısımlara doğru çıkıldıkça bu kalınlık incelmektedir. Ayrıca, eğrisel tuğla kabuğun kalın olan ilk kısımları içi dolu tuğlalar ile örülmekte iken, üst kısımlara doğru çıkıldıkça kubbe yükünü hafifletmek amacıyla dolu tuğlalar yerini içi boşluklu tuğlalara bırakmaktadır.

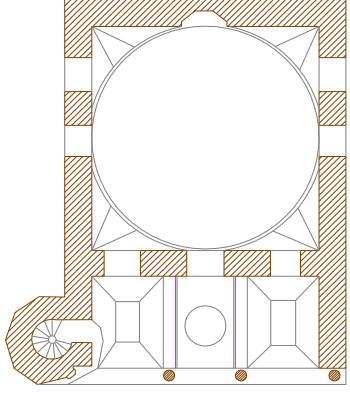
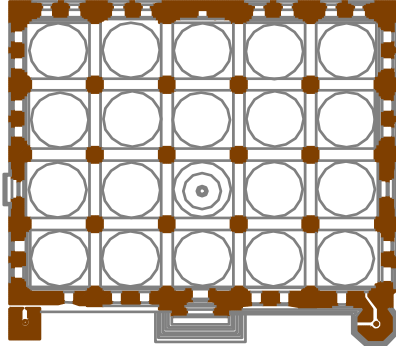
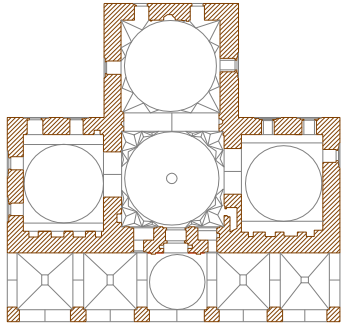
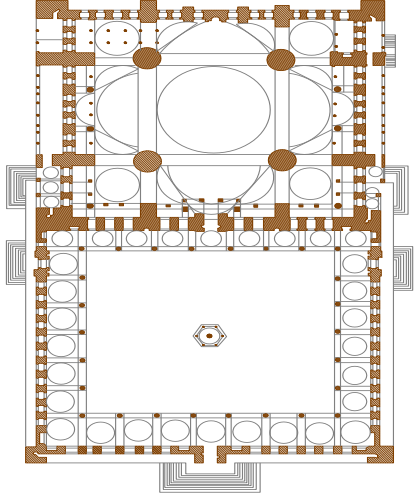
Kubbelerde tuğla örülerek oluşturulan eğrisel kabuğun üzeri; ya harçlı kiremit bastırılarak, ya da kil esaslı toprak malzeme ile çamur sıva yapıldıktan sonra, 1.5 mm; yada 2 mm; kalınlığında kurşun levhalar çakılmak suretiyle kapatılmaktadır. Kurşun levha altına serilen toprak, güneş sayesinde ısınan kurşunun sıcaklığına karşı koyabilen yegane malzeme olduğu için kullanılmaktadır. Bu yüzden Osmanlı kubbelerinde Roma kubbelerinde olduğu gibi ısı farklılıklarından dolayı çatlaklar oluşmamaktadır.

Kubbe yapımının en kolay yolu altına eğriselliğine uygun ahşap kalıp yapmaktır. Elde edilmesi istenen kubbenin şekline göre ahşap kalıp yapıldıktan sonra tuğlalar aşağıdan yukarıya doğru aralarına bağlayıcı olarak horasan harç konularak sıra sıra yerleştirilir. Harç donduktan sonra da kalıp çekilerek alınır (Uluengin vd. 2001). Bizans'lıların kubbe yapımında kullandığı bazı yöntemler Osmanlılar tarafından da kullanılmıştır. Özellikle ahşaptan ve işçilikten tasarruf etmek amacıyla kullanılan bir yöntemde, öncelikle üstü örtülecek mekanın orta aksı dikey bir ağaç ile sabitlenmektedir. Dikey ağacın ucu kubbenin merkezini belirler. Bunun üzerine kubbe dış ve iç yarıçapının işaretlendiği ip sabitlendiği gibi, şaküle alınmış merkezi belirleyen düşey ağaç üzerine birbirine geçmiş iki çengel ile bağlanan, üzerinde kubbenin iç yarıçapının çivi çakılarak belirlendiği, kubbe dış yarıçapı uzunluğunda yatay bir çubuk çakılır. Böylelikle her yöne hareket edebilen yatay bir çubuk elde edilmiş olur. Bu çubuk kubbe çevresinde ve ekseninde aşağı ve yukarı doğru serbestçe hareket etmektedir. Tuğla örülmeye başlandığında her tuğla iç yarıçapı belirleyen çiviye degecek şekilde yerleştirilir. Bu şekilde merkezden hareket eden çubuk sayesinde yerleştirilen tuğlaların her birinin bu merkeze bakması sağlandığından istenilen mükemmellikte bir küre parçası elde edilmiş olmaktadır (Wilde 1909).

3.1. Kubbe Sayısına Göre Yapı Türleri

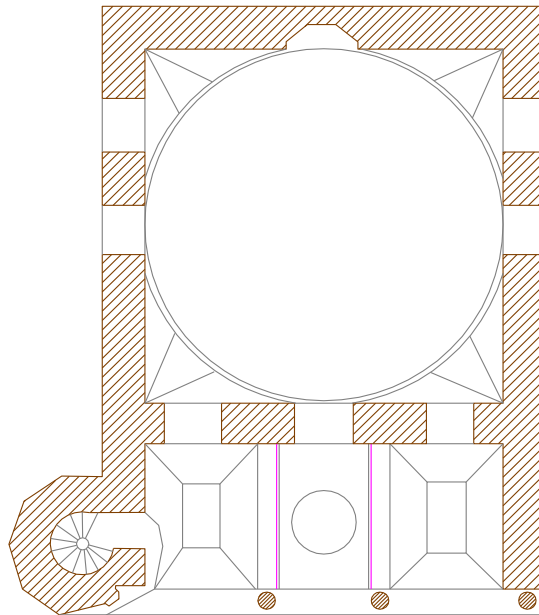
Kullanım amaçları farklı olsa da benzer modül sistem oluşturan Osmanlı dönemi anıtsal kubbeli yapıları, kubbe yapısına ve kubbe sayısına göre Tablo 3.1'de görüldüğü gibi sınıflamak mümkündür.

Tablo 3.1 Osmanlı Dönemi Kubbeli Yapıların Tipolojik Şeması

Kubbe Sayısına Göre Yapılar	Plan Şeması	Yapı Türleri
Tek Kubbeli Yapılar		<ul style="list-style-type: none"> • Camiler • Türbeler
Eş Büyüklükte Çok Kubbeli Yapılar		<ul style="list-style-type: none"> • Ulucamiler
Eş Büyüklükte Olmayan Çok Kubbeli Yapılar		<ul style="list-style-type: none"> • Hamamlar • İmarethaneler • Ters “T” Tipi Planlı Camiler • Medreseler • Hanlar
Merkez Kubbeli Yapılar		<ul style="list-style-type: none"> • Sultan Camileri

3.1.1. Tek Kubbeli Yapılar

Erken Osmanlı döneminin temel mimari teması “tek kubbeli yapı” diye adlandırılan, üzeri kubbe ile örtülü dört köşe ve tek üniteli mekandır. Bunlar tek kubbeli camiler ve türbelerdir. Tek kubbeli erken dönem camileri, Türk kentinin mahalle üzerinde kurulu Müslüman toplumun güncel gereksinmesine yanıt veren, mahallenin çekirdeğini oluşturan yapılardır (Kuban 2007). Bu yapıların ibadet amacıyla kullanılan harime girilen genellikle tek ya da üç bölmeli, üzeri küçük kubbe veya tonozla örtülü, revaklı giriş bölümleri bulunmaktadır. Bir çok erken dönem camilerinin, giriş cephesinde harim duvarı uzatılarak giriş revaklarının yanları kapatılmıştır. Bu yapıların duvarları Bizans geleneğinde olduğu gibi, genellikle tuğla hatıllı kaba yonu taş ile örülmüştür. Kubbeleri ise, sonradan kurşunla değiştirilmiş olsa bile yine Bizans geleneğinde olduğu gibi kiremitle örtülmüştür. Tek kubbeli caminin dış görünüşü sade, şatafatlı cephe plastisitesinden uzak bir ifadeye sahiptir. Duvar cephesinin bütünlüğünü sadece küçük pencere boşlukları bozmaktadır. Ancak, bu pencere boşlukları duvarın masifliğini yumuşatacak boyutlarda ve biçimde değildir (Kuran 1964). Bu yapılarda, yarım küre tuğla kubbenin, kare duvarlardan kubbeye geçişin konstrüktif ögesi tromplar ve Türk üçgeni kuşaklardır. Erken dönem camilerine, Şekil 3.2’de, tek kubbeli Bursa Alaaddin Cami’sinin planı örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 3.3 Tek kubbeli Alaaddin Cami (Bursa) planı

Erken dönem tek kubbeli camilerine, İznik Hacı Özbek Cami'si, Bursa İbrahim Paşa Cami'si, Bursa Yiğit Köhne Cami'si, Edirne Kuşçu Doğan Cami'si, İznik Mahmut Çelebi Cami'si vb. örnek olarak verilebilir

Diğer yandan, tek kubbeli yapılardan olan türbeler, dörtgen planlı olduğu gibi, sekizgen planlı da olmaktadır. Osmanlı erken dönem türbeleri genellikle Bursa'da bulunmaktadır. Yıldırım Beyazıt Türbe'si, II. Murat Türbe'si, Cem Sultan Türbe'si, Şehzade Ahmet Türbe'si gibi erken dönem türbeleri, erken dönem camileri gibi, dörtgen plana sahiptir, duvarları ise almaşık düzendedir. Ancak, bu döneme ait Yeşil Türbe sekizgen plana sahip olup, duvarları çini kaplıdır.

Klasik döneme gelindiğinde ise, türbeler yine dörtgen ya da sekizgen plana sahip olmakla beraber, duvar kaplamaları genellikle mermer olmuştur. Bu türbelere, Kanuni Sultan Türbe'si, Haseki Hürrem Sultan Türbe'si, Sokollu Mehmet Paşa Türbe'si, I.Abdülhamit Türbe'si vb. örnek olarak verilebilir.

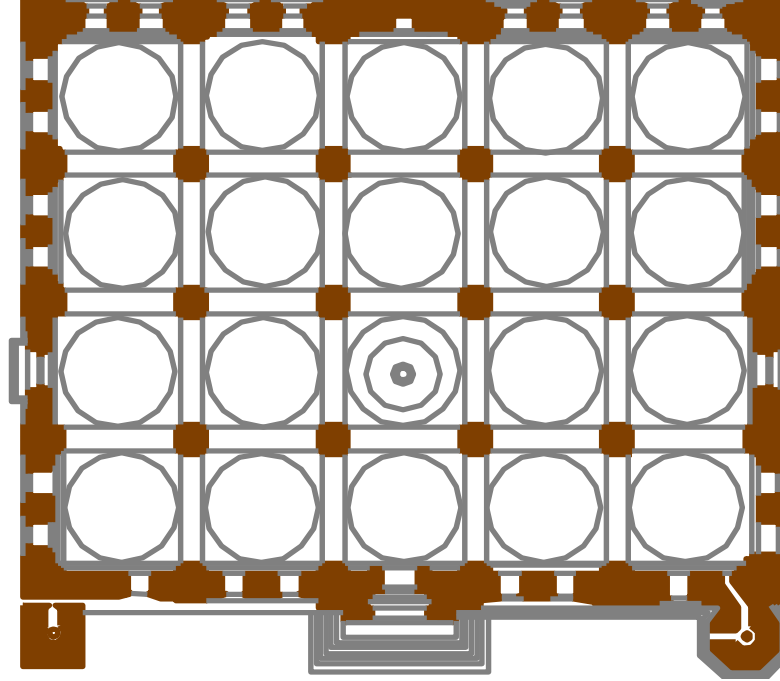
3.1.2. Çok Kubbeli Yapılar

Çok kubbeli yapılar, birden çok ünitesi, dolayısıyla birden çok kubbe modülü bulunan yapılardır. Bu yapıları eş büyüklükte birden çok kubbeli yapılar, eş büyüklükte olmayan birden çok kubbeli yapılar ve merkezi kubbeli çok üniteli yapılar olarak üç başlık altında değerlendirmek mümkündür (Kuran 1964).

3.1.3. Eş Büyüklükte Çok Kubbeli Yapılar

Bu yapılar, eş büyüklükteki kubbelerden oluşan ünitelerin, birer modül olarak tekrar edilmesi esasına dayanmaktadır. Kubbe modülleri eşit açıklığa sahip bulunmaktadır. Bu yapıların iç mekanı adeta bir sütun ormanını andırmaktadır. Bu yapıların en önemlileri ulucamilerdir. Bir başka deyişle, çarşı içinde yapılan bu büyük camilerin cuma camileri olarak düşünüldükleri söylenebilir (Kuban 2007). Ulucami tiplerinin Osmanlı dönemi erken örneklerinden en önemlisi, 1399 yılında yapılan Bursa Ulucami'sidir. Bursa Ulucami'nin, Şekil 3.3.'te çizilen planında görüldüğü gibi, eş büyüklükte 20 adet kubbeye sahiptir. Edirne Eski Cami'si, eş büyüklükte 9 adet

kubbeye, Filibe Ulucami'si, eş büyüklükte 2 adet kubbeye, Bursa Molla Fenari Cami'si, eş büyüklükte 9 adet kubbeye sahiptir.



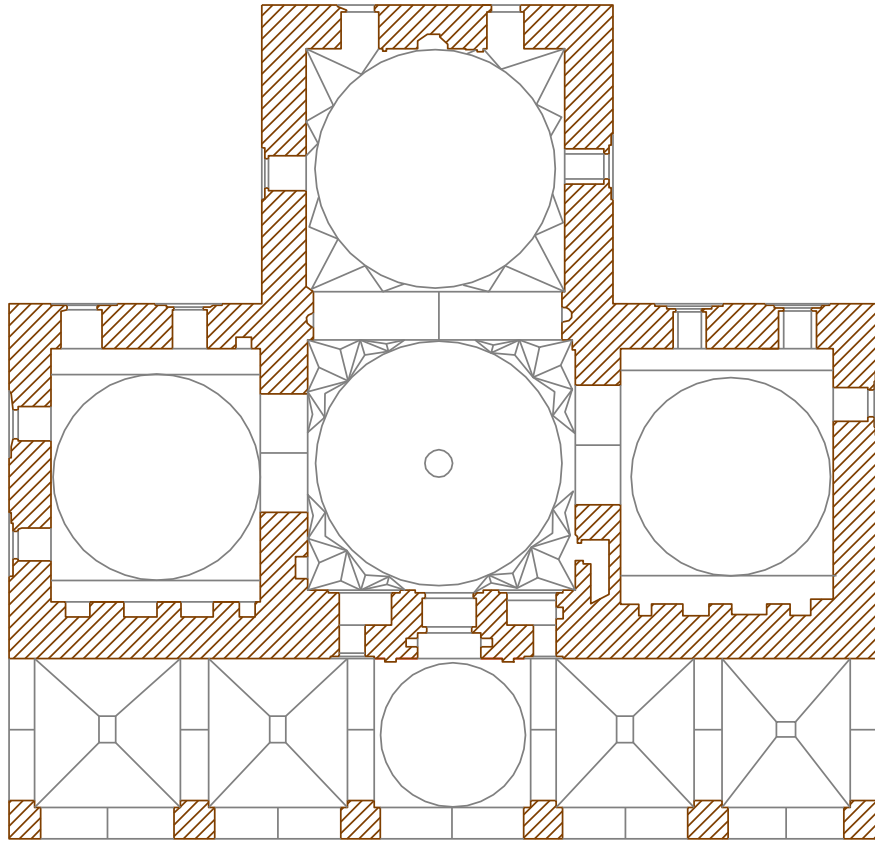
Şekil 3.4 Çok kubbeli ulucami (Bursa) planı

Benzer şekilde medrese yapılarında da, öğrenci odalarının ve avluya bakan revakların üzerindeki kubbeler eş büyüklüğe sahip olup, sadece sınıf olarak kullanılan mekan üzerinde bulunan tek kubbe, diğerlerine göre daha büyüktür. İznik Süleyman Paşa Medrese'sinin öğrenci odaları üzerinde eş büyüklükte 11 adet kubbe bulunmaktadır. Yine Edirne'de bulunan Beyazıt Medresesi öğrenci odalarının üzerinde ise 18 adet eş büyüklükte kubbeler bulunmaktadır.

Diğer yandan han, bedesten, çarşı gibi ticaret amacıyla kullanılan yapıların üst katlarında bulunan, konaklama veya perakende satış yapılan odaların üzerinde bulunan kubbelerle, bu yapıların avluya bakan revaklarının üzerindeki kubbeler de eş büyüklüktedir. Bursa Bedesteni 14 adet, Tire Bedesteni 8 adet, Edirne bedesteni 14 adet eş büyüklükte kubbeye sahiptir. Ayrıca birden çok mekana sahip, imarethane ve türbe yapılarında da eş büyüklükte kubbeler bulunmaktadır. Bilecik Orhan İmaretini aynı büyüklükte 2 adet kubbeye sahiptir. Yine Çorum Abdal Ata Türbesi, çapları 8.00 m; olan 2 adet eş büyüklükte kubbeye sahiptir.

3.1.4. Eş Büyüklükte Olmayan Çok Kubbeli Yapılar

Bu yapılar, birden çok üniteye sahip olmakla beraber, üniteleri birbirine eşit olmadığından, ünitelerin üzerini örten kubbelerinde birbirine eşit olmadığı çok kubbeli yapılardır. Bu yapıların en önemlileri hamamlar, imarethaneler ve Çizim 3.4.'da görülen Bursa Orhan Cami'si gibi, ters "T" planlı camilerdir.



Şekil 3.5 Ters "T" tipi plana sahip Orhan Cami (Bursa) planı

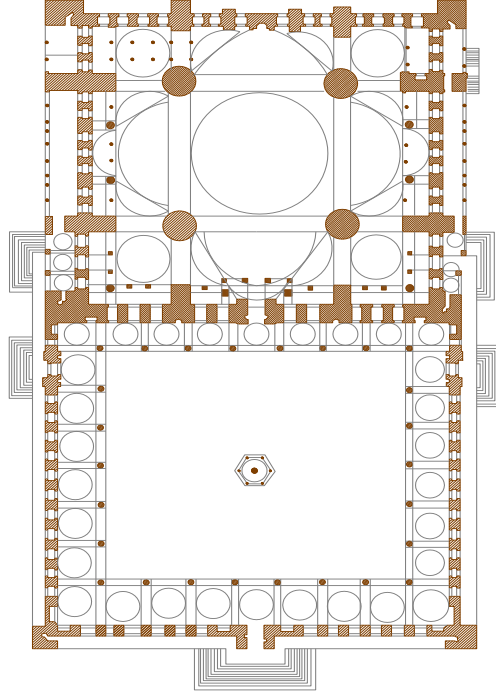
Özellikle, erken Osmanlı döneminde, gerek tek üniteli, gerekse çok üniteli yapıdan daha kompleks bir yapı tipi gelişmiştir. Bu yapılar Osmanlı mimarisinin öncül yapıları olan zaviyelerdir. Sultanlar tarafından yaptırılan, "imaret" adını taşıyan, daha çok törenle ibadeti birleştiren yapılardır (Kuban 2007). Bursa tipi cami, ya da ters "T" planlı yapı olarak adlandırılmaktadır. İki ya da daha çok fonksiyonlu kullanıma sahip olan bu yapılar, aynı zamanda dış kitle biçimi ve iç mekan oluşumu bakımından "çapraz mihrerli" yapı olarak ta adlandırılmaktadır (Kuran 1964). Bu yapılarda, genellikle eş olmayan büyük çift kubbeler bulunmaktadır. Bu yüzden bu yapılar, büyük çift kubbeli yapılar olarak da tanımlanabilir. Yapıdaki diğer kubbeler

ise, daha küçük boyuttadır. Ters “T” plana sahip bu yapılardan, Bursa Orhangazi Camisi, eş olmayan 4 adet kubbeye, İznik Nilüfer Hatun İmareti, eş olmayan 5 adet kubbeye, İznik Yakup Çelebi İmareti, eş olmayan 2 adet kubbeye, Bursa Yıldırım Camisi, eş olmayan 4 adet kubbeye, Edirne Muradiye Camisi, eş olmayan 4 adet kubbeye, Filibe Şehabettin Camisi eş olmayan 4 adet kubbeye sahiptir.

Diğer yandan, eş büyüklükte olmayan çok kubbeli yapılardan hamamlar, Türk kentini tanımlayan önemli yapılardır. Hamamlar, camilerden sonra gelen en etkili büyük mekanlardır (Kuban 2007). Kazan ve külhan dışında, hemen her mekanın üzerinde bir kubbe bulunmaktadır. Hamamlarda kullanılan mekanların büyüklükleri birbirinden farklı olduğundan, bu mekanların üzerini örten kubbeler de eş büyüklükte değildir. Hamamların en büyük ve görkemli kubbesi soyunmalık bölümündedir. Burada kullanılan kubbe, merkezi planlı mekanın en güzel örneklerindedir. Halvet gibi, birden çok bulunan küçük mekanların üzerinde ise, küçük kubbeler bulunmaktadır. Bursa Orhangazi Hamamı, farklı büyüklükte 11 adet kubbeye sahiptir. İstanbul Mahmut Paşa Hamamı, eş olmayan 10 adet tam, bir adet yarım kubbeye sahiptir. Yine Bursa Ördekli Hamamı, eş büyüklükte olmayan 11 adet tam, bir adet yarım kubbeye sahiptir.

3.1.5. Merkezi Kubbeli Çok Üniteli Yapılar

15. yüzyılın ortalarından itibaren birden çok üniteye sahip eş kubbeli yapı tipi yerini, “merkezi kubbeli” çok üniteli yapı tipine bırakmıştır. Klasik çağ ile birlikte gelişen bu yapı tipinin önemli yapıları camilerdir. Daha az taşıyıcı strüktürle, daha geniş ve görkemli kullanım alanı yaratma düşüncesi ile ortaya çıkmış olan bu mekanlarda, merkezi kubbelerin kemerlerine bağlanan yarım kubbeler bu düşüncenin gerçekleşmesine olanak sağlamıştır. Bu yapıların merkezi kubbe açıklıkları oldukça fazladır. Özellikle İstanbul’da ve Edirne’de yarım kubbe destekli, büyük açıklığa sahip merkezi kubbeli sultan camileri yapılmıştır. Şekil 3.6.’da, Sedefkar Mehmet Ağa tarafından yapılan merkezi kubbeye sahip İstanbul’da ki Sultan Ahmet Cami planı görülmektedir. Mimar Sinan tarafından yapılmış Süleymaniye Camisi, yine Mimar Sinan tarafından yapılan Edirne Selimiye Camisi bu dönemin önemli yapıları olmuştur



Şekil 3.6 Sultan Ahmet Cami (İstanbul) planı

3.2. Kubbeli Yapıların Hasar Nedenleri ve Biçimleri

Günümüzde restorasyon çalışması yapılan Osmanlı dönemine ait kubbeli anıtsal yapılarda var olan hasarların genel nedenleri:

- Zemin koşulları;
- Kötü malzeme kullanımı;
- İklimsel koşullar, hava ve trafik kirliliği;
- Yapının ilk tasarımından kaynaklanan, strüktür, malzeme ve işçilik hataları;
- Zamana ve kötü kullanıma bağlı olarak ortaya çıkan hasarlar ve aşınmalar;
- Kötü onarımlar;
- Yapının, zamanın fonksiyonel ihtiyaçlarına cevap verememesinden dolayı kullanılmaması ve bakımsız kalarak eskimesi;

- Terk edilmiş, kullanılmayan anıtsal yapıların taş ocağı gibi kullanılması, yapısal parçalarının ve malzemelerinin başka yapılara devşirme malzeme olarak taşınması sonucu, yapının tümünün ya da bir bölümünün yok olması;
- Yangınlar, deprem ve sel gibi doğal afetler;
- Eski dönemlerde meydana gelmiş savaşlar, toplumsal olaylar ve isyanlar neticesinde yıkılarak günümüze kalıntıları ulaşmış yapılarda var olan hasarlar olarak sıralanabilir.

Osmanlı dönemi anıtsal kubbeli yığma yapıların yapım birimlerinde; en genel anlamıyla var olan hasar biçimleri ve bu hasarların nedenleri ise aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Çelik 2007):

- **Sıvaların dökülmesi;** Zeminden kapiler etkilerle yığma duvarlar içerisine yükselen tuzlu su, duvar malzemesinin bünyesinde bulunan tuzların da çözülmesine neden olur, Kapiler etkilerle yükselen bu su duvar yüzeyinde buharlaşırken, bünyesindeki çözülmüş tuzlar kristalize olarak gerek malzeme boşluklarında gerekse sıva yüzeyinde birikerek tuz kusmalarına neden olurlar. Duvar içinde yükselen ve buharlaşan tuzlu su miktarına bağlı olarak zaman içerisinde kristalize olan tuzlar sıva içerisinde basıncın artmasına, sıvanın patlamasına yol açar.
- **Derzlerin boşalması;** Duvarlarda var olan derzler çevresel etkilere karşı korunmasız oldukları için, duvarın en zayıf bileşenini oluştururlar. Zaman içerisinde sürtünmelere, darbelere, rüzgarlara, su ve çeşitli kimyasallara maruz kalan duvar yüzeylerinde derzler aşınmaya başlar ve bir süre sonra tamamen boşalabilir. Derzlerin zarar görmesiyle duvarın bünyesine daha çok yabancı madde (su, asit vs) girerek duvarın içten içe zayıflamasına neden olur. Derz yapımında kullanılan harcın aşırı büzülerek çekilmesi, duvarın üzerine yapılan aşırı yüklemeler vb. nedenlerle de derzler zarar görebilir. Derz malzemesinin zarar görmesi temel olarak; donma-çözülme etkileri, asit yağmuru ve kimyasal etkiler, derz yüzeyinde nem değişimi ile tuzların kristalize olması gibi nedenlerle gerçekleşir.

- **Duvarlarda meydana gelen boşluklar;** Boşluklar genellikle yapısal sorunlardan, fiziksel ve kimyasal ya da bunların kombinasyonlarından oluşurlar.
- **Temelde çökme ve oturmalar;** Yığma duvar temelleri genellikle sürekli ya da kuyu tipi temel olarak inşa edilirdi. Sürekli temeller fazla derin olmayan, daha düzenli yapılardır. Kuyu tipi temellerde ise, taşıyıcı katmanın derinliği fazladır. Özellikle çok eski tarihi yapılarda birbirinden bağımsız olarak açılan geniş çaplı kuyular taş ve harç karışımıyla doldurularak daha sonra yarım daire kemerler ile birbirlerine bağlanırdı. Temellerde meydana gelen çökme oturmaların nedenleri (Çelik 2007);
 - Zeminin taşıma gücünün düşüklüğü
 - Zeminin yapısında zaman bağılı olarak gerçekleşen değişimler
 - Trafiğin neden olduğu titreşimlerin etkisi
 - Temele iletilen yüklerde artma (ilaveler veya kullanım amacının değişmesi)
 - Çevrede var olan diğer temel inşaatları.
- **Anıtsal yapıların duvar yüzeylerinde oluşan çatlaklar, bağlantısızlık ve ezilmeler;** Duvar üzerine etkiyen düşey yükler ve deprem hareketleri duvar üzerinde oluşabilecek mikro çatlakların hızla büyümesine neden olur. Yığma taşıyıcı sistemin tipinden kaynaklanabilecek hasarların yanı sıra ilave yükler, boşluklar ve oyuklar, kullanılan harçların yapısında meydana gelen bozulmalar duvar üzerinde hasarlara yol açabilmektedir. Duvarın yapısında kullanılan taş, tuğla vb. yapı malzemesinin düşük mekanik özelliklere sahip olması duvar üzerinde zaman içinde ezilmelere yol açabilir. Yukarıda özetlenen nedenlerden dolayı duvarlarda oluşan hasarlar en genel biçimde üçe ayrılabilir;
 - Düşey yüklerin artışı sonucu tuğlaların kırılması veya derzlerin ezilmesi, ufalanması

- Deprem etkileri nedeniyle düzlem içi ve dışı kuvvetler sonucunda çatlakların oluşması
 - Kesme kuvvetlerinin artması sonucu kayma çatlaklarının oluşması.
- **Kemer, kubbe ve tonozlarda çatlaklar ve bölgesel çökmeler;** Anıtsal yapı yığma duvarlarının basınç dayanımları olmasına karşın, donatı içermediklerinden çekme kuvvetleri altında herhangi bir dayanım göstermezler ve hasara uğrarlar. Bu nedenle eğilme etkisinde çalışacak döşeme, çatı vb. elemanlar kemer, kubbe ve tonoz gibi eğrisel elemanlar olarak tasarlanırlar. Böylece taşıyıcı eleman en kesiti içersinde çekme gerilmeleri sınırlandırılmış olur ve elemanlar basınca karşı çalıştırılır. Ancak simetrik olmayan yüklemeler, farklı oturmalar ve deprem etkileri taşıyıcı elemanlarda çekme gerilmelerinin artmasına ve yoğunlaşmasına neden olur. Çekme gerilmelerinin yoğunlaştığı yerlerde çekme gerilmelerine dik doğrultularda çatlaklar oluşur. Böylece yük aktarımının sürekliliği kaybolmuş olur ve bölgesel göçmeler, çatlamlar ve dökülmeler gözlenir. Özellikle taşıyıcı elemanda meydana gelecek oturma ve dönmeler oldukça tehlikelidir. Bu nedenle oluşan hasarlar kalıcı olmakla birlikte yapının o bölgede tamamen göçmesine neden olur. Kemer, kubbe ve tonozlarda karşılaşılan hasarların önemli bir başka nedeni de aşırı yüklemeler ve bağlayıcı olarak kullanılan harçların zayıf olmasıdır.
 - **Sıcaklık değişimlerinin etkileri;** İklim koşulları yapı üzerinde önemli hasarlara neden olabilmektedir. Özellikle gece-gündüz ısı farklılıklarının çok büyük olduğu karasal iklimlerde yapının taşıyıcı yığma elemanlarının içerisinde yer alabilecek ahşap ya da metal parçalar ısıl genleşme farklılıkları nedeniyle yığma elemanlarda çatlaklar oluşmasına neden olabilirler.
 - **Depreme karşı güçlendirme gereksinimi;** Deprem hareketleri sonucu oluşan çekme gerilmeleri yığma taşıyıcı elemanlar için oldukça zorlayıcıdır. Yığma yapı malzemelerinin çekme dayanımlarının ve sünekliklerinin çok düşük olması depremde hasar görmelerinin temel nedenlerindedir. Deprem yükleri altında yığma taşıyıcı elemanlar çatlama eğilimi gösterirler.

- **Aşırı yüklemeler;** Yapılan ilaveler ve yapıda zaman içerisinde yapılmış değişiklikler aşırı yüklenmeye neden olacağı için duvarlarda basınç gerilmelerinde ciddi artışlara neden olmaktadır. Duvar örgüsünde kullanılan harçların basınç dayanımlarının aşılması duvar üzerinde ezilmelere ve duvarlarda bölgesel göçmelere neden olur. Bazı durumlarda ise temellerde oturmalara ve buna bağlı olarak oluşacak çatlaklara rastlanmaktadır.
- **Geçiş elemanlarında, Bezemelerde, kalemışı süslemelerde, ve boyamalarda, kabarmalar ve düşme;** Horasan sıvanın aldığı rutubet nedeniyle, kalemışı ve bezeme örnekleri ile boyamaların yüzeyle birlikte tuzlanma tahribi sonucu kabarma, kopma, dökülmeler nedeniyle orijinalliklerini kaybettikleri görülmektedir.
- **Doğal taşların erezyonu ve kirlenmesi;** Donma-çözünme etkileri nedeni ile anıtsal yapı duvarlarında kullanılan doğal taşlar zaman içinde asit yağmurları vb. çevresel etkiler nedeni ile erozyona uğrayarak ciddi oranda zarar görürler. Bununla birlikte emici yapılarından dolayı atmosferdeki kirlilikten etkilenirler ve zamanla kararak estetik görünümelerini kaybederler.
- **Döşemelerde aşınma ve yıpranmalar;** Anıtsal yapıların zemin döşemelerinde sürekli kullanımdan dolayı aşınmalar ve yıpranmalar meydana gelmektedir. Zemin suyunun etkisiyle döşeme malzemelerinde çürümeler, yapıştırıcı malzemelerde çözülmelere ve kopmalara sıklıkla rastlanmaktadır.

Tez çalışması için, restorasyon çalışması yapan kurumlardan elde edilen, Osmanlı dönemi anıtsal kubbeli örnek yapıların rölöve ve restorasyon projeleri ile raporları incelenerek bu yapıların hasar durumları ile ilgili analiz çalışmaları yapılmıştır. Yapılan analiz çalışmalar sonucunda, bu yapıların yapım birimlerinde meydana gelen genel hasarları tespit edilmiştir. Bu hasarlar, kubbe hasarları, kasnak hasarları, beden duvarı hasarları, kemer ve döşeme hasarları olarak sınıflandırılmıştır. Yapım birimlerinde farklı nedenlerden dolayı oluşan bu genel hasarlar, aşağıda açıklandığı gibi sıralanmıştır:

3.2.1. Kubbe Hasarları:

Kubbe hasarları,

- Kubbe kurşunlarının zamanla eskimesi, altındaki çamur sıvanın dağılması;
- Kubbe üst örtü kiremitlerinin zamanla eskimesi, kırılması ya da yok olması;
- Kubbe tuğla kabukta, zemin ya da deprem yanal etkileri sonucu oluşan yatay veya düşey yapısal çatlaklar, yarıklar ve açılmış derz gibi boşlukların bulunması;
- Kubbenin iç mekana bakan yüzeyinde, horasan iç sıvasının ve iç boyasının eskimesi, kubbeden sızan sularla veya horasan sıvanın aldığı nem nedeniyle sıvanın ve boyanın kabarması ya da dökülmesi;
- Kubbe iç yüzey sıvasının, kötü ve yanlış onarımlar sonucu özgün horasan sıva yerine çimento esaslı sıva ile yapılmış olması;
- Kubbe iç yüzeyinde bulunan kalem işi süslemelerin ve bezemelerin eskimesi, rutubet nedeniyle dökülmesi veya kopması;
- Kubbe kasnağının, önceki onarım çalışmalarında özgün geleneksel tuğla malzeme ile değil, betonarme olarak inşa edilmiş olması;
- Kubbe tuğla kabuğun, ilk tasarımındaki hatalarından dolayı, strüktürel olarak yetersiz kalması;
- Kubbe tuğla kabuğun kısmi ya da tamamen yıkık olarak nitelenebilir.

3.2.2. Kasnak Hasarları

Kasnak hasarları,

- Kasnağı taşıyan alt elemanlarda, zemin ve yanal etkiler sonucu meydana gelen bozulmalar nedeniyle kasnak duvarlarında yapısal çatlakların, yarıkların ve derz boşalmalarının oluşması
- Kasnak duvarlarının kısmi olarak veya tamamen yıkık olması

- Kasnak, sıva ya da almaşık duvar örgüsünün ve derzlerinin, önceki onarım çalışmalarında, özgün olmayan çimento esaslı malzemeler kullanılarak yapılmış olması
- Kasnak iç yüzey horasan sıvanın eskimesi, rutubet nedeniyle kabarması veya dökülmesi;
- Kasnak iç yüzey bezeme, süsleme ve boyalarının eskimesi ya da farklı nedenlerden dolayı dökülmesi veya kopması
- Kasnak, kirpi saçak ya da silme derzlerinin boşalması, orijinalliğini kaybetmesi, bir kısım parçalarının kopması veya tamamen yok olması
- Kasnak, alçı içlik ve dışlık pencereleri ile sövelerinin, kemer ve aynalarının, kırılması, dağılması, orijinalliğini yitirmesi veya yok olarak nitelenebilir.

3.2.3. Beden Duvarı Hasarları:

Beden duvarı hasarları,

- Beden duvarının taşıyıcı malzemelerinde meydana gelen bozulmalar sonucu duvarın taşıma gücünün azalması veya ilk tasarımdan gelen hatalar sonucu duvarın taşıma gücünün yetersiz olması;
- Beden duvarlarında, zemin ve deprem etkileri sonucu yatay ve düşey çatlakların, yarıkların ve boşlukların oluşması;
- Beden duvarlarının kısmi ya da büyük oranda veya tamamen yıkık olması;
- Beden duvarlarının oturmalarından dolayı şekülünden kayarak yan yatması;
- Beden duvarı dış yüzey derzlerinin eskimesi ya da dökülmesi ile dış yüzey taşlarının erozyona uğraması ve kirlenmesi;
- Beden duvarı iç yüzey horasan sıvalarının ve üzerindeki boyanın eskimesi ya da rutubet nedeniyle dökülmesi;

- Beden duvarlarının üzerine ya da yüzeylerine sonradan ilave edilen asma kat, duvar ve diğer özgün olmayan eklemelerle duvarın tahrip olması, özgünlüğünü yitirmesi;
- Duvar üzerindeki kirpi saçak veya silmelerin, orijinalliğini kaybetmesi, kısmi olarak dökülmesi ya da tamamen yok olması;
- Beden duvarı üzerindeki pencere ve kapıların eskimesi, çürümesi, yok olması ile bunların üzerindeki söve ya da çıkıntı kemer ve kemer nişlerinin kırılması veya yok olması;
- Beden duvarı yüzeyinde bulunan pencerelerin önündeki demir korkuluk ve lokma parmaklıkların eskimesi, boyalarının orijinalliğini yitirmesi ya da tamamen yok olması;
- Daha önce yapılan onarım çalışmalarında, gerek duvarın dış yüzeyindeki derzlerin, gerekse iç yüzeyindeki sıvaların, özgünü dışında çimento esaslı malzemeler kullanılarak yapılmış olarak tanımlanabilir.

3.2.4. Kemer Hasarları

Kemer hasarları,

- Kemerlerde, taşıma gücü yetersizliğinden ve diğer nedenlerden dolayı çatlakların, yarıkların derz boşluklarının oluşması;
- Kemerlerin kısmen ya da büyük oranlarda veya tamamen yıkık olması;
- Kemer üzerindeki horasan sıvanın, kalem işi süslemelerin eskimiş olması ya da farklı nedenlerden dolayı orijinalliğini kaybetmiş olması, silinmesi veya dökülmesi;
- Kemer ile kasnak birleşimlerinde bulunan mukarnas, Türk üçgeni, tromb, pandantif gibi bezemeler ile malakari çıkıntıların eskimiş, kopmuş, orijinalliğini yitirmiş olması.
- Daha önceki dönemlerde yapılan yanlış onarım çalışmalarında, özellikle kemer sıvalarının çimento esaslı malzemelerle yapılmış olmasıdır.

3.2.5. Döşeme Hasarları

Döşeme hasarları,

- Döşeme kaplamalarında, yıllar boyu kullanımdan kaynaklanan yıpranmalar, aşınmalar, deformasyonlar ve döşeme malzemesinde zamanla oluşan renk değişimleri;
- Döşeme kaplamalarının zemin suyunun etkisiyle kısmen veya tamamen çürümesi;
- Önceki onarımlarda, özgün malzeme yerine farklı malzemelerin döşeme amaçlı kullanılmış olması;
- Döşeme altında farklı amaçlar için bırakılmış boşluklarda oluşan hasarlar olarak sıralanabilir.

İncelenen örnek yapıların hasar biçimlerine karşı yapılan restorasyon müdahalelerinde ise;

- Koruyucu ve önleyici bakım-onarım ve temizlik çalışmaları
- Eskiye ve fonksiyonunu kaybetmiş yapı malzemelerinin yenilenmesi
- Sağlamlaştırma ve güçlendirme
- Tamamlama
- Yeniden yapım olmak üzere beş temel restorasyon yöntemi kullanılmıştır.

Sonuç olarak yapılarda hasarın nitelik ve niceliğine göre farklı yöntemler geliştirilmiş ve geliştirilen bu yöntemler uygulanmaktadır. Hasar biçimleri ile bu hasarlara karşı yapılan restorasyon müdahale onarım ve güçlendirme teknikleri Tablo 3.2.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hiç şüphesiz ki tüm diğer inşai faaliyetlerde olduğu gibi restorasyon işlerinde de kullanılan teknoloji ve yöntemlerin seçimini etkileyen faktörlerden birisi de maliyettir. Ama restorasyonun temel mantığında eskiye ulaşmak veya eskiyi mümkün olduğunca benzetmek hedefi olduğu için kullanılan yöntem ve teknikler arasında ki fark diğer inşaat faaliyetlerine göre göreceli olarak daha mütevazı boyuttadır.

Tablo 3.2 Hasar Biçimleri ve Restorasyon Müdahale Teknikleri

Hasar Biçimleri	Restorasyon Müdahale Teknikleri
Doğal taşların erozyonu	• Donma-Çözünme etkilerine karşı koruma
Doğal taşların kirlenmesi	• Temizlik ve kirlenmelere karşı yüzey koruma
Kaplamalarda ve boyamalarda kabarmalar ve düşme	• Yüzey düzeltme ve boyanın yeniden yapılması
Kubbe; kurşun ve kiremitlerinin eskimesi, yıpranması, kırılması	• Kubbe; kurşun ve kiremitlerinin özgün malzemeleri ile yenilenmesi
Sıvaların dökülmesi • Az nem olması • Fazla nem ve tuz olması	Sıvaların yenilenmesi • Kireç esaslı sıvalar ile sıvama • Özel nem alma ve tuz giderme sıvalar ile sıvama
Duvar malzemesindeki boşluklar	• Birleştirme ve ayrılmalar, noktasal müdahaleler, çürütmeler ve duvar örülmesi
Temelde çökme ve oturmalar	• Temel altı ve duvar altı müdahaleler
Duvar yüzey hasarları • Yerel boşluklar ve bağlantısızlıklar, yerel ezilmeler • Aşırı derecede bağlantısızlıklar ve ezilmeler, yatay veya diyagonal çatlaklar, yatay deprem yükleri	• Özgün malzeme ile dikiş • Enjeksiyonla dayanımın geri kazandırılması • Karbon çubuk ve şeritler kullanılarak dayanımın artırılması • Dayanımın ve sünekliğin derz aralarına karbon çubuklar kullanılarak artırılması • Dıştan karbon ya da cam lifli polimer kumaşlar ile sargılama
Duvar, Kemer, Kubbe ve Tonozlar • Simetrik olmayan yüklerden dolayı oluşan çatlaklar, kemer, kubbe ve tonozlarda göçme riski, • Farklı oturmalar, deprem etkileri. • Yapının kullanım amacının değişmesi	• Dayanımın ve sünekliğin dıştan karbon ya da cam lifi polimer kumaşlarla sargılama yapılarak artırılması, • Dayanımın ve sünekliğin karbon çubuk ve şeritlerle artırılması • Hasır donatı ile mantolama
Kemer, kubbe ve tonozlarda yatay kapanmalar	• Karbon çubuklarla iyileştirme, güçlendirme
Sıcaklık değişimleri	• Karbon ya da cam lifi polimer kumaşlarla sargılama • Karbon çubuklarla dikiş
Depreme karşı güçlendirme	• Enjeksiyon ile dayanımın geri kazanılması • Karbon çubuklar ile dayanımın artırılması • Dayanımın ve sünekliğin derz aralarına karbon çubuklar kullanılarak artırılması • Dıştan karbon ya da cam lifli polimer kumaş sargılama yapılarak dayanımın ve sünekliğin artırılması
Düşey yüklerde artma ve fonksiyon değişikliği	• Enjeksiyon ile onarım • Sütunların sargılanması • Karbon çubuk ve şeritler kullanılarak dayanımın ve sünekliğin sağlanması
Yapım birimlerinde varolan kısmen eksik kısımlar	• Eksik olan kısımların özgün malzeme ve özgün tekniklerle tamamlanması
Yapının çok harap durumda ya da tamamen yıkık olması	• Yapının tümüyle özgününe uygun biçimde yeniden yapılması

Ayrıca, tezde örnek veri olarak kullanılan, Bursa ve yakın çevresinde restorasyon çalışması yapan kurumlarca restorasyon uygulaması gerçekleştirilmiş ya da devam eden, Osmanlı dönemi kubbeli yapıların yukarıda belirtilen hasarları aşağıda şekiller vasıtasıyla açıklanmıştır.

İznik Şeyh Kutbeddin Camisi deprem etkileri, malzeme eskimesi, taşıma gücündeki yetersizlik vb. nedenlerden dolayı yıkılmış, yapıdan geriye sadece bir parça duvar ve minare kalıntısı kalmıştır (Şekil 3.7). Cami, rekonstruksiyon yöntemi kullanılarak ayağa kaldırılmıştır.



Şekil 3.7 Şeyh Kutbeddin Cami'si beden duvarı ve minare kalıntıları

Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Camisi, 1999 yılında meydana gelen Marmara depreminde, yanal etkilere karşı koyamayarak kubbe ve kasnak kısmı tamamen yıkılmıştır. Bu yapının beden duvarları ve iç kemerlerinde de ciddi hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 3.8). Yapının, kubbe ve kasnak gibi tamamen yıkılmış yapı birimleri yeniden yapım yöntemiyle ayağa kaldırılmıştır. Beden duvarı, kemer ve döşeme gibi yapı birimlerinde, sağlamlaştırma çalışmalarının yanı sıra, kısmi tamamlamalar ve çürütmeler yapılarak yapı kullanılır hale getirilmiştir.



Şekil 3.8 Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si restorasyon öncesi kalıntıları

Bursa Kayıhan Hamamı'nın, temelinde meydana gelen oturmalar ve taşıma gücü yetersizliğinden dolayı kubbe, kasnak ve kemerde oluşmuş derin çatlaklar aşağıdaki resimde görülmektedir (Şekil 3.9). Burada, zemin için gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra, çatlaklar polimer karbon çubuklar ile dikilerek üzerine horasan harç ile sıva yapılmıştır.



Şekil 3.9 Kayıhan Hamamı kubbe, kasnak ve kemerde oluşan çatlaklar

Yine Kayıhan Hamamı'nın, kemer iç yüzünde taşıma gücü yetersizliğinden dolayı meydana gelmiş derin çatlaklar aşağıdaki resimde görülmektedir (Şekil 3.10). Burada, çatlağın boyutunun, derinliğinin ve diğer özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, öcelikli olarak yüzeydeki mevcut sıva raspa yapılmıştır. Bu işlemin ardından daha net biçimde ortaya çıkan çatlaklar ve yapım elemanı içerisindeki boşluklar, basınçlı enjeksiyon harçlar kullanılarak doldurulmuş, yapıştırma işleminin ardından, polimer karbon çubuklar kullanılarak dikiş işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10 Kayıhan Hamamı kemer iç yüzünde oluşmuş derin çatlaklar

Kayıhan Hamamı'na ait kubbede, polimer karbon çubuklar kullanılarak yapılan dikiş işlemi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu işlem aynı zamanda, yapım elemanında dayanımın ve sünekliliğin artmasına da yardımcı olmaktadır. Ayrıca, yine dayanımın ve sünekliliğin artırılması amacıyla kubbe, kasnak ve kemerlerde yapılan karbon polimer kumaşlarla sargılama işlemi şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Kayihan Hamamı, kubbede polimer karbon çubuklarla dikiş yapılması



Şekil 3.12 Kayihan Hamamı, kasnak ve kemerlerde karbon polimer kumaşlarla sargı yapılması

İncirli Hamamı'nın kasnak ve beden duvarları üzerinde, bakımsızlık ve dış etkilerden kaynaklanan bozulmaları, horasan sıva üzerine yapılan çimento esaslı sıvalardaki dökülmeler, beden duvarı üzerinde oluşan derz ve malzeme boşalmaları

ile bu boşlukların gelişigüzel doldurulması, saçaklardaki dökülmeler ve bozulmalar, kemerli pencerelerin bakımsızlıktan dolayı eskimesi gibi hasarlar Şekil 3.13’de görülmektedir.



Şekil 3.13 İncirli Hamamı kubbe, kasnak ve beden duvarı yüzeyinde bakımsızlık sonucu oluşmuş bozulmalar

İncirli Hamamı'nın kubbe, kasnak ve kemer iç yüzeylerinde rutubet ve bakımsızlıktan dolayı meydana gelmiş sıva kabarmaları ve dökülmeleri Şekil 3.14’de görülmektedir.



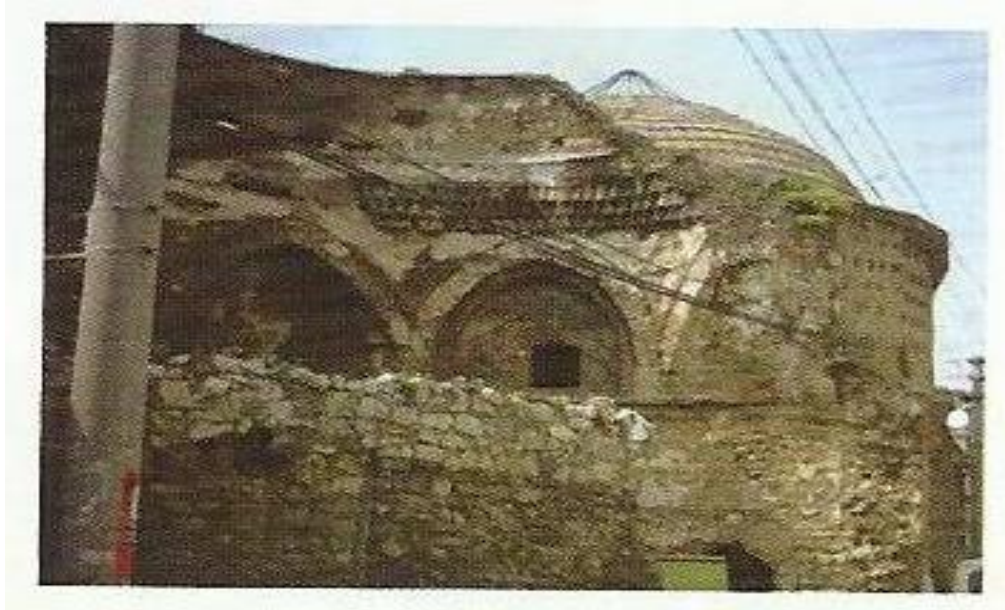
Şekil 3.14 İncirli Hamamı kubbe, kasnak ve kemer sıvalarında meydana gelen kabarma ve dökülmeler

İncirli Hamamı, alçı bezemelerinde meydana gelmiş kabarmalar ve sıva dökülmeleri Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15 İncirli Hamamı alçı bezemelerinde oluşmuş kabarma ve sıva dökülmeleri

Ördekli Hamamı, zemin ve deprem etkileri sonucu çöken kubbesi ile kemer ve mukarnaslardaki tuğla erimeleri ve sıva dökülmeleri Şekil 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.16 Ördekli Hamamı çöken kubbesi ile kemer ve mukarnaslarda oluşan bozulmalar sıva dökülmeleri

Ördekli Hamamı, dış duvar taş ve tuğlalarındaki kopmalar ile duvar dış kabuğunun, özgününe uygun taş ve tuğla tekniğiyle örülerek yenilenmesi işlemi Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.17 Ördekli Hamamı dış kabuk sistemdeki kopmalar ve yüzey yenilemeleri

Şehzade Ahmet türbesi zemininde meydana gelmiş taban tuğlası kopmaları ve bozulmaları Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.18 Şehzade Ahmet Türbesi taban tuğlalarındaki kopmalar ve bozulmalar

II. Murat Türbesi pencere üstü kemerlerinde, çimento esaslı harç ile yapılmış derzler ve cephe dış yüzey boyasındaki kopmalar Şekil 3.19’da görülmektedir.



Şekil 3.19 II. Murat Türbesi pencere üstü kemerlerde çimento esaslı derzler ile dış boyanın dökülmesi

Ebe Kadın Türbesi, kubbe ve kemerlerde meydana gelen çatlaklar Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20 Ebe Kadın Türbesi kubbe ve kemerde meydana gelmiş çatlaklar

4. MALİYET VE MALİYET TAHMİNİ

4.1. Yapı Maliyeti

Maliyet, en genel anlamıyla bir ürünün ortaya çıkması için yapılan harcamaların tümünü ifade etmektedir. Yapı maliyeti ise, yapı ihtiyacının ortaya çıkması ile başlayan, yapının gerçekleştirilmesi sürecindeki harcamaların toplamı olarak değerlendirilmektedir (Akınbingöl ve Gültekin 2005). Bir yapının ya da komplike bir yapım projesinin gerçekleşmesinin, büyük değerlerle ifade edilen maliyetleri bulunmaktadır. Genel ifade ile bir yapı meydana getirmek pahalı bir iştir. Yatırım kaynaklarının kısıtlı ve insan ihtiyaçlarının da sonsuz olduğu göz önüne alındığında, maliyetlerin çok titiz çalışmalarla belirlenmesi, planlanması ve kontrol edilmesi gerekmektedir (Uğur 2007). Yapı maliyeti kavramını, gerçek anlamıyla yapının yapılacağı arsanın ediniminden başlayarak alt yapı çalışmaları, yapının inşası, kullanımı ve kullanım sonrası yıkılmasını da içine alan süre içerisinde oluşan tüm maliyetler olarak tanımlamak gerekmektedir.

Yapı maliyetini, ilk yatırım dönemi maliyeti, kullanım dönemi maliyeti ve yıkım-yok etme dönemi maliyeti olmak üzere üç ana dönemde incelemek de mümkündür. İlk yatırım maliyeti; ön hazırlık döneminden başlayarak kullanım dönemine kadar geçen süreçteki maliyetleri (Yapının gerçekleştirilme maliyeti), kullanım maliyeti; binanın amacı doğrultusunda kullanımı ile oluşan maliyetleri kapsamaktadır. Yıkım ya da yok olma maliyeti ise; geçici kullanımı söz konusu olan ya da ömrünü tamamlamış binaların yıkımı ile ilgili maliyetler toplamını kapsamaktadır (Akınbingöl ve Gültekin 2005). Ancak yapı maliyeti kavramı, tek ve mimari yapılara yönelikmiş gibi görüldüğünden terminolojik ifade açısından bir kargaşa yaratmaktadır.

Almanya'da, yapı maliyeti konusunda benzer şekilde ortaya çıkan, terminolojik kargaşanın etkisi sonucu, 1971 yılının eylül ayından itibaren, DIN 276

(Deutsches Institut für Normung) içindeki yapı maliyeti kavramı artık kullanılmamaktadır. Bunun yerine, DIN 276'ya, "II. Hesaplama düzeni" (II. BV) adı altında yeni bir yapı maliyeti çalışma yönetmeliği eklenmiştir (Möller 2007). Buna uygun olarak, yapı maliyetini oluşturan tüm maliyet birimleri alt alta sıralanmıştır. Oluşturulan alt maliyet birimlerine, 100'den, 700'e kadar numaralar verilerek bir kod sistemi meydana getirilmiştir. Buna göre, Almanya'da yapı maliyetini oluşturan alt maliyet birimleri ile kod numaraları aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Sommer 2009):

- 100 Arsa alım maliyeti, ödenen kredi faizleri, komisyon, vergi ve harç ücretleri
- 200 Arsanın oluşması için gerekli alt yapı maliyetleri (Yol, elektrik, su, gaz, kanalizasyon sistemlerinin yapılması)
- 300 Yapı konstrüksiyon maliyeti (Taşıyıcı sistem, iç ve dış duvarlar, şap, sıva işleri ile çatı imalatının maliyeti)
- 400 Yapı teknik tesisler maliyeti (Aydınlatma, asansör, ısıtma, pis ve temiz su tesisatı,)
- 500 Dış tesisler maliyeti (Çevre düzeni, su arıtma ve güneş enerjisi sistemleri)
- 600 Kalite düzeyine göre, ince işlerin maliyeti (İç kapılar, pencereler, yer döşemeleri, yer ve duvar fayansları, cephe kaplamaları, boya gibi). Ayrıca, kamu yapılarında maliyetin % 1' i nispetinde bir harcama ile, yapının dışında ya da yapı içinde yapılması zorunlu heykel, resim gibi sanatsal yapıtların maliyeti
- 700 Yapı yan maliyetleri (Projeler, analizler, danışmanlıklar, kontrollükler, ödenen harç ve vergiler)

Görüldüğü gibi, Almanya'da yapı maliyetleri yedi ayrı alt gruba ayrılmıştır. Burada, her maliyet grubu da kendi içinde alt maliyet gruplarına ayrılarak detaylı maliyet hesabı yapılabilmesine olanak veren bir sistem geliştirilmiştir. Ancak, burada kullanılan yapı maliyeti kavramı, terminolojik ifade açısından, tek ve sadece mimari yapılara yönelikmiş gibi görüldüğünden, 2005 yılının ağustos ayında uzmanlar tarafından bu konuda hazırlanan raporların Alman kamuoyunda tartışılması sonucu, yapı maliyeti kavramının adı (Baukosten), yapı işlerinin maliyeti olarak değiştirilmiştir (Bauwesen). Böylelikle, yeni oluşturulan yapı işleri maliyeti kavramı adı altında (DIN 276-1), baraj, yol, köprü, restorasyon çalışmaları gibi, mühendislik,

trafik ve eski yapı onarım çalışmalarının yapı maliyeti hesaplamalarında, yukarıda açıklanan maliyet gruplarının kullanılması sağlanmıştır (Möller 2007).

4.2. Yapı İnşaat Maliyetleri

Bir yapının, tasarım ve üretim sürecindeki en önemli değer ölçütü maliyettir. Yapı inşaat maliyeti; bir yapım eyleminde yapım için kullanılan imalat miktarı ile o imalat için belirlenen fiyatın çarpımıyla oluşan kalemlerin toplamı olarak tanımlanmaktadır (Uğur 2007). Yapı inşaat maliyetlerini yeni yapım inşaat maliyetleri, restorasyon yapım inşaat maliyetleri olmak üzere temelde ikiye ayırmak gerekmektedir. Yeni yapıyı ihtiyaç duyulan gereksinimlere cevap vermek amacıyla, günümüzde üretilen her türlü yapı olarak ifade etmek mümkündür. Yeni yapılar, başta konut yapıları olmak üzere ticari yapılar, sanayi yapıları, turizm yapıları, eğitim yapıları, köprü, liman ve baraj gibi su yapıları, arıtma tesisi, kanalizasyon, doğalgaz, su, yol gibi alt yapı tesisleridir.

Restorasyon inşaat maliyeti ise; tarihi bir yapının günümüzdeki mevcut haline, önceden belirlenen restorasyon yöntem ve tekniklerine uygun olarak yapılacak müdahale iş kalemleri miktarının, o müdahale iş kalemleri için tespit edilen birim fiyat ile çarpımıyla oluşan müdahale maliyet kalemlerinin toplamıdır. Yeni yapımda, yapıyı oluşturan tüm iş kalemlerinin miktarı hesaplanırken, restorasyon inşaatında sadece müdahale edilecek kısımların miktarları hesaplanmaktadır. Restorasyon inşaatında, müdahale edilen iş kalemleri aynı zamanda onarımı yapılan tarihi yapının hasar miktarlarıdır.

Gerek yeni yapım, gerekse restorasyon yapım çalışmalarının, yapı inşaat maliyet hesaplarını belirlemek için kullanılan kamu sektörü fiyat klavuzları bulunmaktadır. Yeni yapıya yönelik inşaatlarda; T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (yeni adı “Çevre ve Şehircilik Bakanlığı”), DSİ ve Karayolları’na ait veri tabanları, İnşaat Birim Fiyat Analizleri kullanılmaktadır. Yapının projesi üzerinden çıkartılan metrajlar, uygulama projesi evresine yönelik olarak hazırlanmış olan birim fiyat analiz klavuzunda, o imalat için belirlenen birim fiyatlarla çarpılarak, yapı inşaat yaklaşık maliyetleri elde edilmektedir.

Restorasyon yapım çalışmalarında ise, restorasyon inşaat maliyetlerini belirlemek için, T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne ait Eski Eser Birim Fiyatları Klavuzu kullanılmaktadır. Burada, restorasyon müdahale projelerinden elde edilen müdahale kalemlerinin miktarları, birim fiyat klavuzunda o müdahale kalemi için belirlenen birim fiyatlarla çarpılarak, restorasyon inşaat yaklaşık maliyetleri hesaplanmaktadır.

Ancak restorasyon çalışmasında yapılacak imalat, özgün nitelikte ve karmaşık bir yapıya sahip olmasından dolayı yaklaşık restorasyon inşaat maliyeti diğer yöntemlerle belirlenemiyor ise, pazarlık usulüne gidilmektedir (K.V.Koruma Kanunu 25. madde, 1/c). Birim ölçü fiyatı üzerinden ya da imalatın tümü üzerinden yapılan pazarlık sonucu özgün imalatın maliyeti tespit edilmektedir. Restorasyonda bu tür imalatlar, o konuda uzman olan kişiler tarafından gerçekleştirilmektedir.

Yeni bir yapıyı meydana getiren elemanların, ya da bir restorasyon çalışmasında, anıtsal yapının onarımı için yapılacak müdahalenin müdahale kalemlerinin ayrı ayrı ölçülerek, uzunlukların metre, alanların metrekare, hacimlerin metreküp ve ağırlıkların kg ya da ton olarak miktarlarının bulunmasına metraj (ölçümleme) denilmektedir. Ülkemizde ağırlıklı olarak kullanılan metraja dayalı yapı inşaat maliyeti hesaplarında, bulunacak maliyetin gerçeği yansıtması, metrajın doğru yapılması ile doğrudan ilişkili bulunmaktadır (Pancarlı vd. 2009). Mevcut ihale kanununa göre, yeni yapıların anahtar teslimi ihale sisteminde, hesaplanan yapı yaklaşık maliyetlerinin belirlenenden en fazla % 10 oranında, teklif birim fiyatlı ihale sisteminde ise, belirlenenden en fazla % 20 oranında bir maliyet artışıyla inşaatın tamamlanmasına izin verilmektedir. Buradaki izin verilen maliyet artış oranları göz önüne alındığında, uygulama projesi aşamasında yapılan yaklaşık maliyet hesaplarının doğruya yakın değerler verdiğini görmekteyiz. Bunda en önemli etken, bilinen değerlerin fazla olması, ayrıca yapıda kullanılan yapı elemanlarının iyi bilinmesi ve bu konuda uzmanlaşmış insanlar tarafından çıkartılan metrajların doğruya yakın değerler vermesidir.

Restorasyon inşaatlarında ise; anahtar teslimi ihale sistemi yerine, teklif birim fiyat yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde, yapılacak olan imalatın birim fiyatı üzerinden teklifler alınmaktadır. Bu yolla elde edilen teklif birim fiyatların, bilinen

kısımlardan çıkartılan metrajların çarpımı ile oluşan yaklaşık maliyet değeri üzerinden restorasyon yapımı ihale edilmektedir. Ancak, mevcut ihale kanununa göre, restorasyon yapım çalışmalarında metraja uygun olarak hesaplanan yaklaşık restorasyon inşaat maliyetlerinin, belirlenenden % 50 oranında bir artışla yapımın tamamlanmasına izin verilmektedir. İzin verilen maliyet artış oranı yeni yapımlarda izin verilen artış oranlarına göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni; restorasyon inşaat maliyeti hesap ve tahminlerinde yapılan hatalardır. Hataların nedeni olarak, öngörülemeyenler ile, imalatların özgün ve karmaşık bir yapıya sahip olması gösterilebileceği gibi, restorasyon inşaat yaklaşık maliyet hesaplarında kullanılan mevcut sistemlerin çoğu zaman gerçek maliyetleri yansıtmaması ve bu hesapların konusunda uzman olmayan kişiler tarafından yapılması da gösterilebilir. Hataların ortaya çıkmasına neden olan sorunlar, maliyet hesap ve tahmin sonuçlarının güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Bu sorunların kaynağı gözlemlere ve tecrübeye dayalı olarak aşağıdaki gibi çıkartılmıştır:

- Projenin kendine özgü olması, tip proje olmaması;
- Proje ve dokümanlardaki yetersizlikler;
- Maliyet tahmini yapılacak projeye ait yeterli bilgi olmaması;
- Ön görülemeyen maliyetlerin fazla olması;
- Maliyete esas özgün malzeme özelliklerinin bilinmemesi;
- Maliyet tahmini ile ilgili bilgi ve eğitim yetersizliği;
- Var olan birim fiyat verilerinin gerçeği yansıtmaması;
- Veri bankasının olmaması;
- Gelişmiş bilgisayar tabanlı maliyetlendirme sisteminin olmaması;
- Projeyi yönetenlerin maliyet yönetimi odaklı olmaması.

Sınırlı kaynakları olan her sektör gibi, inşaat sektöründe de ekonomiklik ürünün sahip olması gereken en önemli özelliklerden birisidir. Hedef, yapı üretiminde minimum maliyetle maksimum faydayı sağlamaktır (Bostancıoğlu 2006). Bu yüzden, gerek anıtsal yapı restorasyon çalışmalarında, gerekse yeni yapımlarda, yapı üretim sürecinde maliyete ilişkin tüm işlemlerde tahmin, planlama

ve kontrole yönelik sistemlerinin doğru bir şekilde kurulması, yapının planlanan zamanda ve ön görülen maliyetlerle tamamlanmasını sağlayacaktır (Polat 2005).

4.3. MALİYET HESAPLAMA SÜREÇLERİ

Yapı üretim sürecinin her aşamasında, maliyet ve maliyet planlaması için kullanılan maliyet hesaplama yöntemleri kullanım amaçları doğrultusunda farklılaşmaktadır. Bu aşamaları maliyet hesaplama süreçleri olarak tanımlamak mümkündür. Bu süreçler, aynı zamanda maliyet hesaplama türlerine de karşılık gelmektedir. Maliyet hesaplama türleri ağırlıklı olarak dört ana gruba ayrılmaktadır. Günümüzde sıkça kullanılan bu maliyet hesaplama türleri aşağıdaki gibidir (Möller 2007);

- Maliyet Tahmini;
- Yaklaşık Maliyet;
- Maliyetin Alınan Tekliflerle Belirlenmesi (Teklif Maliyeti);
- Kesin Maliyet (Gerçekleşen Maliyet).

Yukarıda belirtilen her maliyet türü bir maliyet hesaplama sürecine karşılık gelmektedir. Yapı maliyeti ve maliyet tahminine yönelik, gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde yapılan çalışmalar incelenerek proje safhalarına göre, maliyet hesap süreçleri ile her bir sürece karşılık gelen maliyet türleri Tablo 4.1' de çıkartılmıştır (Möller 2007):

Tablo 4.1 Proje safhalarına göre maliyet hesaplama süreçleri

SÜREÇ	DÖNEM	TÜRÜ
Maliyet Hesaplama süreci I	Tasarım Öncesi	Maliyet Tahmini
Maliyet Hesaplama süreci II	Ön Tasarım	Maliyet Planlaması
Maliyet Hesaplama süreci III	Tasarım Projesi	Yaklaşık Maliyet
Maliyet Hesaplama süreci IV	Uygulama Projesi	Teklif Maliyeti
Maliyet Hesaplama süreci V	Yapı Uygulaması	Kesin Maliyet

Tabloda da görüldüğü gibi, maliyet hesaplama süreçleri beş sınıfa ayrılmıştır. İlk iki süreç maliyet tahmini yapılmasına olanak verirken, diğer süreçler maliyetin daha net hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle ilk iki süreçte maliyet hesabı yapmak çok kolaydır. Çünkü maliyet verisini sağlayanlar, duruma göre ilişkilendirilen büyüklüğün; örneğin alanın nasıl hesaplanacağına ilişkin kuralları da getirmiştir (Bostancıoğlu 2006).

Maliyet Hesaplama Süreci I; Tasarım öncesi dönemde maliyet tahmini yapabilmek amacıyla kullanılır. Bu dönemde maliyet tahmini: toplam bina inşaat alanı ile, birim m² inşaat maliyetinin çarpılmasıyla elde edilir. Birim m² inşaat maliyeti olarak ise, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na (yeni adı "Çevre ve Şehircilik Bakanlığı"), ait yaklaşık m² birim maliyetler kullanılmaktadır. Bu evre, binaya yönelik tasarımın henüz yapılmadığı, ancak bazı temel bilgilerin mevcut olduğu evredir (Polat 2005). Proje hazırlanmadan veya proje hazırlığının ilk safhalarında yapının toplam inşaat alanı ve inşaatın niteliği ile ilgili bazı ön tespitler yapılarak ve bazı kabullere dayanarak yapı maliyeti tahmin edilebilir. Buradaki tahmini maliyet bedelinin gerçeği yansıtırma düzeyi, üretilecek yapının nitelikleri konusunda sahip olunan bilgilerin düzeyine bağlı bulunmaktadır (Pancarlı vd. 2009).

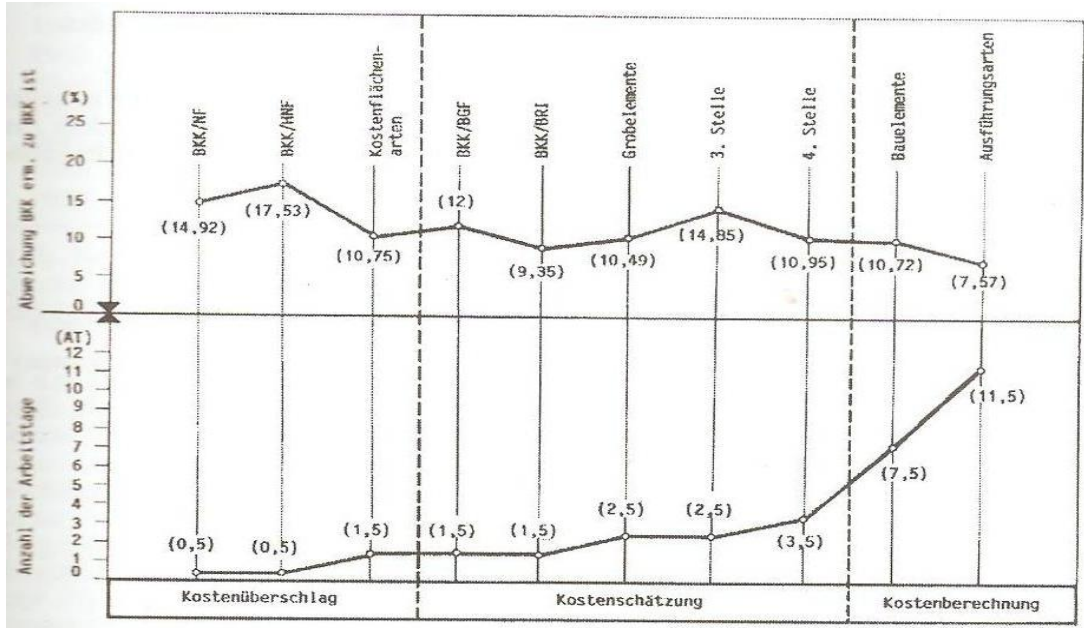
Maliyet Hesaplama Süreci II; Ön tasarım döneminde maliyet tahmini yapılabilmesi için kullanılır. Bu dönem, inşa edilecek binanın çeşitli özelliklerinin belirlendiği, bu özelliklere ilişkin kararların alındığı bir evre, yani bir planlama evresidir. Bu evrede maliyet tahmini, binanın gerçekleştirilebilmesi için gerekli sermayenin belirlenmesi veya eldeki sermaye ile hangi büyüklükte nasıl bir bina yapılacağına tespit edilmesi için yapılmaktadır. Bu aşamada, maliyet tahmini için gerekli olan gerçekleştirilecek binaya ilişkin veriler, büyüklük ve kat adedi gibi verilerdir (Bostancıoğlu 2006).

Maliyet Hesaplama Süreci III; Bu aşamada, bina mekanları ve ölçüleriyle kesinleşmeye başlamıştır. Bu süreçte yapıyı oluşturan elemanların miktarlarına göre, yapılacak yaklaşık maliyet hesapları daha doğru sonuçlar vereceğinden, binanın yapımı için gerekli sermaye daha doğru olarak hesaplanabilecektir (Bostancıoğlu 2006).

Maliyet Hesaplama Süreci IV; Bu süreç uygulama projesi aşamasına karşılık gelmektedir. Uygulama projesi evresinde; gerçekleştirilecek binaya ilişkin tüm kararlar verilmiş ve detaylar kesinleşmiştir. Uygulama projesine göre, yapıyı oluşturan tüm elemanların miktarı hesaplanır yani metrajlar çıkartılır. Çıkarılan elemanların miktarı her bir eleman için ön görülen birim fiyatlar ile çarpılır. Böylece, yapıdaki her bir elemanın maliyeti ve bu elemanların maliyetleri toplanarak yapı yaklaşık maliyeti hesaplanmış olur. Dolayısıyla bu sürecin iki elemanı bulunmaktadır. Birisi metrajın yapılması, diğeri ise, birim fiyatın belirlenmesidir. Ancak, önceden belirlenen birim fiyatlara göre hesaplanan maliyetin, piyasa koşulları ve yapımcıların kendilerine özgü bazı avantajlarının bulunması gibi özelliklerden dolayı farklılık yaratacağı muhakkaktır. Yapımın gerçekleştirilebilmesi için, metraj yoluyla çıkartılan gerçekleştirilecek yapıya ait eleman miktarları esas alınmak suretiyle, geçerli farklı yöntemler kullanılarak yapımcılardan teklif alınmak suretiyle yapının maliyeti belirlenmektedir. Bu yüzden, bu şekilde belirlenen maliyete, maliyetin alınan tekliflerle belirlenmesi ya da teklif maliyeti de denilmektedir (Möller 2008). Bu süreçte, gerçekleştirilecek binaya ilişkin mevcut veriler daha fazla olduğu için, tahmin edilen bina maliyetinin doğruluk oranı da oldukça yüksektir (Bostancıoğlu 2006)

Maliyet Hesaplama Süreci V; Yapının tamamlanması sürecidir. Burada, yapının gerçek ve kesin maliyeti yapı tamamlandıktan sonra ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte yapı maliyetinin belirlenmesinde iki yöntem uygulanmaktadır. Birinci yöntemde, yapının üretilmesi için yapılan tüm harcamalar muhasebe tekniğine göre kaydedilmekte ve inşaatın bitiminde yapılan harcamaların ulaştığı değer, yapının maliyet bedelini vermektedir. Diğer yöntemde ise, inşaat süresince gerçekleştirilen iş miktarları belirlenmekte ve bu miktarlar, söz konusu işler için ön görülmüş bulunan birim fiyatlar ile çarpılarak yapının kesin maliyet bedeli belirlenmektedir (Pancarıcı vd. 2009). Yapımın tamamlanmasından sonra yapı maliyetleri kesin olarak belirlendiğinden, maliyete ilişkin tüm veriler saklanarak bir veri tabanı oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu veri tabanlarının, yapımcının üstlendiği diğer benzer yapım projeleri ile karşılaştırmalar yapılarak, kolay ve gerçeğe yakın maliyet tahmin hesaplarının yapılmasında kullanabilmesi mümkündür.

Görüldüğü gibi, yukarıda açıklanan maliyet hesaplama süreci sınıf değerleri arttıkça, gerçekleştirilecek yapıya ilişkin mevcut veriler ile birlikte detaylı hesaplama düzeyi de artmaktadır. Buna paralel olarak hesaplanan yapım yaklaşık maliyetinin doğruluk oranı da aynı nispete yüksek çıkmaktadır. Dolayısıyla, detaylı hesaplama için harcanan enerji ile hesaplama işleminin süresi de artmaktadır. Ancak, maliyet hesaplama süreci sınıf değerleri azaldıkça, maliyet tahminleri için harcanan enerji ile hesaplama işleminin süresi de azalmaktadır. Bu şekilde yapılan maliyet tahminlerinin doğruluk düzeyi de aynı nispete azalmaktadır. Farklı maliyet hesaplama süreçlerinin, yapım maliyetlerinin hesaplanmasındaki doğruluk yüzdeleri ile, bu doğruluk oranlarına ulaşmak için harcanan zaman arasındaki ilişki, merkezi Aachen'de (Almanya) bulunan, yapı işleri ve uygulamaya yönelik yapı sorunları araştırma enstitüsü (Das Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadenforschung) tarafından (1990) yılında, “yapılarda maliyet hesaplama süreçlerinin yararlılığı ve harcanan zamanın tespiti” üzerine yapılan bir çalışma, Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

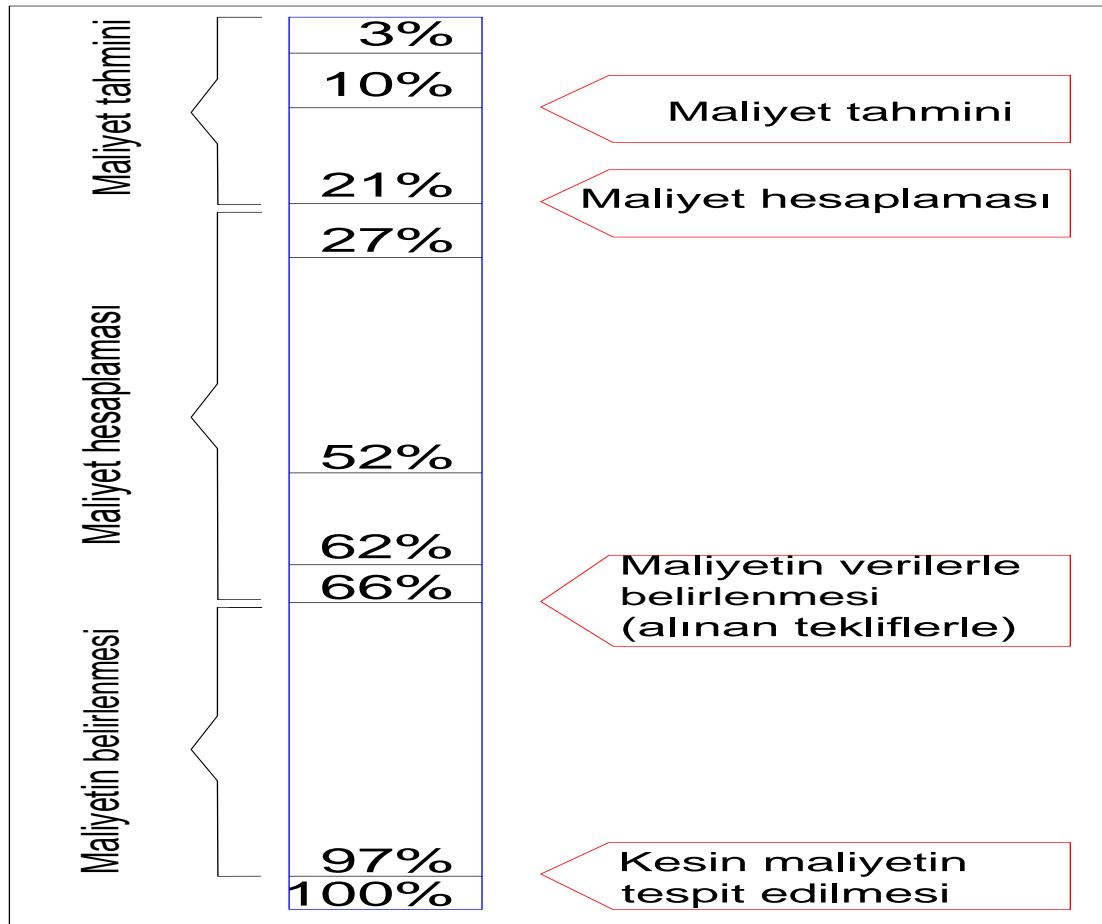


Şekil 4.1 Farklı maliyet hesaplama süreçlerinin doğruluk yüzdeleri ile harcanan zaman arasındaki ilişki

Şekilde de görüldüğü gibi, farklı maliyet hesaplama süreçleri kullanılarak, yapının yararlı alanına, brüt alanına, kaba elemanlarına, brüt kullanım alanına, brüt kaba alanına ve yapı elemanlarına göre yapılan farklı maliyet hesaplama türlerinin doğruluk düzeyleri, harcanan zaman ile karşılaştırılmıştır. Buna göre maliyet

tahmininde, % 9.35 ile % 14.95 arasındaki doğruluk düzeyine, 1.5 ile 3.5 gün arasında yapılan bir çalışma ile ulaşılmıştır. Maliyetin uygulama projesine (yapı elemanlarına) göre yapılan detaylı maliyet hesaplama çalışmasında; %7.5 ile %10.92 arasındaki doğruluk düzeyine, 7.5 ile 11.5 gün arasında yapılan bir çalışma ile ulaşılmıştır. Maliyetin, tasarım öncesi dönemde bilinen değerlere göre yapılan maliyet tahmini hesaplamasında ise, daha kısa süre harcanmış ancak tahminin doğruluk düzeyi değeri daha düşük çıkmıştır. Burada, % 10.75 ile % 17.53 arasındaki doğruluk düzeyine, 0.5 ile 1.5 gün arasında yapılan bir çalışma ile ulaşılmıştır.

Diğer yandan maliyet hesaplama süreçlerinin, proje çizim safhalarıyla da yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Her bir maliyet hesaplama süreci bir proje safhasına denk gelmektedir. Proje safhaları ile, buna karşılık gelen maliyet tahmin süreçleri ve maliyet türlerini Nedderman (1994), Şekil 4.2’de sunulan şema ile açıklamıştır.



Şekil 4.2 Nedderman'a (1994) göre proje safhalarındaki maliyet hesap düzeyleri

Almanya’da, kullanılan maliyet türleri ve maliyet hesaplama süreçleri, HOAI (Honorar Ordnung für Architekten und Ingenieure) sistemine göre belirlenen proje safhalarıyla ilişkilendirilmiştir. HOAI’ ye göre belirlenen proje safhalarına karşılık gelen, yukarıdaki şekilde belirtilen yüzde oranları aşağıdaki gibidir (Nedderman 1994).

Temel araştırmalar	% 3
Ön planlama	% 7
Tasarım planı	% 11
İzinlerin alınması	% 6
Uygulama projesi	% 25
Verilerin ön hazırlığı	% 10
Verilerin tekliflerle değerlendirilmesi	% 4
Mesleki Kontrollük	% 31
Dökümantasyon	% 3

4.4. Restorasyon Maliyetleri

Yapılan restorasyon çalışmalarının proje ve üretim sürecindeki en önemli değer ölçütü tüm projelerde olduğu gibi maliyettir. Maliyet en genel anlamıyla bir ürünün ortaya çıkması için harcanan tüm parasal giderlerin toplamıdır. Bu bağlamda restorasyon maliyeti, günümüze herhangi bir durumda ulaşmış bir anıtsal yapıya restorasyon kuram, ilke ve yöntemlerine uygun olarak yapılacak her türlü müdahale için gerekli harcamaların tümüdür. Bu maliyetler, restorasyon kararı alınmasıyla birlikte başlayan, restorasyon öncesi maliyetler ile restorasyon uygulaması aşamasında oluşan yapım maliyetlerini kapsamaktadır. Bunlar restorasyon çalışmasının gerçek maliyetleridir.

Restorasyonda maliyet temelde üç kısma ayrılır:

- i. Temizlik ve araştırma kazılarının maliyeti: Bu çalışmalar restorasyon kararı alınmasıyla birlikte rölöve öncesi gerçekleştirilen çalışmalardır. Bu şekilde, daha doğru belgeleme ve tespit çalışması yapılabilmektedir. Bu çalışma,

anıtsal yapının özgün halinin ortaya çıkartılmasına, konstrüksiyon ve strüktür yapısının daha iyi anlaşılmasına olanak tanıdığı gibi, aynı zamanda anıtsal yapının üstünde ve çevresinde zamanla oluşmuş, tarihi ve estetik değeri olmayan eklerin temizlenmesini, anıta zarar veren bitki ve ağaç köklerinden arındırılmasını sağlamaktadır;

- ii. Tasarım maliyeti: Tespit ve belgelemeye yönelik rölöve çizim, restitüsyon ve restorasyon proje ücretleridir. Malzeme analizleri için yapılan laboratuvar harcamaları, gerekli disiplinlerdeki bilimsel danışmanlık ve mesleki uygulama hizmetleri için ödenen ücretler bu maliyet kapsamındadır. Ülkemizde, tasarıma esas olan ücretler ve oranları TMMOB Mimarlar Odası tarafından belirlenmektedir;
- iii. Restorasyon inşaat maliyeti: İnşaat maliyeti, imalat ya da iş kalemleri miktarı ile, o imalat için belirlenen birim fiyatın çarpımıyla oluşan maliyet kalemlerinin toplamıdır. Restorasyon inşaat maliyeti ise, bir yapının günümüzdeki mevcut haline, belirlenen restorasyon yöntem ve tekniklerine uygun olarak yapılacak müdahale iş kalemleri miktarının o müdahale iş kalemleri için önceden tespit edilen birim fiyatın çarpımıyla oluşan müdahale maliyet kalemlerinin toplamıdır. Bu bağlamda, yeni bir inşaatta yapıyı oluşturan tüm iş kalemlerinin miktarları hesaplanır iken, restorasyon inşaatında, sadece müdahale edilecek kısımların miktarları hesaplanır. Restorasyonda müdahale iş kalemi miktarları aynı zamanda anıtsal yapının hasar miktarlarıdır.

Ülkemizde yapılan restorasyon çalışmalarında, gerçekleştirilmiş restorasyon çalışmalarının yapım maliyetleri incelendiğinde; bir tarihi anıtsal yapı restorasyon çalışmasına başlama kararının alınması ile birlikte, tarihi yapının onarımının tamamlanarak kullanılabilir hale gelmesine kadar geçen süreçte oluşan maliyet gider kalemlerinin 7 ayrı maliyet grubundan oluştuğu görülmektedir. Burada sözü edilen gider kalemleri aynı zamanda restorasyon çalışmasının gerçek maliyet gruplarıdır.

Bir restorasyon çalışmasında ortaya çıkan maliyet gider grupları analize dayalı olarak aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

1- TEMEL GİDERLER

- Araştırma kazıları
- Temizlik
- Rölöve, Restitüsyon ve restorasyon projeleri
- Malzeme analizleri
- Danışmanlıklar

2- YIKIM, SÖKÜM, RASPA, TEMİZLİK

3- RESTORASYON İNŞAAT MALİYETLERİ (VAKIFLAR BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BİRİM FİYATLARINA GÖRE)

- Malzeme
- İşçilik
- Nakliye
- Yan maliyetler
 - Bilinmeyenler, öngörülemeyen imalatlar
 - Şantiye giderleri
 - S.S.K. prim ödemeleri
 - Vergiler
 - Danışmanlıklar

4- ELEKTRİK TESİSATI

- Aydınlatma
- Işıklandırma
- Enerji tesisatı

5- DİĞER TESİSATLAR

- Pis su
- Temiz su
- Isıtma, klima
- Güvenlik
- Yangın tesisatı

- Paratoner
- Telefon ve İnternet tesisatı
- Asansör

6- DIŞ TESİSLER

- Otopark
- Kaldırım
- Giriş düzenleme
- Bitkilendirme
- Bahçe tanzimi
- Bahçe duvarları
- Duvar korkulukları
- Mutfak, wc, depo gibi yeni çağdaş eklentiler
- Diğer ilaveler

7- ALET VE TEFRİŞATLAR

- Mobilyalar
- TefriŐat elemanları
- Sabit elemanlar,
- Mekanik kaldırmaçlar
- Diğer alet ve makinelerden oluşmaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi, 7 adet gerçek maliyet gider grubu kendisini oluşturan alt maliyet gruplarına ayrılarak ayrılma düzeyleri oluşturmaktadır. Çünkü alt bileşenlerin maliyetlerinin toplamı o maliyet grubunun gerçek maliyetini vermektedir. Yukarıdaki sıralamada da görüleceği gibi, bir restorasyon çalışmasının inşaat maliyeti üçüncü grupta yer almaktadır. Bu grupta özellikle, yapım birimi alt bileşenlerine ait maliyetlerin toplanması ile yapım birimi maliyetleri, yapıda bulunan tüm yapım birimleri maliyetlerinin toplanması halinde ise, restorasyon inşaat maliyeti elde edilmektedir. Diğer maliyet gruplarında da aynı sistem söz konusudur. Maliyet gruplarının alt bileşenlerine ayrılma düzeyleri Şekil 4.3'de gösterilen ayrılma Şemasında açıklanmıştır (Nedderman 1994).

MALİYET GRUPLARI				
	MALİYET GRUPLARI "YATAY" HORIZONTAL			
AYRILMA DÜZEYİ 1	AYRIL. DÜZEYİ 2	AYRIL. DÜZEYİ 3	AYRIL. DÜZEYİ 4	AYRIL. DÜZEYİ 5
MALİYET GRUP 1				
MALİYET GRUP 2				
MALİYET GRUP 3				
MALİYET GRUP 4				
MALİYET GRUP 5				
MALİYET GRUP 6				
MALİYET GRUP 7				

Şekil 4.3 Maliyet gruplarının ayrılma şeması

MALİYET GRUBU 1; 1.0.0.0.0 Temel Giderler

MALİYET GRUBU 2; 2.0.0.0.0 Yıkım, Temizleme, Raspa, Kırma

MALİYET GRUBU 3; 3.0.0.0.0 Yapının Onarım İnşaat maliyeti

3.1.0.0.0 KUBBE (Konstrüksiyon maliyeti)

3.1.1.0.0 Kubbe iç horasan sıva

3.1.2.0.0 Kubbe eğrisel tuğla örgüsü

3.1.3.0.0 Kubbe kurşun altı çamur sıva

3.1.4.0.0 Kubbe kurşun altı ahşap latalar

3.1.5.0.0 Kubbe kurşun yada kiremit kaplama

3.2.0.0.0 KASNAK

3.3.0.0.0 BEDEN DUVARI

3.4.0.0.0 KEMER

3.5.0.0.0 DÖŞEME

3.6.0.0.0 MİNARELER (camilerde)

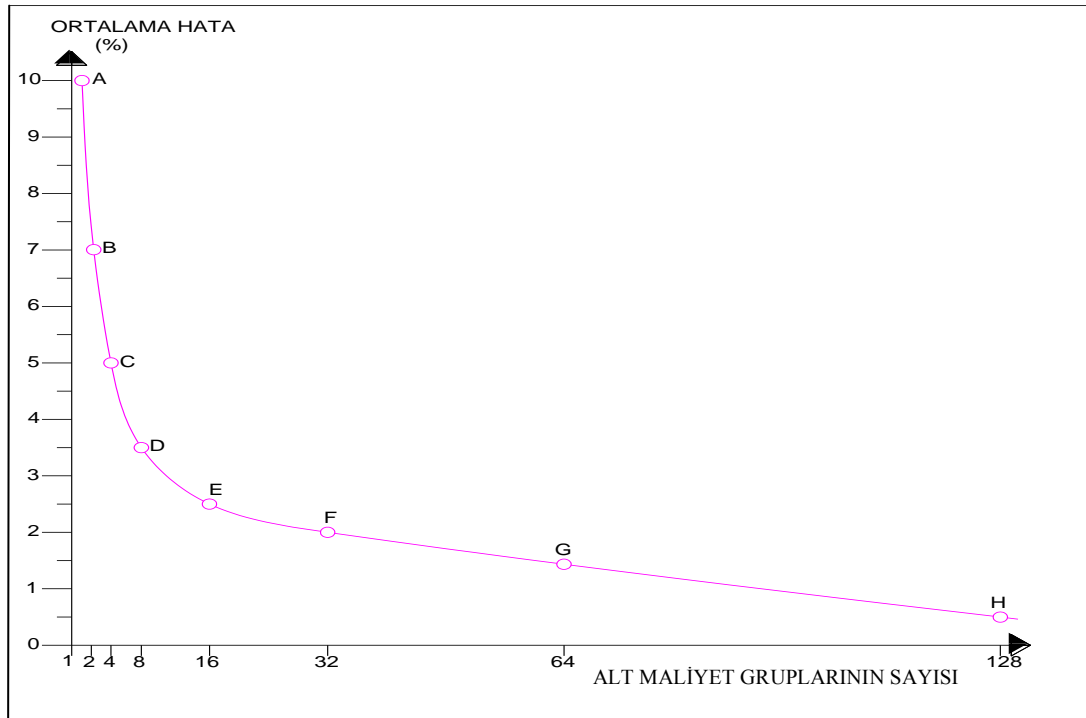
MALİYET GRUBU 4; 4.0.0.0.0 Elektrik Tesisatı Maliyeti

MALİYET GRUBU 5; 5.0.0.0.0 Diğer Tesisatların Maliyetleri

MALİYET GRUBU 6; 6.0.0.0.0 Dış Tesisler maliyeti

MALİYET GRUBU 7; 7.0.0.0.0 Alet ve tefrişatlar (Mobilyalar, sabit elemanlar).

Ayrılma şemasında da görüldüğü gibi, 7 temel maliyet grubu yatay olarak, kendisini oluşturan beş alt maliyet düzeyine ayrılmıştır. Tez konusu ile ilgili olduğundan, yukarıda sıralanan maliyet gruplarından, üçüncü maliyet grubu olarak gösterilen restorasyon inşaat maliyetini oluşturan kubbeli anıtsal yapı konstrüksiyonunun alt ayrılma düzeyleri örnek olarak gösterilmiştir. Burada ilk düzey yapının konstrüksiyonunu oluşturan temel maliyet birimidir. Diğer düzeyler ise, temel maliyet birimlerinin alt düzeyleridir. Her ayrılma düzeyi maliyet ve maliyet tahmini ile ilişkili olup, 1. ve 2. düzey ayrılmalar maliyet tahminine, 3. düzey ayrılma hem maliyet tahminine, hem de maliyetin daha net hesaplanmasına, 4. ve 5. düzey ayrılmalar ise, maliyetin kesin olarak tespit edilmesine olanak vermektedir. Görüldüğü gibi, temel yapı birimleri kendi alt maliyet birimlerine ne kadar çok ayrılırsa, maliyet hesaplamalarında o kadar az hata yapılmaktadır. Alt maliyet gruplarına ayrılma sayısının çoğalması ile, maliyet hesaplamalarında oluşan hata oranındaki azalma yüzdeleri Şekil 4.4’de açıklanmıştır (Nedderman 1994).



Şekil 4.4 Nedderman'a (1994) göre alt maliyet gruplarının sayısı ile maliyet hata bağlantısı

Restorasyon yapı maliyeti hesaplarında en zor nokta, restorasyonu yapılacak olan yapının onarım miktarının tespit edilmesinde yaşanan güçlüklerdir. Onarımın miktarı aynı zamanda tarihi yapıda bulunan hasarın da miktarıdır. Hasarın

ne kadarının onarılacağı, dolayısıyla onarım maliyetinin ne olacağı yapının harabiyet durumuna, ayrıca seçilen restorasyon müdahale yöntem ve tekniklerine göre farklılık gösterecektir.

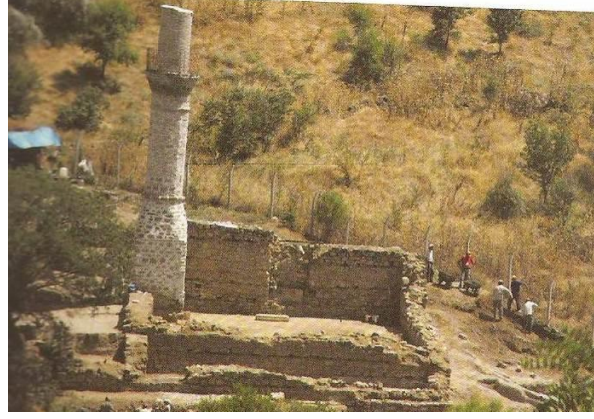
Örneğin; Restorasyon uygulaması yapılmış olan İznik Şeyh Kudbettin Camisi, Şekil 4.5’de görüldüğü gibi bir duvar, temel ve minare kalıntısı üzerine, Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, yeniden yapım yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. Aynı şekilde, henüz restorasyon uygulamasına başlanmamış, ancak oturma alanı Şeyh Kudbettin Camisi’ne yakın olan, Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, yine bir duvar ve minare kalıntısı bulunan Bilecik Emirler Camisinin’de ise, bütünleme yerine kalıntıları sağlamlaştırılarak koruma yöntemi (Konservasyon) kullanılmak suretiyle restorasyon uygulaması yapılacaktır.



Şekil 4.5 Şeyh Kudbettin Camisi Kalıntıları



Şekil 4.6 Şeyh Kudbettin Camisi'nin bütünleme yöntemi kullanılarak yapılmış restorasyonu sonrası görünüşü



Şekil 4.7 Bilecik Emirler Camisi kalıntıları

Yukarıda belirtilen her iki restorasyon uygulamasının yapım maliyetleri karşılaştırıldığında, birbirinden farklı maliyetlerin ortaya çıkacağı açıktır. Bu yüzden restorasyon yapım maliyet ve maliyet tahmin hesaplarının, anıtsal yapı restorasyonu için kullanılacak müdahale yöntemlerine (Restorasyon müdahale derecesine) göre de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Diğer yandan, restorasyon maliyet hesaplamalarının güvenilirliği, kullanılan maliyet hesaplama metodunun güvenilirliği ile doğru orantılı olmasına rağmen, genellikle bu güvenilirliği tehdit eden hatalar, insansal ve verilerin yetersizliğinden kaynaklanan hatalar şeklinde olmaktadır. Restorasyon inşaat maliyet hesaplarında yapılan hatalar, yapılan restorasyon çalışmaları incelenerek araştırılmış olup, bunlar aşağıdaki gibi çıkartılmıştır:

- Miktar hesaplamalarındaki yanlışlıklar, yetersiz ölçüm;
- Yapı zararlılarının bilinmemesi, öngörülememesi;
- Kullanılan restorasyon metodunun bilinmemesi;
- Proje hataları, detay eksikliği;
- Yapı bölümlerinin ya da işlerinin unutulması;
- Maliyet gruplarının unutulması;
- Birim fiyat pozlarının yanlış kullanılması;
- Toprak altı, sıva altı gibi bilinmeyenlerin sonradan ortaya çıkması, öngörülememesi;
- Hesapları yapanların restorasyon konusunda uzman olmaması, tecrübesizlik;
- Yöneticilerin maliyet odaklı olmaması.

4.5. Maliyet Tahmini

Gerek yeni yapım projelerinin, gerekse restorasyon yapım projelerinin, gerçekleştirilmesine yönelik planlama ve karar alma sürecindeki en önemli faktörlerden birisi de maliyetlerin tahminidir. Maliyet tahmini; bir yapının gerçek maliyetinin belirli koşullar altında kısa dönem tahmini olarak tanımlanabilir (Akınbingöl v.d 2005). İnşaat sektöründe maliyet tahmini, inşa sürecinin gerçekleştirilmesine ve devamlılığına yönelik uygun kararların verilerek, kaynakların etkin kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır (Hall vd. 2001).

Maliyetin önceden bilinmesi, proje ve yapım evrelerinde maliyete ilişkin işlemlerde, planlama ve kontrol olanağı sağlamaktadır. Maliyet hesaplamasının önemli bir sürecini oluşturan ve projelerin erken safhalarında başlayan maliyet tahmini, ileriki süreçlerde bilinenlerin çoğalması ile yerini daha net maliyetlere bırakmaktadır (Möller 2007).

Türkiye’de tasarım öncesi evrede maliyet tahmini, toplam bina inşaat alanı ile birim m² inşaat maliyetinin çarpılması ile elde edilmektedir. Birim m² inşaat maliyeti olarak, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’na ait, her yıl yeniden düzenlenen yapı yaklaşık birim maliyetleri kullanılmaktadır. Örneğin, 3B sınıfında gösterilen asansörlü ve kaloriferli bir konut yapısının, 2011 yılı için belirlenen birim m² değeri 565.00 TL’dir. Ancak, bu yolla yapılan maliyet tahmin hesaplamalarında tasarımları, yapım yeri, kullanılan yapım malzemeleri farklı olan iki binanın maliyetleri farklı çıkmaktadır. Bu durum, birim fiyat klavuzlarına göre yapılan maliyet tahmin hesaplarının güvenilirliğinin ciddi anlamda sorgulanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Almanya’da, DIN 276’ya (Deutsches Institut für Normung) göre, yapı toplam maliyetlerinin tahmini olarak hesaplanması, maliyet tahmini aracılığıyla gerçekleşmekte olup maliyet tahmini; maliyet hesaplama iş safhalarının ikinci seviyesine denk gelmektedir. HOAI’ye (Honorar Ordnung für Architekten und Ingenieure) göre maliyet tahmini ise, yapı planlamasının ön planlama süreci olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda, bir projenin yapılıp yapılmayacağı, ya da yapının planlandığı gibi uygulanıp uygulanamayacağı kararının ön koşulunu

oluşturmaktadır. Bu yüzden, HOAI ön planlama sürecinde maliyet tahminini zorunlu kılmaktadır. DIN 276'ya göre, yapılacak bir maliyet tahmini için aşağıdaki temel veriler esas alınmaktadır (Nedderman 1994):

- i. Doğru ihtiyaç verileri: Alan (Kullanım alanı, brüt temel alanı, oturma alanı), hacim, kullanım biçimi (Konut, işyeri vb.).
- ii. Plan dökümanları: Ön planlama sonuçları, deneme usulü çizilmiş etüdler ve kurşun kalemle yapılmış ön tasarımlardır. Ayrıca, planlanılan yapının türüne ve büyüklüğüne uygun ölçüde, örnek alınabilecek yapı gruplarının varsa detaylı planlarıdır.
- iii. Açıklayıcı veriler: Daha önce yapılmış benzer özellik taşıyan örnekler.

DIN 276'ya göre, yapılması zorunlu olan maliyet tahmin hesaplama sürecinde, maliyet tahmin hesabı yapan mimarlara bir esneklik payı bırakılarak, prensipte üç seçeneğe izin verilmiştir Bunlar (Fröhlich 2002):

- Alan büyüklüğü ile maliyet tahmini;
- Hacim büyüklüğü ile maliyet tahmini;
- Kullanım birimlerin büyüklüğü ile maliyet tahminidir.

4.6. Eski Çağlarda Maliyet Tahmini ve Önemi

İlk yüzyıllardan itibaren günümüze kadar devam eden ve günümüzde de etkin olarak kullanılan planlı yapı üretim sürecinde, yapı fikrinin ortaya çıkması ile birlikte, girişimci ya da yapı sahibi (Eski dönemlerde bilhassa büyük yapıların sahibi ve işvereni çok büyük oranda yönetim ve/veya kamudur) tarafından program ve planlama çalışması yapılmıştır. Yapı programlama ve planlama çalışmalarında, öncelikli olarak yapının kaç mal olacağı üzerinde durulmuştur. Bu şekilde yapı eylemleri, tahmini maliyet değerleri esas alınarak gerçekleştirilmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir (Hiert, 1821).

Yunanistan'ın bir bölgesi olan Livadia'da 1875 yılında bulunan bir yazılı belgede, eski Yunan döneminde (M.Ö 5.yüzyıl), maliyet tahmininin ne kadar önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bu belgede anlatıldığı üzere; o dönemde bir yapı inşa edilecek ise, yapının türüne göre bu konuda uzman olan kişilerden bir komisyon kurulmaktadır. Örneğin, inşa edilecek yapı bir tapınak yapısı ise, komisyonun adı Tapınak komisyonu olmaktadır. Tapınak komisyonunun ilk görevi uygun olan tapınak projesini hazırlatarak, bu proje üzerinden yapının tahmini maliyetinin elde edilmesini sağlamaktır. Yapının yaklaşık maliyeti elde edildikten sonra komisyon tarafından, yapının inşaat giderlerinin karşılanması amacıyla, kamu kaynaklarından ve yerel kaynaklardan yararlanılarak tahmini maliyet değeri üzerinden bir bütçe organizasyonu gerçekleştirilmektedir. Bu şekilde, kaynağı önceden hazırlanan yapım işi, komisyon tarafından tahmini maliyet değeri üzerinden bir yapı müteahhidi ile sözleşme yapılarak ihale edilmektedir. Sözleşme şartlarına göre işi üstlenen müteahhit eğer üstlendiği işi bitiremez ya da hatalı yapar ise, o zaman iş için daha önce aldığı para ile birlikte, işin tahmini maliyetinin %20'si nispetinde bir parayı komisyona ceza olarak geri ödemekle yükümlü olmaktadır. Bu parayı işi üstlenen müteahhitin kendisi ödeyemez ise, sözleşme esnasında onun tarafından gösterilen kefilden bu para tahsil edilmektedir. Bu yolla parayı tahsil eden komisyon, aynı işi aynı fiyatla ve aynı sözleşme şartları ile bir başka yapımcıya yaptırmakla yükümlü olmaktadır (Bohn 1982).

Görüldüğü gibi eski Yunan döneminde, yapılacak olan yapının yapım maliyetinin önceden tespit edilmesi, gerek bütçe organizasyonunun yapılmasında, gerekse işin sözleşme esaslarına göre hatasız ve eksiksiz yapılarak tamamlanması konusunda meydana gelecek aksaklıklara karşı yaptırımların belirlenmesinin, daha açık ifade ile yatırımın güvence altına alınmasının temel yapı taşı oluşturmuştur (Yılmaz vd. 2011).

Roma ve özellikle Bizans döneminde, magistratlar (mimar) ile müteahhit olarak adlandırılan ergolaboiler birlikte çalışarak, yapılacak olan yapının karakterini ve hangi yapım sistemi ile hangi malzemelerden yapılabileceğini kararlaştırmaktadırlar. Bu özelliklere uygun olarak hazırladıkları projeler üzerinden, her farklı özelliğe göre çıkarttıkları yaklaşık maliyet hesaplarını yapı sahibine

projelerle birlikte sunarlardı. Yapılar tahmini değerler esas alınarak ergolaboiler tarafından gerçekleştirilmektedir (Pfarr 1983).

4.7. Osmanlı Döneminde Maliyet Tahmini alışmaları

Osmanlı döneminde, imparatorluğa ait tüm coğrafya üzerinde her türlü yapı faaliyeti merkezden yürütölmekte idi. Bu yüzden, her tür inşaat yapımı için Divan-ı Hümayun onayı gerekmektedir. İmparatorluğun başkentten uzak bölgelerinde, ihtiyaç duyulan yapı faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla ilk olarak merkezden o bölgeye bir mimar gönderilmektedir. Bu mimarın görevi uygun olan yapı tasarımı hazırlayarak (genellikle birkaç alternatif tasarım hazırlanmaktadır), tahmini maliyeti ile birlikte onay almak üzere başkente göndermektir (Katipoğlu 2007). Bu şekilde başkente gönderilen projenin, Divan-ı Hümayun'dan onay alması için tasarım kriterleri etkili olduğu gibi, esas önemli olan değerlendirme kriteri yapımın maliyeti olmuştur. Bu yüzden, talep edilen onay kararı için yapımın tahmini maliyetinin önceden hesaplanması gerekmektedir.

Osmanlı döneminde, maliyeti önceden bilinmeyen bir yapım ve onarım çalışmasına kesinlikle izin verilmemektedir. Bunun nedeni, onarımla ilgili yapı faaliyetlerinde ortaya çıkabilecek olası suistimallerin önüne geçilmesi olduğu gibi, onarımın gerektirdiği parasal kaynakların nereden ve nasıl sağlanacağı ile, yapım harcamalarının nasıl ve kim tarafından karşılanacağının önceden belirlenerek yatırımın garantiye alınması, bu sayede de özellikle maliyete ilişkin işlemlerde planlanma ve kontrol olanağının sağlanarak, onarım sonrası hesap verilebilirliğin diğer bir deyişle şeffaflığın sağlanmasıdır (Yılmaz vd. 2011).

4.7.1. Osmanlı Döneminde Kullanılan Maliyet Tahmin Yöntemleri

Osmanlılar'da maliyet tahminine "Karname" denilmektedir (Ünsal 1963). Osmanlı döneminde, yeni yapım ve onarım çalışmalarına başlamadan önce "karname" hazırlanması amacıyla, "Keşif Yöntemi" ve "Satrancını Yöntemi" (kareli kağıt yöntemi) adı verilen iki yöntem kullanılmıştır.

i. Keşif Yöntemi: Osmanlı döneminde bu yöntemin genellikle kullanıldığı iki tür yapım işi bulunmaktadır. Bunlar yeni yapım ile onarım ve restorasyona yönelik yapım işleridir. Keşif yöntemi ile yapım ve onarımın yaklaşık maliyet değerleri elde edilmektedir. Osmanlı döneminde, keşif yöntemi ile yapılan yaklaşık maliyet hesaplamalarında, öncelikli olarak çıkartılan ilk keşife “Keşf-i evveli”, yapımdan sonra ortaya çıkan daha önce ön görülemediğinden dolayı ilk keşife eklenemeyen ya da yeni ilave edilen işler için yapılan ek keşife ise, “Keşf-i Sani” denilmektedir (Hızlı 1993).

Osmanlı döneminde, yapım ve onarımı yapılacak bir yapının keşif yöntemi ile yaklaşık maliyetinin hesaplanması amacıyla öncelikli olarak bir yapı projesinin bulunması gerekmektedir. Proje üzerinden çıkartılan metrajlar, o gün için geçerli olan malzeme, işçilik ve nakliye birim fiyat değerleri ile çarpılarak yaklaşık maliyetlere ulaşılmaktadır. Bu hesaplarda keşif defterleri kullanılmaktadır. Keşif defterlerinde, her bir yapım biriminin metrajı ve buna karşılık gelen birim maliyetleri açık bir şekilde yazılmaktadır. Tüm yapım birimlerinin maliyetlerinin alt alta yazılarak toplanması ile yaklaşık maliyet değeri bulunmaktadır. Keşif defterleri, o yörenin kadısı ve mimarı ile birlikte imzalanarak yapım onayı almak üzere İstanbul’a, Divan-ı Hümayun-a gönderilmektedir (Yılmaz vd. 2011).

Diğer yandan keşif yöntemi, özellikle onarım ve restorasyon çalışmalarının yaklaşık maliyet hesaplamalarında sıklıkla kullanılmıştır. Malzeme eskimesine, iklimsel koşullara, ya da bazı ilave ve tadilatlarla dayalı olarak ortaya çıkan onarımlarda da keşif yöntemi benimsenmiş olup, yapılacak olan imalatlar işçilik ve malzeme miktarları olarak kalem kalem çıkartılır, bunlar piyasada geçerli olan rayiç fiyatlarla değerlendirilerek onarımın yaklaşık maliyeti elde edilirdi. Osmanlı arşivlerinden bu konuda önemli belgeler elde edilmiştir. Gerek kamu yapılarında, gerekse vakıf eserlerinde, onarım ve restorasyon çalışması yapılması gerektiğinde, yapının bulunduğu vakfın mütevellisi, müderrisi ya da mürtezikasını mahkemeye gelerek yapılarının “Müşahade olunmasını” talep ederler idi. Mahkeme bunun üzerine naib ve diğer bir görevlinin yanı sıra “Hassa Mimarlar” ve “Ehl-i hibre Üstadlar” ile bina işlerinden anlayan bi-garaz insanlardan oluşan bir heyete görev vermekte idi. Bu heyet onarımı yapılacak binaya gelerek binanın hangi yerlerinin onarıma ihtiyaç duyduğunu ne gibi malzemelerin kullanılacağını, malzeme miktarı

ve fiyatlarını, onarımın ne kadar usta, neccar, ırgat ile yapılacağını bunların toplam ücretlerini ve onarımın yaklaşık maliyetini içeren bir keşif hazırlayarak bunu keşif raporu olarak mahkemeye sunarlardı. Ancak bu rapor doğrultusunda mahkeme, başkentin de onayıyla onarıma izin vermektedir (Hızlı 1991).

Osmanlı arşivlerinde, hem onay yazıları ile ilgili hem de yapılan onarımların keşif çalışmaları ile ilgili çok sayıda belge bulunmaktadır. Elde edilen bir vesikaya göre, 1552 tarihinde (Bu vesika Yeşil Cami ve külliyesi hakkındaki ilk tamir keşfidir) caminin yapıldığı günden beri tam 132 yıldır kubbe kurşunlarının hiç yenilenmediği ve artık yenilenmesi gerektiği bildirilmiş ve yapılan keşifte, yaklaşık 10.000 akçe ile tamir edilebileceği tahmin olunmuştur (Yavaş 2009).

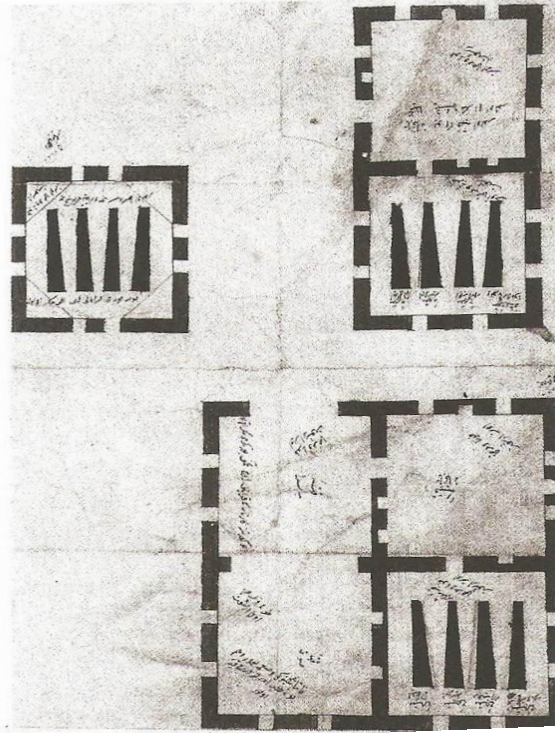
Bir başka belgede, Bursa Ulucamisi'nin paye ve duvarları ile kemer ve kubbe gibi üst örtü sisteminin onarımlarının detaylarını vermektedir. Kârgir kubbelerin inşâsı ile ilgili keşif Tablo 4.1'de sunulmuştur (Yavaş 2009).

Tablo 4.2 Bursa Ulucami'nin 1567 yılındaki tamirleri için keşif

Münhedim yay kemerlerinin devşirme olarak müceddeden inşâsı	892 guruş
Üzeri mevcut kurşun puşideli müceddeden kârgir kubbeler inşâsı	5.985 guruş
Mezkûr kubbeler etrafının kârgir dıvarları inşâsı	2.455 guruş
Şadırvan üzerinde tel örme açık kubbenin mevcut timurlar aralarına cedîd timurdan ma'mûl çârçube ve zımpara ile silme camlı ve yağlı boyalı balaş yaldızlı alemlî ve camlı olarak nev-resm timur kubbe inşâsı	226 guruş
Cami-i şerîfin etrâf-ı erba'asında elli arşun mikdârı som saçaklarının tecdîdiyle fersûda sıva ve bi'l-cümle elvân nakışlarının tanzîmi	320 guruş
Mahall-i mezkûr etrâfında ahşab olarak üzeri kurşun ferşli tahtı timur destekli oluklarının ta'mîri	14 guruş
Zikrolunan kubbeler beyninde dere ve saçak mahallerine turâb harcı ile tesviye olarak üzerlerine iktizâsı üzere ikisi bir yük kayapa tabir olunan mîşe ağacından kuşaklamalı Mevcûd kurşunlarının noksanı tekâmül olarak zûb ile mahallerine ferşi (2.160 adet eski kurşun levha ki her biri 17 kıyye (21.794 gr.) olmak üzere 1.500 kıyye de yeni kurşun dõşenecektir.	Miktar okunamadı

ii. Satrançcini Yöntemi: Osmanlı döneminde kullanılan maliyet tahmin yöntemlerinden en önemlisi kareli yaprak metodu diye adlandırılan

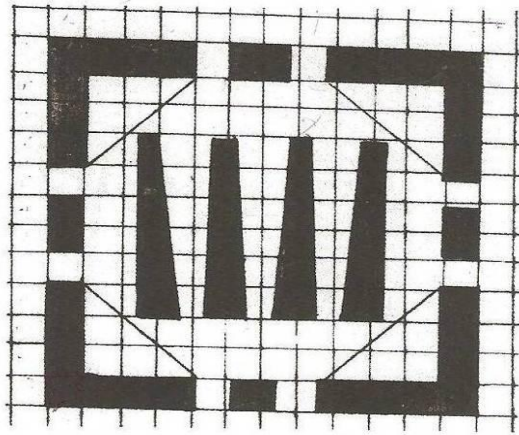
SATRANÇCINI'dir. Kareli yaprak metodu, Hassa Mimarlar Ocağı tarafından kullanılan pratik bir maliyet tahmin yöntemidir (Katipoğlu, 2007). Elimizde planı bulunan ve bugün mevcut olan Çorum Abdal Ata Türbesi, Osmanlı döneminde yapıların tasarım sürecine ve kare tabanlı altlığa çizilen tasarım projeleri üzerinden satrançcini yöntemi ile yapılan maliyet tahminlerine en iyi örnek olmuştur. Mimar tarafından Şekil 4.8'de görüldüğü gibi, türbe planının üç alternatifi hazırlanmıştır. Bu planlar maliyet tahmini için (karname) yapılmış etüde ait olmaktadır (Ünsal 1963). Şekil 4.9'da ise, ilk alternatif için hazırlanmış olan satrançcini oturumu sunulmuştur. Şekil 4.8'de sol üst köşedeki plan ilk tekliftir; bir köşesinde "tulı ve arz on arşın" diye yazılıdır. Yukarı başında ise, 50 bin akçe olur denilmektedir. Sağ üst köşede bulunan ikinci plan, ilk şekle ilave edilen bir modül ile, iki gözlü olarak düşünülmüştür. Üzerinde "bu iki kubbe olur, tahminen 78 bin akçe olur" diye yazılıdır. İlave edilen mahal de, makbere binası gibi, içten içe ölçüsü 10/10 arşındır. Sağ alt köşedeki üçüncü plan, bu plana ikinci plan ölçüsü kadar bir modül daha ilave edilerek genişletilmiştir. Bu planlarda dikkat edilecek önemli nokta mahallerin hep 10x10 arşın kare birim (modül) ölçüsü ile tertiplenmiş olmasıdır. Bu son şeklin tahmini maliyetinin 120 bin akçe olacağı plan üzerinde yazılıdır. Bir köşesinde de "bunu talep ederler dört kubbe olur" diye kaydedilmiştir (Ünsal 1963).



Şekil 4.8 Çorum Abdal Ata Türbesi için hazırlanmış alternatifli planı

Şekil 4.9'da bir odalı olan türbe planı incelendiğinde, plan üzerinde 0.8 cm'lik her karenin 1 arşın yani 0.76 metreye denk geldiği görülmektedir. Bu planda, mevcut çizgilerinin üzerinden geçilerek belirgin biçimde ortaya çıkartılan kareli taban altlığın kullanımının bütçe hesaplaması için Hassa Mimarlar Ocağı tarafından kullanılan pratik bir maliyet tahmin yöntemi olduğunu kanıtlamaktadır (Katipoğlu, 2007).

Yukarıda gösterilen üç ayrı planın satrançcini olarak adlandırılan kare tabanları incelendiğinde, ilk planın 144 adet kareye sahip olduğu, ikinci planın 276 adet kareye sahip olduğu, üçüncü planın ise 529 adet kareye sahip olduğu görülmektedir. Tasarımlar arası artan kareler arasında, 1.92'lik düzgün bir artış oranı mevcuttur. Alternatif planlarda, kare modüller birbirine eklenecek büyüme sağlandığından, özellikle planın orta noktalarında ortak duvarlar oluşmaktadır. Bu yüzden, plan büyüdükçe kare sayısındaki artış oranı ile, kare birim maliyetindeki artış oranları farklı olmaktadır. Buna göre, Çorum Abdal Ata Türbesi için hazırlanan ilk tasarımın birim kare maliyeti yaklaşık 347 akçe, ikinci tasarımın birim kare maliyeti 282 akçe, üçüncü tasarımın birim kare maliyeti 227 akçe tutmaktadır. Her bir tasarımın bir önceki 1.92'lik kare artış oranı, bir sonraki tasarımın kare birim maliyeti ile çarpılır ise, bir sonraki tasarımın tahmini maliyeti elde edilmektedir. Örneğin; ilk tasarımın kare sayısı 144'dür, tasarımlar arası artan kare oranı 1.92'dir, bir sonraki tasarımın kare birim maliyeti ise, 282 akçe olduğundan ikinci tasarımın maliyeti, $144 \times 1.92 \times 282 = 78000$ akçe bulunmaktadır. Üçüncü tasarımın maliyeti ise, $276 \times 1.92 \times 227 = 120000$ akçe bulunmaktadır.



Şekil 4.9 Çorum Abdal Ata Türbesi için hazırlanan ilk alternatif planın kare tabanlı altlığa (satrançcini) oturumu

Yukarıda anlatıldığı gibi, üç farklı seçeneğin verildiği çizim Osmanlı döneminde, bir bina tasarımı sürecinde mimarlar tarafından alternatif tasarımlar hazırlandığını ve alternatifler arasından seçim yapılırken en önemli değerlendirme kriterinin maliyet olduğunu göstermektedir (Katipoğlu, 2007).

Günümüzde yapım maliyetleri, arsa değeri, zemin koşulları, yapı kalitesi, modern malzeme kullanımı gibi unsurlardan bilhassa yapının inşa edileceği yere bağlı olarak farklı ölçeklerde etkilenmektedir. Oysa eski dönemlerde, kalıcı ve önemli yapıların yapımında çoğunlukla doğal malzeme olan taş, tuğla ve ahşap kullanılmıştır. Yine o dönemlerde kullanılan tek enerjinin insan ve hayvan enerjisi olduğu düşünülürse, bir inşaat yapımının ne kadar zor ve zahmetli olduğu anlaşılacaktır. Taş ve diğer yapım malzemelerinin doğadan elde edilmesinde karşılaşılan güçlükler, ocaktan çıkartılan taş malzemenin inşaat sahasına nakledilmesinde ve şantiyeye getirilen bu malzemenin inşa edilen yapıda istenilen yüksekliğe çıkartılmasında yaşanan zorluklar, yapımı ve yapı inşaat maliyetlerini önemli ölçüde etkileyen unsurlar olarak ortaya çıkmıştır.

Bu zorlukların, o dönemlerde inşaat yapım maliyetlerini ne kadar çok etkilediği konusuna, Osmanlı döneminde, 1867 yılında Konya çarşısı yangınında tamamen yanarak kullanılmaz hale gelen Konya Kapu Camisi'nin yeniden yapım çalışması örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada, vilayet mimarı Hadi Efendi ile birlikte mimar kalfaları ve vakıf görevlilerinden oluşan heyet tarafından yerinde yapılan keşiften sonra, mimar Hadi Efendi tarafından caminin yeniden inşası için iki adet farklı proje tasarlanmıştır. Duvarları taş kagir, ancak üst örtüsü de tuğla kagir kubbeli olarak tasarlanan ikinci tasarımın yapımı tercih edildiğinde, bunun için gerekli olan işçilik ücretleri, malzeme miktarları ve fiyatlarının dökümü yapılarak, inşaatın, 745 150 kuruşa mal olacağı tahmin edilmiştir. Cami'ye yakın olan Konya Kalesi'nden alınan taşların, caminin taş kagir duvar yapımında devşirme malzeme olarak kullanılmasına izin verildiğinden dolayı, cami inşaatı tahmin edilenden daha ucuza mal olmuştur. İnşaatı 300 000 kuruşa mal olan Kapu Camisi 1869 yılının sonlarına doğru tamamlanmıştır (Muşmal vd. 2009).

4.8. Yeni Yapıların İnşaat Maliyet Tahmini Üzerine Yapılan Çalışmalar

Yeni inşaatlara ait projelerin erken evrelerinde, hatta tasarım öncesi evrelerinde, maliyet tahmini yapılmasına yönelik birçok maliyet tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Bu konuda; Türkiye’de ve diğer ülkelerde kullanılan çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Bunlar her ülkenin kendi koşullarına göre düzenlenmiş ve resmi kurumlarına bağlı olan yayınlar olduğu gibi, özel şirketlerce hazırlanmış yayınlar da olabilmektedir. Bu bağlamda çok sayıda kitap ve yazılım bulunmaktadır (Sönmez 2009).

Bina maliyet tahmini konusunda ticari olarak pazarlanan 87 yöntem ve yazılım bulunmaktadır (WWW.bidshop.org). Bu yöntem ve yazılımlar içerisinden sadece; R.S. Mean Company, Inc. (R.S. Means Company, Inc., 1992; www.rsmean.com, 1996), Saylor Company, Inc. (www.saylor.com, 2003), Marchall & Swift (www.marshallswift.com, 2003), Bina Maliyeti Enformasyon Servisi’ne (www.bcis.co.uk, 2003) ait 14 farklı maliyet tahmin yönteminin ve yazılımının teklif öncesi evreye yönelik oldukları görülmüştür (Polat vd. 2005).

R.S. Means Company, Inc., çalışmalarının kullanılabilmesi için, maliyet tahmini yapılacak binaya ait; bina tipi, toplam brüt inşaat alanı, kat sayısı ve yüksekliği, dış duvar tipi, bodrum katın olup olmadığı, inşaatın yapılacağı yer ve yıl verilerinin bilinmesi gerekmektedir (Polat vd. 2005).

İngiltere’de, hazır istatistiki verilerin bulunduğu “Span’s European. Construction Cost Handbook” bulunmaktadır. R.S. Mean Company’e ait çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Sönmez 2009).

Türkiye’de ise, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı’na ait veri tabanları, İnşaat Birim Fiyat Analizleri ve Yapı Yaklaşık Maliyetleri olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Bunlardan tasarım öncesi evreye ait olan İnşaat Birim Fiyat Analizleri; teknolojik yenilikler, imalatın yapılacağı yer, vb. faktörler gözetenmeden birim fiyatların hazırlanmış olması, bazı yapım işlerinin veri tabanı içerisinde yer almaması, güncelleme periyotunun ülkenin ekonomik koşullarına uygun olmaması gibi temel problemlere sahiptir. Ayrıca diğer bir eksik yan ise, inşaatın yapıldığı yer,

inşaatın boyutu, kat sayısı, bodrum katın olup olmaması gibi parametrelerin göz önünde bulundurulmadan birim m² bina inşaat maliyetleri üretilmiş olmasıdır (Sönmez 2009). Böyle bir durumda, Türkiye’de tasarım öncesi evrede, maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan hesap yönteminin nasıl olması gerektiği önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır (Polat vd. 2005).

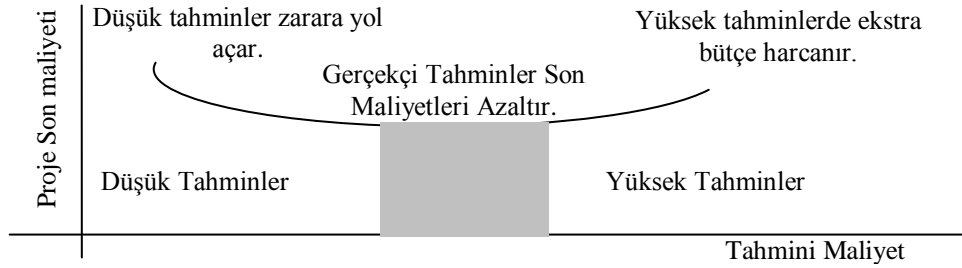
Bu amaçla, yeni yapıların maliyet tahmini üzerine bir çok çalışma yapılmıştır.

Göktürk (2008), “İnşaat Sektöründe Fizibilite Aşamasında Maliyet Tahmini Yapmakta Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Değerlendirme” isimli yüksek lisans tezi çalışmasında “maliyet tahmininin amacını, sınırlı kaynakları en etkin biçimde kullanarak istenilen seviyede ürünün veya hizmetin sağlanabilmesinde gerekli maliyetin tanımlanmasıdır” şeklinde açıklamıştır. Maliyet tahmini farklı kişiler için farklı anlamlar taşır. Mal sahibi için ayırdığı finansmanın yeterli olup olmadığını anlaması, projeden vazgeçme, ek kaynak bulma veya projeye devam anlamı taşır. Yüklenici için ise, girdiği ihaleyi kazanmayı ve tahmin ettiği maliyetle sözleşmede belirtilen performansta üstlenilen işi tamamlamaktır. Göktürk’e göre maliyet tahmini, düne ve bugüne bakarak yarın yapılacak işin maliyetini tahmin etmektir. Göktürk çalışmasında maliyet tahmin yöntemlerini üçe ayırmıştır:

- i. İstatistik analiz yöntemleri: Birim yöntemi, Alan yöntemi, Hacim yöntemi, regresyon analizine dayalı parametrik değerler; Fonksiyonel elemanların analizine dayalı tahmin yöntemi; Oran (Faktör) yöntemi.
- ii. Benzer projelerle karşılaştırma: Elemanlara dayalı maliyet analizi ile karşılaştırma yöntemi, toplam maliyet çarpanı yöntemi.
- iii. Yapay Zeka Teknikleri: yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin yöntemi; bulanık mantık yöntemi; genetik algoritmalar; uzman sistemler ile tahmin yöntemi.

Göktürk yaptığı anket çalışmasında da firmaların % 71.5’u % 10-20 arası, % 24,6’sının ise % 20’den fazla sapma oranı ile maliyet tahmini yaptıkları sonucuna

varmış ve maliyet tahminindeki farklılıklar ile proje son maliyeti arasındaki ilişkiyi ise, Şekil 4.10'da görülen Freiman eğrisi ile açıklanmıştır



Şekil 4.10 Freiman Eğrisi

Akınbingöl ve Gültekin (2005), “Bina üretimi yapım evresinde maliyet planlama ve denetimine yönelik bir maliyet yönetim modeli önerisi” başlıklı çalışmada, maliyet tahmin modellerini miktarlara dayalı modeller olarak tanımlanan geleneksel modeller, “analitik modeller” (alan, hacim, birim yöntemi), “fonksiyonel elemanlara dayalı modeller” (Fonksiyonel elemanlar alt fonksiyonlara, alt fonksiyonlar bileşenleri olan yapı birimlerine ayrılmaktadır), “yapım birimlerine dayalı modeller” (Yapım birimlerinin uygulama projesi üzerinden ölçülen miktarları belirlenen birim fiyatların çarpımı ile oluşur) olarak alt bölümlere ayırmıştır. Ayrıca aynı çalışmada, diğer bir maliyet tahmin modeli olarak maliyetleri miktarlar yerine tasarımın tanımlayıcı özelliklerine bağlamak fikrini temel alan, tanımlayıcı modeller olarak açıklamışlardır. Akınbingöl vd. göre, tanımlayıcı modeller “regrasyon analizleri” kullanılarak geliştirilmiştir. Bu modeli, hesaplamaların bir ya da daha fazla değişkenin yapı yüksekliği, yapı formu, vb. değerlerinin bilinmesinden yararlanılarak başka bir değişkenin değerinin, bulunduğu bir yöntem olarak ifade etmişlerdir. Akınbingöl vd. yine aynı çalışmada, diğer bir tahmin modeli olarak, “gelişmiş maliyet modelleri” adı altında incelenen uzman sistemler modelini anlatmışlardır. Bu model ile maliyet tahmini yapabilmek için veri tabanı ve bilgisayarlardan yararlanılmasının zorunlu olduğunu, aynı zamanda maliyet tahmininde başarılı olabilmek için de bu sistemlerin mutlaka uzman kişiler tarafından yönlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bostancıoğlu (2006), “Konut binalarının ön tasarımında bir maliyet tahmin modeli” adlı çalışmada, maliyeti etkileyen faktörleri baz alan bir maliyet tahmin

modeli geliştirmiştir. Özellikle, ön tasarım evresinde maliyeti en çok etkileyen faktörler olarak kalite, kat adedi, plan biçimi, bina büyüklüğü, kat yüksekliği, kattaki daire adedi, bodrum durumu esas alınmıştır. Bostancıoğlu modelinde, varsayımsal olarak hazırladığı 5 katlı, 3. Sınıf inşaat kalitesinde olan baz bir projenin, yukarıda belirtilen faktörleri esas alan özellikleri ile, bu projenin m² maliyeti değerini Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları ve ölçüm standartlarını esas alarak belirlemiştir. Daha sonra faktör özellikleri farklı olan 28 adet proje tasarlanmış ve bunların birim m² maliyet değeri yukarıdaki yöntemle hesaplanmıştır. Bostancıoğlu, bu projelere ait m² maliyet değerlerini faktör grupları içinde karşılaştırmış ve faktör grubu içinde yer alan projelerin m² maliyetini, baz alınan projenin m² maliyetine bölerek faktör grubu sınıfına ait dönüştürme katsayıları elde etmiştir. Bostancıoğlu çalışmasında, bu şekilde elde edilen dönüştürme katsayılarını kullanarak yeni bir projenin maliyet tahmini hesabının yapılabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmaya göre, yeni bir projenin maliyetini hesaplamak için; yeni projenin baz projeden farklılaşan özellikleri belirlenmekte ve bu değişen özelliklere göre dönüştürme katsayıları seçilmektedir. Yeni projenin dönüştürme katsayıları toplamı, baz projenin dönüştürme katsayıları toplamından çıkartılarak, yeni projenin m² maliyetinin baz projedekinden yüzde olarak ne kadar fazla veya eksik olduğu belirlenmektedir. Elde edilen değer baz projenin m² maliyeti ile çarpılarak, yeni projenin baz projeden farklılaşan maliyeti bulunmakta, bu değer baz m² maliyetine eklenerek, yeni projenin m² maliyeti elde edilmektedir.

Bostancıoğlu'nun geliştirdiği bu model ile hesaplanan m² başına maliyet değerleri, birim fiyat yöntemi ile hesaplanan m² başına maliyet değerlerinden % 0.1 - % 7.7 arasında farklılık göstermektedir. Bostancıoğlu maliyet tahmin modellerini tek fiyatlı maliyet tahmin modelleri (Birim, metrekare, hacim, küp, kat kabuğu), maliyeti etkileyen faktörlere yönelik maliyet tahmin modellerini de dönüştürme modelleri ve regresyon modelleri olarak ayırmıştır. Bostancıoğlu çalışmasında örnek gösterdiği Seeley'e göre, yeni binanın mevcut binaya göre farklılaşan özellikleri belirlenerek, bu özelliklerin bina eleman maliyetlerinde meydana getireceği artış ve azalışlar hesaplanarak yeni binanın eleman maliyetleri, eleman maliyetleri de toplanarak toplam maliyet belirlenmiş olmaktadır. Bostancıoğlu'nun bu çalışmasında örnek gösterdiği, D. Ferry, P. Brandon'un 1986 yılında maliyet tahminine yönelik olarak yaptıkları çalışmada; maliyeti hesaplanacak binaya benzeyen, m² maliyeti bilinen bir

örnek proje ile, maliyeti hesaplanacak proje arasındaki farkların maliyet sonuçları hesaplanarak sonuca varılmaya çalışılmıştır. Bostancıoğlu burada yapılan işlemin bir dönüştürme işlemi olduğunu belirtmiştir.

Polat ve Çıracı (2005), “Türkiye’de tasarım öncesi evrede inşaat maliyet tahmini için bir yöntem önerisi” başlıklı çalışmasında, tasarım öncesi evrede maliyet tahmini, bina inşaat alanı ile birim metrekare inşaat maliyetinin çarpımı ile elde edildiğini belirtmiştir. Çalışma kapsamında önerdiği maliyet tahmini bina tipi, kat sayısı, kat yüksekliği, dış duvar tipi, bina çevre uzunluğu, bodrum katın olup olmadığı, inşaatın yapılacağı yer ve yıl gibi parametreleri esas alarak geliştirmiştir. Polat ve Çıracı’nın geliştirdiği bu tahmin modelinde elde ettiği hassas sonuçlar ile yapının finansal modelinin doğru biçimde kurulması sağlanarak, nakit akışından kaynaklanan inşaatın tamamlanamaması sorunlarının ortadan kaldırılması mümkün olmaktadır.

Akbıyıklı (2008), “İnşaat yönetimi metraj ve maliyet hesapları” başlıklı kitabında maliyet tahminin amacını maliyet hakkında gerçeğe yakın fikir vermek olarak tanımlamış olup, böyle bir tahmin işverene önerilen işin yapılıp yapılmamasına veya işin terk edilmesi kararını verdirecektir. Akbıyıklı’ya göre bir inşaat maliyet tahmini neticesinde ortaya çıkacak olan finansal model, nereden ne kadar finansman sağlanacağı ve finansman maliyetlerinin ne olacağı ile projenin dolaylı ve dolaysız sağlayacağı faydalar ortaya çıkacaktır. Akbıyıklı, inşaat maliyetleri tahminini, malzemelerin tahmini, işçilik tahmini, makine ve teçhizat tahmini, süre tahmini olarak belirlemiş olup, maliyet tahmin tiplerini ise, yaklaşık maliyet ve detaylı maliyet tahminleri olarak ayırmıştır. Detaylı maliyet tahminlerini ise birim miktar metodu ve toplam miktar metodu olarak ikiye ayırmıştır.

Hutzelmeyer ve Greulich (1983), “Baukostenplanung mit Gebaeude-Elementin” isimli kitapta, HOAİ’nin ön planlama sürecinde bir maliyet tahminini zorunlu kıldığını belirttikten sonra DIN-276 ya göre yapılan alan büyüklüğü ile maliyet tahmini, kullanım birimlerin büyüklüğü ile maliyet tahmini, hacim büyüklüğü ile maliyet tahmini dışında bina kaba elemanları ile maliyet tahmini yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde duvar, döşeme, tavan gibi, temel yapım elemanları kaba elemanlar olarak kabul edilmiş, kaba elemanların üzerinde bulunan

tüm ince işler de maliyet hesabına dahil edilmiştir. Bir kaba elemanın maliyeti, kaba ve ince işlerinin toplamından oluşmaktadır. Bu yöntemle, büyüklük oranları ile yapılan maliyet tahmininin dezavantajlarının önlenmesi amaçlanmıştır. Çünkü yapımda kullanılan kaba elemanlar bir yapının gerçekten inşa edilen bölümleridir. Bu şekilde, kaba elemanlar dışında yapımda istenilen yapısal değişikliklerin etkileri, direkt olarak maliyet hesaplamasına katma imkanı bulunacaktır.

Möller (2007), “Planungs und Bauökonomie” isimli kitabında, maliyet tahminini “ön planlamada oluşturulan planlama konseptinin nihai tasarıya kadar uygulanıp uygulanamayacağının kararlaştırılması için ön koşuldur” şeklinde açıklamıştır. Möller’e göre, maliyet tahmini finansal düşünceler için geçici bir temel oluşturur. Möller, maliyet tahmininin HOAI’nin 2. seviyesine denk geldiğini belirtip, DIN 276’yı değerlendirerek maliyet tahmini için olması gerekenleri sıralamıştır. Bunlar ön planlamanın sonuçları, özellikle deneme çizimleri, kurşun kalem eskizler, maliyet gruplarının ölçülerine göre miktarlarının hesaplanması, tasarımsal bağlantılar, kabuller ve koşullarla ilgili veriler şeklindedir. Möller, maliyet gruplarını bileşenlerine kadar alt gruplarına ayırmış maliyet tahmini çerçevesinde, tahmini maliyetin maliyet gruplarının en azından 2. seviyesine kadar tespit edilebileceğini belirtmiştir.

Fröhlich (2002), “Baukosten-Flächen-Rauminhalte” isimli kitabında maliyet tahminini maliyet hesaplamasının erken kullanımı için mevcut olduğunu açıklayarak, maliyet tahmininin maliyet hakkında daha planın ana hatları oluştuğunda güvenilir bilgi vermesi gerektiğini belirtmiştir. Fröhlich kitabında maliyet tahmininin diğer maliyet süreçlerine göre çok daha az zaman ve süre gerektirdiğini anlatarak, maliyet tahmininin diğer maliyet süreçleri ile arasındaki farkın “maliyet tahmininde tek tek imalat kalemlerinin dikkate alınmamasıdır” şeklinde açıklamıştır.

Geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinde ivme kazanarak hızlanan yapay zeka üzerine yapılan araştırmalar günümüze dek yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritmalar gibi çok çeşitli yöntemlerin oluşmasını sağlamıştır. Yapay zeka yöntemleri, temel olarak insan beyninin çalışma prensiplerini kullanarak oluşturulan problem çözme yöntemleridir. Yapay zeka yöntemlerini geleneksel matematiksel çözüm yöntemlerinden ayıran önemli bir özellik ters (inverse) problemleri çözme

kabiliyetleridir. Konu üzerine pek çok çalışma yapılmıştır ve hem Türkçe, hem de diğer dillerde konuyu geniş anlamda ele alan kitaplar mevcuttur (Elmas 2007)

Ayrıca, yapay zeka yöntemleri ile inşaat maliyetlerinin tahmini konusunda olduğu gibi, inşaat projelerinin yönetimi alanında kullanılması konusunda da ülkemizde oldukça başarılı çalışmalar yapılmıştır. Dikmen ve diğ. (2009) yapmış oldukları bir çalışmada, bilhassa yapay sinir ağları ve bulanık mantığın inşaat projeleri yönetiminde ve uygulamalarında kullanımının geniş bir taramasını yapmışlardır. Ayrıca, Dikmen ve diğ. (2009), yine benzer bir çalışmada yapay zeka yöntemlerinin inşaatların maliyet tahmini için kullanımını incelemiştir.

Uğur (2007), “Yapı maliyetinin yapay sinir ağı ile analizi” isimli doktora tezinde, özellikle yapı üretim sürecinin yapım evresinde maliyet tahmininin önemine değinmiş ve yapı maliyet tahminini bir yapının gerçek maliyetinin belirli koşullar altında kısa dönem tahmini olarak tanımlamıştır. Bu çalışmada, yapı maliyetlerinin Yapay Sinir Ağı (YSA) ile tahmin edilmesi amacıyla; betonarme taşıyıcı sistemli ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetleri hesaplanmış ve mevcut verilerden yararlanılarak oluşturulan çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan YSA’na veri olarak girilmiştir. Bu yapıların projelerinden hesaplanan; yapı yükseklikleri, tip katlardaki daire sayıları, tip kat alanları, kat yükseklikleri, toplam kat sayıları, kat yükseklikleri, cephe alanları, cephe boşluğu alanları ve ortalama daire alanları, ağ mimarisinde ana değerlendirme kriterleri olarak alınmıştır. Uğur, ağa hesaplatılan maliyet tahminlerini, Birim Fiyat Yöntemi (BFY) ve Regresyon Analizi (RA) ile yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırmış ve uygulanan YSA yönteminin sağladığı performansı değerlendirmiştir.

Bu çalışmada Uğur, ek olarak mevcut verilerden yararlanarak optimum maliyetli blok tasarımına yönelik sınır değerlerini belirlemiş, esas alınan girdi vektörü kriterlerinin maliyete etkileri bakımından önem sıralamasını yapmıştır. Elde edilen bulgulara göre, oluşturulan YSA’dan sağlanan verilerin, Regresyon Analizi verilerine göre gerçeğe daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar sağladığını göstermiştir.

Benzer şekilde, Demirel (2007) “Toplu Konut İnşaat Maliyetlerinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini” konulu çalışmasında, Türkiye Konut Yapı Kooperatifler Birliği (TÜRKKONUT) tarafından yaptırılan çok katlı konutların maliyetlerinin Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile tahmin edilmesini amaçlamıştır. Bu amaçla, betonarme taşıyıcı sisteme haiz ve benzer nitelikteki, çok katlı toplu konut projelerinin, inşaat maliyetleri hesaplanmış ve mevcut verilerden yararlanılarak oluşturulan çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan YSA’ya veri olarak girilmiştir. Bu yapıların projelerinden hesaplanan; tip kat alanları, yapı yükseklikleri ve toplam dış cephe alanları, ağ mimarisinde ana değerlendirme kriteri olarak alınmıştır. Ağa hesaplatılan maliyet tahminleri, Birim fiyat yöntemi (BFY) ve Regresyon Analizi ile yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırılmış ve uygulanan YSA yönteminin sağladığı performans değerlendirilmiştir. Oluşturulan YSA’dan sağlanan verilerin, Regresyon Analizi verilerine göre, BFY ile bulunan maliyetlere daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

4.9. Restorasyon İnşaat Maliyet Tahmini Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde restorasyon inşaat maliyetlerinin önceden tahmin edilmesine yönelik önemli bir araştırma ve geliştirilmiş özel bir yöntem bulunmamaktadır. Günümüzde en çok kullanılan restorasyon yaklaşık inşaat maliyet hesaplama yöntemi, metraja uygun olarak Vakıflar Genel Müdürlüğü, Kültür Bakanlığı ve Şehircilik ve Çevre Bakanlığı’na ait birim fiyatlar ile hesaplanan yaklaşık maliyet hesaplarıdır. Restorasyon projelerindeki yetersizlikler, detay eksikliği, tarihi yapının özgün yapım teknolojisindeki karmaşıklığı, yapım ve malzeme özelliklerinin tam olarak anlaşılabilmesi, ayrıca kullanılan birim fiyat analizlerinin gerçeği yansıtmaması gibi nedenlerden dolayı, yapılan restorasyon yaklaşık inşaat maliyet hesapları eksik ve hatalı olmaktadır.

Hızlı maliyet tahmini için ülkemizde kullanılan tek veri, T.C. Şehircilik ve Çevre Bakanlığı’nın restorasyon inşaatı m² maliyeti olarak 2011 yılı için belirlediği 1710 TL/m² birim fiyatıdır. Her anıtsal yapının yapım ve malzeme özellikleri, restorasyon miktarı (hasar düzeyi) ve restorasyon müdahale yöntemleri farklı

olduğundan, Şehircilik ve Çevre Bakanlığı tarafından belirlenen m² birim maliyeti olarak verilen değer ile, yapılacak maliyet tahmin hesaplarının yüksek oranlarda hata vereceği açıktır.

Bu yüzden, yeni yapıların maliyet tahminleri üzerine yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ve yöntemler kullanılarak, bu verilerin restorasyon inşaat maliyetlerinin miktara ya da orana göre yapılacak maliyet tahmini hesaplarında yararlanılabilmesi mümkündür.

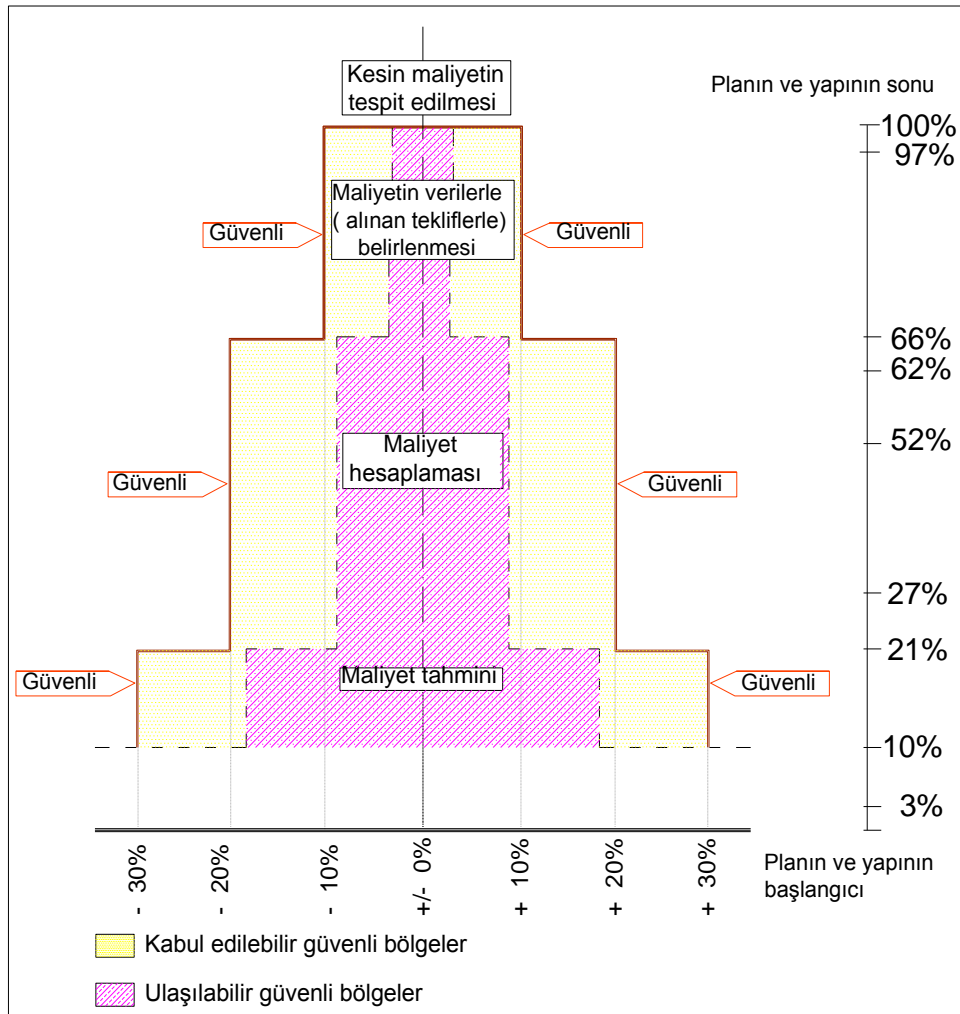
Restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmin edilmesi konusunda, diğer ülkelerde sınırlı da olsa yapılmış çalışmalar mevcuttur.

Fuchsbichler (1990), “Kostenschätzung Altbaumodernisierung” adı altındaki çalışmasında; geliştirdiği maliyet tahmin modeli, beklenen restorasyon maliyetinin erken dönemde tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır. Fuchsbichler, restorasyonda müdahale edilecek kısımların miktarını hasar miktarları, dolayısıyla restorasyon miktarları olarak tanımlamıştır. Fuchsbichler’e göre, her anıtsal yapının hasar miktarı ve müdahale biçimleri farklıdır. Bu yüzden yöntemler farklı da olsa, restorasyon inşaatında maliyet tahmini restorasyon miktarına göre yapılmalıdır. Fuchsbichler’in geliştirdiği ön tasarım sürecinde kullanılabilen tahmin modelinin prensibi, her yapı için onarılacak oranın tespit edilmesidir. Bu oran aynı zamanda hasarın oranıdır. Fuchsbichler, hasar miktarlarını gruplara ayırmış, grupları da restorasyon sınıfları olarak adlandırmıştır.

Fuchsbichler’e göre, her yapı için farklı hasar oranları ve restorasyon sınıfları oluşturulmalıdır. Bu yüzden, eski yapılardaki hasar durumuna göre standart oranlar getirmiştir. Fuchsbichler, geliştirdiği modelde iki diyagram kullanmıştır. Birinci diyagramda, yapının temel alanına göre toplam maliyetini hesaplamış, ikinci diyagramda ise, yapının hasar oranını belirlemiştir. Birinci diyagramda hesapladığı toplam maliyet değeri üzerinden, diğer diyagramda belirlenen hasar oranını esas alarak, restorasyon inşaat maliyetinin kolayca tahmin edilebileceğini ortaya koymuştur. Fuchsbichler bu yöntemi, restorasyon sınıflarını oluşturan her bir sınıfın maliyeti ile bu sınıflardaki hasar oranlarına göre tahmini yapılabilen restorasyon sınıfları maliyet tahmininde de kullanmıştır.

Neddermann (1994), “Kostenermittlung von Altbauerneuerungsmaßnahmen” başlıklı doktora tez çalışmasında, yapıda restorasyon yapılacak kısımları maliyet gruplarına, bu grupları da alt düzeylerine ve bileşenlerine ayırmıştır. Nedderman’a göre, alt düzeylerdeki bileşenlerin maliyet hesaplaması ile oluşan maliyet gruplarının toplamı restorasyon maliyetini vermektedir.

Nedderman’a göre, restorasyon projesinin ilk %21’lik kısmında tek birim fiyata dayalı maliyet tahmininde %30 hata oluşmaktadır, projenin ilerleyen safhalarında bu oran %20 ve %10’a kadar düşmektedir. Nedderman, restorasyonda proje safhalarına karşılık gelen maliyet süreçlerini ve bu süreçlerde kabul edilebilir hata oranları ile, kendi geliştirdiği modele göre ulaşılabilir hata oranını, Şekil 4.11’de gösterildiği gibi, piramitsel bir çizim ile ifade etmiştir. Ayrıca piramit çiziminde, maliyet hesaplama süreçlerinde oluşan güvenli bölgeleri de belirtmiştir.



Şekil 4.11 Restorasyonda proje ve maliyet safhalarında kabul edilebilir ve ulaşılabilir hata oranları ile bunlara ait güvenli bölgeler (Nedderman 1994).

Nedderman, modelinde geliştirdiği bilgisayar programları ile yapılacak eski eser restorasyon maliyet tahminlerinde, %18 hata payı oluşabileceğini öngörmüştür. Yine bu çalışmada belirtildiği gibi, Almanya'da yerel bir mahkemenin (Bundesgerichtshof, BGH) bir kararına göre, restorasyonda % 27.7' lik bir maliyet sapması kabul edilebilir bulunmuştur. Yine, Freiburg Mahkemesi % 58' lik bir sapmayı kabul edilebilir bulurken, bir üst mahkeme (Oberland gericht, OLG) bu sapmayı yüksek bulmuştur.

Nedderman yine bu çalışmasında, Almanya'da yapılan restorasyon çalışmalarında; iyi ve orta düzeyde hasarlı olan eski yapıların maliyet tahmininde ortalama % 30 oranında hata yapılırken, kötü ve çok kötü durumda olan eski yapılarda hata oranının, % 50'den % 70'lere kadar ulaşabileceğini belirtmiştir.

Benzer bir çalışmada, Pastor (1992) "Der Bauprozess" başlıklı çalışmasında, restorasyon maliyet tahmininde kabul edilebilir hata payının % 30 olması gerektiğini belirtmiştir.

Dickenbrock (1985), "Kostenermittlung in der Altbaumodernisierung" başlıklı çalışmasında, net maliyetin hesaplanmasına yardımcı olacak bir maliyet tahmin yöntemi geliştirmiştir. Dickenbrock, bir restorasyon çalışmasında planlama sürecinin erken zamanlarında maliyet tahmini yapılamayacağı tezine karşı çıkararak, restorasyon maliyet tahmin ve hesaplamalarında detaylandırmaya gitmiştir.

Dickenbrock, restorasyon maliyet hesaplamalarında kullanılan standart birim fiyat listesini doğru bulmayarak, restorasyonu yapılacak yapının yeri, kiş ve yaz çalışmaları, ilave maliyetler, malzeme fiyatlarının artması, malzeme ve işçilikteki kazanç ve kayıp oranlarını dikkate alan maliyet tahmin hesabı modeli geliştirerek, işçilik ve malzeme maliyetlerini ayrı ayrı hesaplamıştır. Dickenbrock, kendi geliştirdiği yöntemle yaptığı hesaplamalarda, restorasyon inşaat maliyet tahmininde, %30'luk bir hata sapması olabileceğini kabul etmiştir.

5. YAPAY ZEKA

Latince “Intellectus” kelimesinin karşılığı olan zekanın kavramsal olarak bir çok tarifi bulunmaktadır. Ancak en genel anlamda zeka; iyi akıl yürütme, iyi hüküm verme, kendini iyileştirme kapasitesidir. Aynı zamanda, beynin bilgiyi alıp hızlı ve doğru biçimde analiz etmesidir. Biyologlar, zekayı çevreye uyum kabiliyeti olarak görürken, eğitimciler öğrenme, psikologlar ilişkileri anlama, bilgisayarlılar bilgiyi işleme kabiliyeti şeklinde değerlendirmektedirler (Altuntaş v.d 1998).

Yapay Zeka ise; temel olarak insan beyninin çalışma prensiplerini kullanarak oluşturulan problem çözme yöntemleridir. İnsanların bilgisayarlardan daha iyi yaptıkları işleri bilgisayarların yardımıyla yapabilmesi için çalışan bir bilim dalıdır. Yapay zeka insanların düşünüş süreci ve bu süreci çeşitli makineler kullanarak taklit etme olgusudur (Sağiroğlu vd. 2003).

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışan yapay zeka; programlanmış bir bilgisayarın düşünce girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre; düşünme ve karar verme gibi, insan zekasına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır (Altuntaş vd. 1998).

İlk defa 1950’li yıllarda ortaya atılan yapay zeka terimi zaman içinde oldukça yoğun ilgi görmüş ve 40-50 yıllık bir zaman diliminde hayatın vazgeçilmez parçası olan sistemlerin doğmasına neden olmuştur. Bu sistemler “Zeki Sistemler” olarak adlandırılmaktadır. Zeki sistemlerin geliştirilmesinde yapay zeka biliminin katkısı çok fazladır. Zeki sistemlerin en temel özellikleri olaylara ve problemlere çözümler üretirken veya çalışırken bilgiye dayalı olarak karar verebilme özelliklerinin olması ve eldeki bilgiler ile olayları öğrenerek, sonraki olaylar hakkında kararlar verebilmeleridir (Öztemel 2006).

Yapay zeka önceleri sadece bir ilgi odağı iken bugün artık bir bilim dalı haline gelmiştir. Günümüzde üniversitelerde yapay zeka bölümleri açılmıştır. Yapay zeka mühendisleri (bilgi mühendisleri) yetiştirilmektedir. Yapay zeka bilimine genel bir bakış yapılırsa; bir bilimin, bilginin organizasyonu, öğrenme, problem çözme, teorem ispatlama, bilimsel buluşların modellenmesi gibi bir çok konuyla ilgilendiği görülmektedir. Bu yetenekler ile donatılan bilgisayarlar problemlere çözüm üretirken insanın problemleri çözme sürecini taklit etmektedir (Öztemel 2006).

Diğer yandan yapay zeka yöntemlerini geleneksel matematik çözüm yöntemlerinden ayıran en önemli özellik ters (inverse) problemleri çözme kabiliyetidir. Yapay zeka yöntemleri inşaat projelerinin yönetimi alanında da pek çok uygulama alanı bulmuştur (Dikmen ve diğ. 2009).

5.1. Yapay Zekanın Hedefleri :

Yapay zekanın hedefleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- İnsan beyninin fonksiyonlarını bilgisayar modelleri yardımıyla anlamaya çalışmak,
- İnsanların sahip oldukları zihinsel yetenekleri, bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji, yöntem ve teknikleri araştırmak,
- Belirli bir uzmanlık alanı içindeki bilgileri bir bilgi sistemi halinde toplamak,
- Geleceğin bilgi toplumunun kurulmasında önemli rol oynayacak genel bilgi sistemleri geliştirmek,
- Bilimsel araştırma ve buluşlarda yararlanmak üzere, araştırma yardımcılarını geliştirmek (Altıntaş vd. 1998).

5.2. Yapay Zeka Teknikleri

Yapay zeka teknikleri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Elmas 2007);

- Yapay Sinir Ağları (YSA),

- Bulanık Mantık (BM),
- Uzman Sistemler (US),
- Genetik Algoritma (GA).

5.3. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Yapay sinir ağları bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde,

- Öğrenme
- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Özellik belirleme
- Optimizasyon
-

gibi konularda başarılı şekilde uygulanmaktadırlar. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur; ve benzer konularda benzer kararlar verirler. (Öztemel 2006).

Yapay sinir ağları, farklı zeki özellikleri bulundurmasından dolayı pek çok uygulama alanında kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları, bir sisteme ilişkin çeşitli parametrelere bağlı olarak tanımlanan girişler ve çıkışlar arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal formda olması zorunlu değildir. Ayrıca Yapay sinir ağları, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine de uygun çıkışlar sağlamakta, böylelikle çok karmaşık problemlere bile iyi çözümler üretebilmektedirler (Sağiroğlu vd. 2003).

Yapay sinir ağlarının başlıca uygulama alanları sınıflandırma, tahmin ve modelleme olarak ele alınabilir. Bunlar aşağıda açıklanmıştır (Elmas 2007);

Sınıflandırma: Müşteri/Pazar profilleri, tıbbi teşhis, imza tetkikleri, borçlanma/risk değerlendirmeleri, ses tanıma, şekil tanıma, mal değeri, hücre tiplerinin sınıflandırılması;

Tahmin: İleriki satışlar, üretim ihtiyacı, Pazar performansı, ekonomik deliller, enerji ihtiyacı, tıbbi sonuçlar, kimyasal reaksiyon ürünleri, hava tahminleri, at yarışları, çevresel riskler. Ayrıca, yapı inşaat maliyet tahminleri ve diğer maliyet tahminleri;

Modelleme: İşlem kontrolü, kimyasal yapılar, dinamik sistemler, işaret karşılaştırma, kaynak kontrolü, robot kontrolü ve diğer birçok uygulamalar.

5.3.1. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri ve Kullanım Amaçları

Yapay sinir ağlarının yararlı ve ilgi çekici birçok özelliği bulunmaktadır. En önemli özelliği öğrenebilme yeteneğidir. Yapay sinir ağlarının yapısını ve öğrenme kurallarını değiştirmeden sadece öğretim materyalini değiştirerek öğrenmesi sağlanabilmektedir (Elmas 2007).

Yapay sinir ağlarının genel karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel 2006);

- **Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler:** Yapay sinir ağlarının temel işlevi bilgisayarların öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında benzer kararlar vermeye çalışırlar.
- **Bilginin saklanması:** Yapay sinir ağlarında bilgi ağın bağlantılarının değerleri ile ölçülmekte ve bağlantılarda saklanmaktadır. Diğer programlarda olduğu gibi veriler bir veri tabanında veya programın içinde gömülü değildir.

- **Yapay sinir ağı örnekleri kullanarak öğrenirler:** Yapay sinir ağlarının olayları öğrenebilmesi için o olay ile ilgili örneklerin belirlenmesi gerekmektedir. Örnekleri kullanarak ilgili olay hakkında genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulurlar. Örnekler ise gerçekleşmiş olan olaylardır.
- **Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir:** Yapay sinir ağlarının eğitilmesi demek, mevcut örneklerin tek tek ağa gösterilmesi ve ağın kendi mekanizmalarını çalıştırarak örnekteki olaylar arasındaki ilişkileri belirlemesidir. Her ağı eğitmek için elde bulunan örnekler iki ayrı sete bölünürler. Birincisi ağı eğitmek için (eğitim seti) diğeri ise ağın performansının sınamak için (test seti) kullanılır. Her ağ önce eğitim seti ile eğitilir. Ağ bütün örneklerle doğru cevaplar vermeye başlayınca eğitim işi tamamlanmış kabul edilir. Daha sonra ağın hiç görmediği test setindeki örnekler ağa gösterilerek ağın verdiği cevaplara bakılır. Eğer ağ hiç görmediği örneklerle kabul edilebilir bir doğrulukla cevap veriyorsa o zaman ağın performansı iyi kabul edilir ve ağ kullanıma alınır. Eğer ağın performansı yetersiz olursa o zaman yeniden eğitmek veya yeni örneklerle eğitmek gibi bir çözüme gidilir.
- **Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri vardır:** Yapay sinir ağlarının örneklerle kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olması ve sürekli yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür.
- **Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler:** Yapay sinir ağları kendileri eğitildikten sonra eksik bilgilerle çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilirler. Eksik bilgilerle de çalışmaya devam ederler.
- **Hata toleransına sahiptirler:** Yapay sinir ağlarının eksik bilgilerle çalışabilme yetenekleri hatalara karşı toleranslı olmalarını sağlamaktadır. Ağın bazı hücrelerinin bozulması ve çalışamaz duruma düşmesi halinde ağ çalışmaya devam eder. Ağın bozuk olan hücrelerinin sorumluluklarının önemine göre ağın performansında düşmeler görülebilir.

- **Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler:** Yapay sinir ağlarının belirsiz bilgileri işleyebilme yetenekleri vardır. Olayları öğrendikten sonra belirsizlik altında ağlar öğrendikleri olaylar ile ilgili ilişkileri kurarak karar verebilirler.
- **Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilir:** Ağ kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak görmediği örnekler hakkında bilgiler üretebilirler.
- **Örüntü tamamlama gerçekleştirebilirler:** Bazı durumlarda ağa eksik bilgileri içeren bir örüntü veya bir biçim verilir. Ağın bu eksik bilgileri bulması istenir. Örneğin yırtık bir resmin kime ait olduğunu belirlemesi ve tam resmi vermesi gibi bir sorumluluk ağdan istenebilir.
- **Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler:** Yapay sinir ağları sadece nümerik bilgiler ile çalışırlar. Sembolik ifadeler ile gösterilen bilgilerin nümerik gösterime çevrilmeleri gerekmektedir.

5.3.2. Yapay Sinir Ağlarının Temel Elemanları

Yapay sinir ağları insan beyninden esinlenmiş yapılardır. Bu yüzden, yapay sinir ağlarının yapısını anlamak için insan beyninin yapısını ve çalışma şeklini anlamak gerekmektedir (Baykan 2007).

İnsanın beyinsel gücünün en önemli yapı taşlarından birisi nöronlardır. Bir biyolojik nöron temel olarak diğer kaynaklardan girdiler alır, belirli şekilde bunları birleştirir, sonuç üzerinde bir işlem uygulayarak nihai sonucu üretir. Beynin çalışması genel olarak üç aşamadan oluşur (Yazıcı vd. 2007);

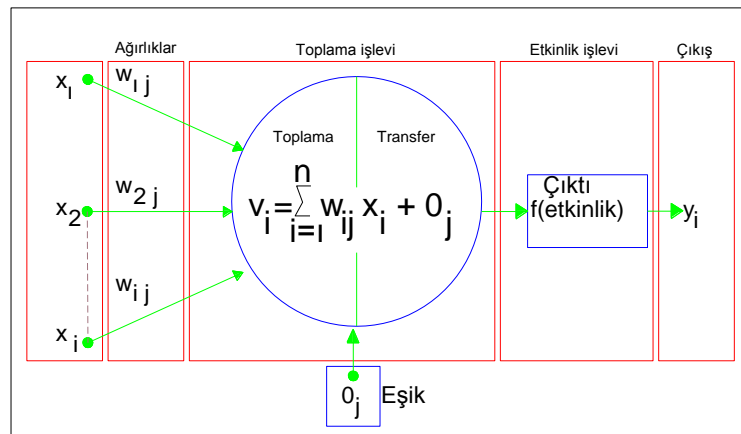
- i. Bilgi girişi
- ii. Sentezleme ve karşılaştırma
- iii. Bilgi çıkışı ve eylem

Beynin bu işlevleri yerine getirebilmesini sağlayan ise temel yapı elemanı olan sinir hücreleri yani nöronlardır. Sinir hücreleri birbirleri ile ilişki halindedirler.

Bu sıkı ilişki, sinirsel işlevin temelini oluşturan bilgi akışını sağlar. Biyolojik sinir ağını oluşturan insan beynindeki nöronlar, üç temel bölgeden oluşmaktadır (Yazıcı vd. 2007).

- i. Çekirdek ve Soma (Hücre Gövdesi); Hücrenin gövde kısmında bulunan çekirdek, hücrenin temel işlevlerini belirleyen ve DNA molekülü üzerine kodlanmış halde bulunan genetik bilgiyi içerir. Hücre etkinliklerine ilişkin yapım/yıkım (Metabolizma) faaliyetlerinin büyük bir çoğunluğunu hücre gövdesinde yürütür.
- ii. Dendritler ve Aksonlar; Hücre gövdesinden çıkan uzantılardır. Kısa ve ağaç dalları biçiminde ve genellikle çok sayıda olan yapılar dendrit adını alır. Diğer hücrelerin aksonlarıyla gelen sinir sinyallerini alarak ait oldukları hücre gövdesine taşırlar.
- iii. Sinapslar; Akson ve dendritlerin veri iletimi amacıyla bir araya geldikleri birleşim yerlerine sinaps adı verilir. Sinapslar, bir hücrede üretilen sinyalleri yapısına ve biyofiziksel özelliklerine bağlı olarak sonraki hücreye iletirler.

Yapay sinir ağları ise; biyolojik hücrelerin özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmiştir (Öztemel 2006). Yapay sinir ağlarının temel birimi, işlem elemanı olarak adlandırılan yapay bir sinir hücresidir. Bir yapay sinir, biyolojik sinirlere göre daha basit olmasına karşın, biyolojik sinirlerin temel işlevlerini taklit ederler. Şekil 5.1.'de bir sinir (düğüm) gösterilmiştir (Elmas 2007).

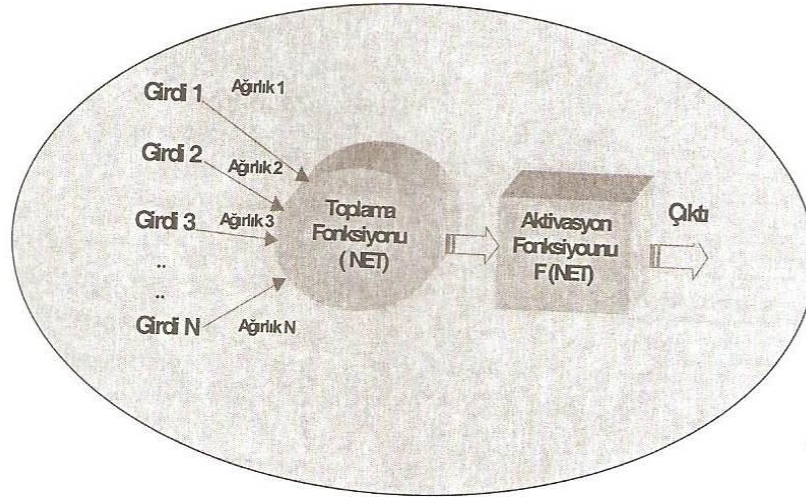


Şekil 5.1 Yapay bir sinir (düğüm) hücresi

Girişler X_j sembolüyle gösterilmiştir. Bu girişlerin her biri ağırlık w ile çarpılır. Basitçe, bu ürünler eşik değeri θ_j ile toplanır ve sonucu oluşturmak için etkinlik işlevi (Aktivasyon fonksiyonu, Transfer fonksiyonu olarak da isimlendirilmektedir) ile işlem yapılır ve y_j çıkışı alınır (Elmas 2006).

Tüm yapay sinir ağları bu temel yapıdan türetilmişlerdir. Bu yapıdaki farklılıklar yapay sinir ağlarının farklı sınıflandırılmalarını sağlar. Bir yapay sinirin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisinde ağırlıkların uygun bir şekilde ayarlanmasına bağlıdır (Elmas 2006).

Yapay sinir hücreleri mühendislik biliminde proses elemanları olarak da adlandırılmaktadır. Her proses elemanın (Sinir hücresinin), Şekil 5.2'de daha açık biçimde gösterildiği gibi beş temel elemanı vardır (Öztemel 2007). Bunlar:

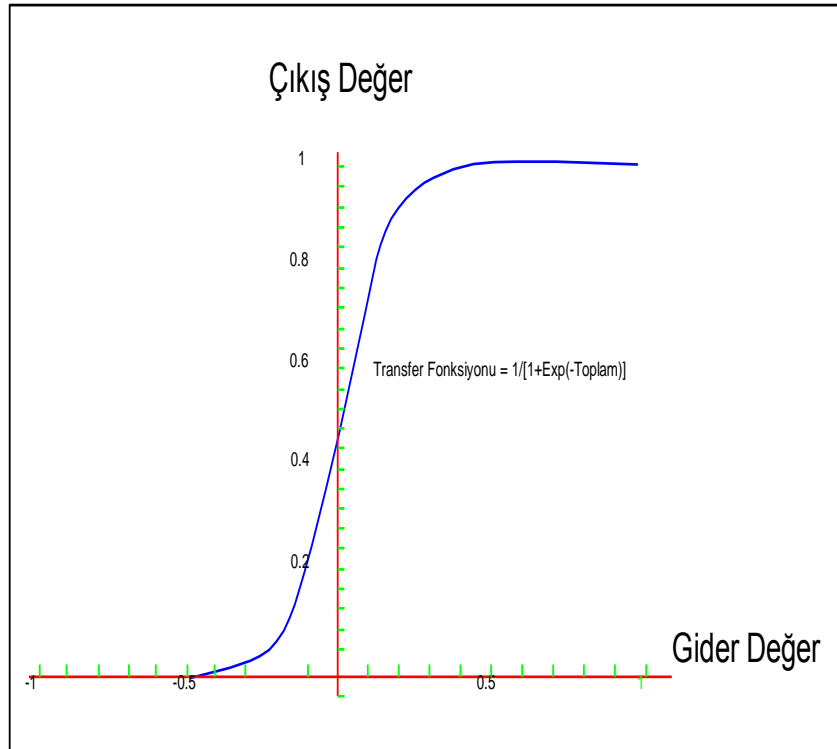


Şekil 5.2 Yapay sinir hücresinin yapısı

- **Girdiler:** Bir yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Yapay sinir hücresine dış dünyadan olduğu gibi başka hücrelerden ve kendi kendisinden de bilgiler gelebilir;
- **Ağırlıklar:** Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Şekildeki ağırlık 1, Girdi 1'in hücre üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya

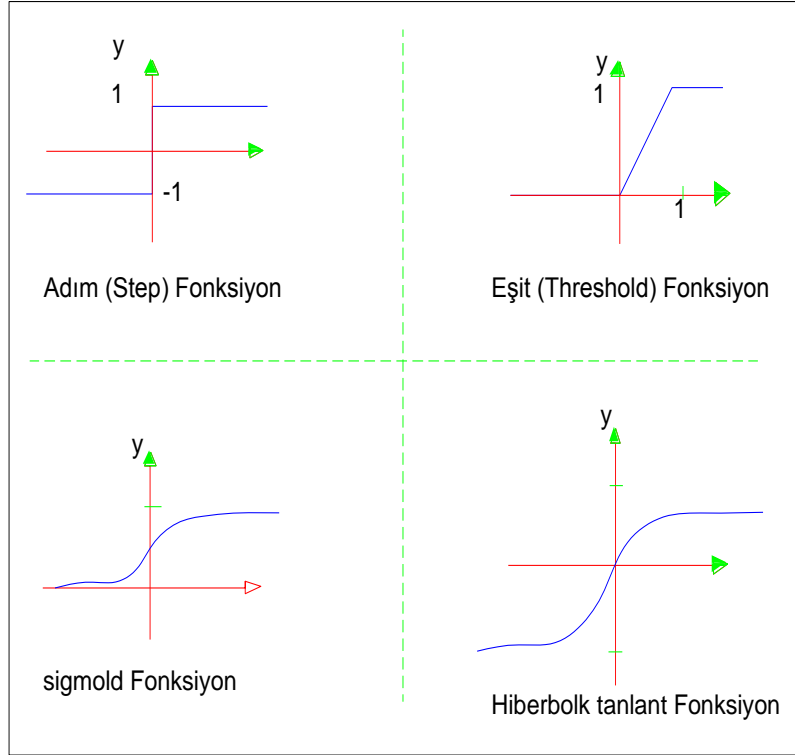
önemsiz olduğu anlamına gelmemektedir. Ağırlıklar değişken ya da sabit değerler olabilirler;

- **Toplama Fonksiyonu:** Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Burada G girdileri, A ise ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir. Bir problem için en uygun toplama fonksiyonunu belirlemek için bir formül yoktur. Genellikle deneme yanılma yolu ile toplama fonksiyonu belirlenmektedir.
- **Aktivasyon fonksiyonu:** Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan “Çok Katmanlı Algılayıcı” modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Transfer fonksiyonunun çalışma yapısı Şekil 5.3’de Sigmoid fonksiyonu kullanılarak örneklenmiştir (Sönmez 2010).



Şekil 5.3 Transfer fonksiyonunun çalışma yapısı

Genellikle kullanılan diğer transfer fonksiyonları eşik, hiperbolik, tanjant vb. fonksiyonlardır. Bu fonksiyonlar arasında en çok kullanılanlar Şekil 5.4'de gösterilmiştir (Sönmez 2009).



Şekil 5.4 En çok kullanılan transfer fonksiyonları

- **Hücrenin Çıktısı:** Aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenen çıktıya ait değeri ifade etmektedir. Üretilen çıktı dış dünyaya veya başka bir hücreye gönderilir. Hücre kendi çıktısını kendisine girdi olarak da gönderebilir. Bir sinir hücresinin birden fazla girdisi olmasına rağmen bir çıktısı bulunmaktadır (Öztemel 2006).

5.3.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Test Etme

Belirli bir uygulamaya yönelik yapılandırılan bir sinir ağı kullanılmadan önce eğitilmelidir. Bu aşama, deneyim yoluyla öğrenme özelliği için kilit önem taşımaktadır. Genel olarak, başlangıç ağırlıkları rassal olarak seçilir ve eğitime ya da diğer bir ifadeyle öğrenme işlemi bundan sonra başlamaktadır (Baykan 2007).

Yapay sinir ağlarında proses elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine “**ağın eğitilmesi**” denir. Başlangıçta ağırlık değerleri rastgele olarak atanır. Yapay sinir ağları kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Örnekler ağa defalarca gösterilerek en doğru ağırlık değerleri bulunmaya çalışılır. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleme özelliğine kavuşması işlemine ağın öğrenmesi denir. Ağırlıkların değerlerinin değişmesi belirli kuralara göre yürütülmektedir. Bu kuralara öğrenme kuralları denir (Öztemel 2006).

Yapay sinir ağlarında öğrenme olayının iki aşaması vardır. Birinci aşamada ağa gösterilen örnek için ağın üreteceği çıktı belirlenir. Bu çıktının doğruluk derecesine göre ikinci aşamada ağın bağlantılarının sahip olduğu ağırlıklar değiştirilir. Ağın çıktısının belirlenmesi ve ağırlıkların değiştirilmesi öğrenme kuralına bağlı olarak farklı şekillerde olmaktadır (Öztemel 2006).

Bir ağın performansı, amaçlanan sinyal ve hata kriteri ile ölçülür. Öğrenme fonksiyonunun gerekli ağırlık ayarlamalarının yapılabilmesi için hata payının biliniyor olması gerekmektedir. Buna hata fonksiyonu denilmektedir. Hata fonksiyonu, bu amaca yönelik olarak, o anki çıktı ile istenilen çıktı arasındaki farkı yani, hata payını hesaplar ve gerekiyorsa bir transformasyon uygular. Bu hata, genellikle önceki tabakaya geri yayılır. Geri Yayılma (backpropagation) olarak adlandırılan bir algoritma hata payını azaltacak şekilde ağırlıkları ayarlamak için kullanılır. Bu işlem defalarca tekrar edilerek ağ eğitilir. (Baykan 2007).

Danışmanlı ve danışmansız olmak üzere iki tip öğrenme türü vardır. Danışmanlı öğrenmede bir öğretmene ihtiyaç vardır. Öğretmen, bir veri alıştırmaya kümesi veya ağın performansını derecelendiren bir gözlemci olabilir. Danışmanlı öğrenmede, arzu edilen ağ çıkışının elde edilmesi için, çıkış hatasının düşürülmesinde ağırlıkların uyarlanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Buna göre her giriş değeri için istenen çıkış sisteme tanıtılır ve yapay sinir ağının giriş-çıkış ilişkisini gerçekleştirene kadar aşama aşama ayarlanır. Danışmanlı öğrenmeye çok katmanlı perceptron, geriye yayılım, delta kuralı, Widrow-Hoff veya en küçük

karelerin ortalaması ve uyarlanabilir doğrusal eleman anlamına gelen ADALİNE örnek olarak verilebilir (Elmas 2007).

Danışmansız öğrenmede bir danışman veya öğretmen, girişin hangi veri parçası sınıfına ait olduğunu veya ağın nerede iyi sonuç vereceğini söylemez. Burada dışarıdan müdahale yoktur. Ağ veriyi üyeleri birbirinin benzeri olan öbeklere yol gösterilmeksizin ayırır. Danışmansız öğrenme danışmanlı öğrenmeye göre çok daha hızlıdır. Ayrıca matematik algoritmaları da daha basittir. Danışmansız öğrenmeye yarışmacı öğrenme, Kohonen'in Öz örgütlemeli harita ağları, Hebbian öğrenme, Grossberg öğrenme gibi öğrenme kuralları örnek olarak verilebilir (Elmas 2007).

Yukarıda da belirtildiği gibi, önemli öğrenme kurallarından bir kaçını aşağıdaki gibi örneklenerek açıklanmıştır (Elmas 2007).

- **Hebb Kuralı:** Eğer bir sinir başka bir sinirden giriş alırsa her ikisinde yüksek aktivite ise sinirler arasındaki boyut kuvvetlendirilir.
- **Hopfield Kuralı:** Hebb kuralı ile benzerlik taşımaktadır. Buna göre, "eğer istenilen giriş ve çıkışın her ikisi de aktif yada her ikisi de durgun ise, bağlantı boyutlarını öğrenme oranı kadar arttır, aksi halde boyutu öğrenme oranı kadar azalt" kuralına dayanır.
- **Delta Kuralı:** En çok kullanılan kurallardan biri olan Delta kuralı, Hebb kuralının daha geliştirilmişidir. Bu kural bir sinirin gerçek çıkışı ile istenilen çıkış değeri arasındaki farkı azaltmak için giriş bağlantı güçlerini sürekli olarak geliştirme fikrine dayanır. Bu kural ağ hatasının karesini minimize etmek için bağlantı boyutlarını değiştirir. Hata bir önceki katmana geri çoğaltılır. Bu tip ağ İleri Besleme Ağ olarak isimlendirilir, Geri yayılım adını bu hata terimlerini toplama yönteminden türetir.
- **Eğimli İniş Kuralı:** Bu kural delta kuralına benzer çünkü transfer fonksiyonunun türevi bağlantı ağırlıklarına uygulamadan önce, Delta hatasını düzeltmek için kullanılır. Bir ağın farklı katmanları için öğrenme oranları, test işleminde çıkışa yakın olan katmanların öğrenme oranından daha düşüktür. Giriş verilerinin güçlü bir modelden çıkarılamadığı uygulamalarda, bu işlem özellikle önemlidir.

- **Kohonen Öğrenme Kuralı:** Kohonen tarafından geliştirilen bu yöntem biyolojik sınırlardaki öğrenmeden esinlenilmiştir. Bu yöntemde sınırlar öğrenmek için elverişli durum ya da ölçülerini güncellemek için yarışır.

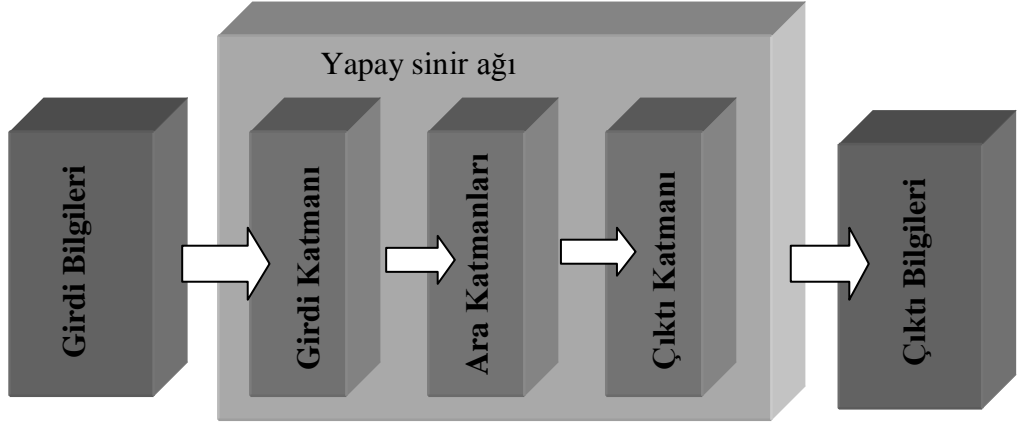
Yukarıda açıklanan öğrenme kurallarından birisi kullanılarak ağın eğitimi tamamlandıktan sonra, ağın öğrenip öğrenmediğini (performansını) ölçmek için yapılan denemelere ise “**ağın test edilmesi**” denilmektedir. Test etmek için ağın öğrenme sırasında görmediği örnekler kullanılır. Test etme sırasında ağın ağırlık değerleri değiştirilmez. Test örnekleri ağa gösterilir. Ağ eğitim sırasında belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak bu örnekler için çıktılar üretir. Elde edilen çıktılar doğruluk değerleri ağın öğrenmesi hakkında bilgiler verir. Sonuçlar ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir. Eğitimde kullanılan örnek setine eğitim seti, test için kullanılan sete ise test seti adı verilir. Yapay sinir ağlarının bu şekilde bilinen örneklerden belirli bilgileri çıkartarak bilinmeyen örnekler hakkında yorumlar yapabilme (genelleme yapabilme) yeteneğine Adaptif öğrenme denir (Öztemel 2006).

5.3.4. Yapay Sinir Ağının Yapısı

Daha önce belirtildiği gibi, yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağ oluştururlar (Öztemel 2006);

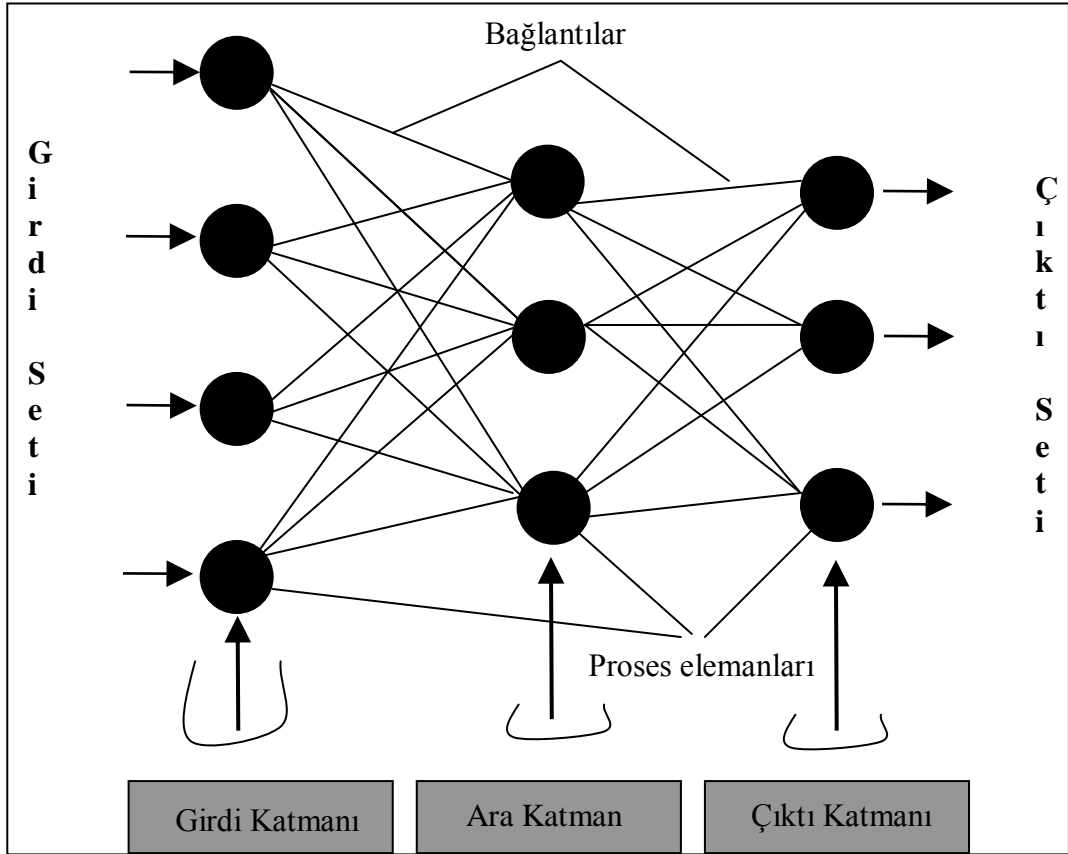
- **Girdi katmanı;** Bu katmandaki proses elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara transfer etmekle sorumludurlar.
- **Ara katmanlar** (Gizli katmanlar); Girdi katmanından gelen bilgiler işlenerek çıktı katmanına gönderirler. Bu bilgilerin işlenmesi ara katmanlarda gerçekleştirilir. Bir ağ için birden fazla ara katman olabilir.
- **Çıktı katmanı;** Bu katmandaki proses elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağın girdi katmanında sunulan girdi seti için üretilmesi gereken çıktıyı üretirler. Üretilen çıktı dış dünyaya gönderilir.

Şekil 5.5’de yapay sinir ağında bulunan üç katmanın birbirleri ile olan ilişkisi görülmektedir.



Şekil 5.5 Yapay sinir ağı katmanlarının birbirleri ile ilişkileri

Bu üç katmanın her birinde bulunan proses elemanları ve katmanlar arası ilişkiler şematik olarak Şekil 5.6' da gösterilmektedir. Şekilde yuvarlak elemanlar proses elemanlarını göstermektedir. Proses elemanlarını birbirlerine bağlayan çizgiler ise ağın bağlantılarını göstermektedir (Öztemel 2006).



Şekil 5.6 Bir yapay sinir ağı örneği

5.3.5.Yapay Sinir Ağı Modelleri

Yapay Sinir Ağları genel olarak ağıın mimari yapısına (Topolojisine) göre; ileri beslemeli (Feed-forward) ve geri beslemeli (feedback) olarak ikiye, öğrenme kuralına göre; Hebb, Hopfield, Delta ve Kohonen olmak üzere dörde, öğrenme algoritmasına göre; danışmanlı ve danışmansız olmak üzere ikiye ve uygulamaya göre de; off-line ve on-line olmak üzere ikiye ayrılır (Gülbağ 2006).

İleri beslemeli ağlarda, işlem elemanları genellikle katmanlara ayrılmıştır. İşaretler giriş katmanından çıkış katmanına tek yönlü bağlantılarla iletilir. Bir katmandaki her işlemci eleman bir sonraki katmandaki tüm elemanlarla bağlantılıdır ancak aynı katmandaki elemanlar arasında herhangi bir bağlantı bulunmamaktadır. Bu nedenle ileri beslemeli yapay sinir ağlarında, işlemci elemanlar arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmamakta, ve bu ağlar girilen verilere hızlı bir şekilde çıktı üretebilmektedirler (Baş 2006).

İleri beslemeli sinir ağlarında, bir katmandaki hücrelerin çıktıları bir sonraki katmana ağırlıkları üzerinden girdi olarak verilmektedir. Girdi katmanı dışarıdan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan ara katmanlardaki hücreye iletmektedir. Bu bilgi, ara katman ve çıktı katmanında işlenerek ağıın çıktısı belirlenir (Baş 2006).

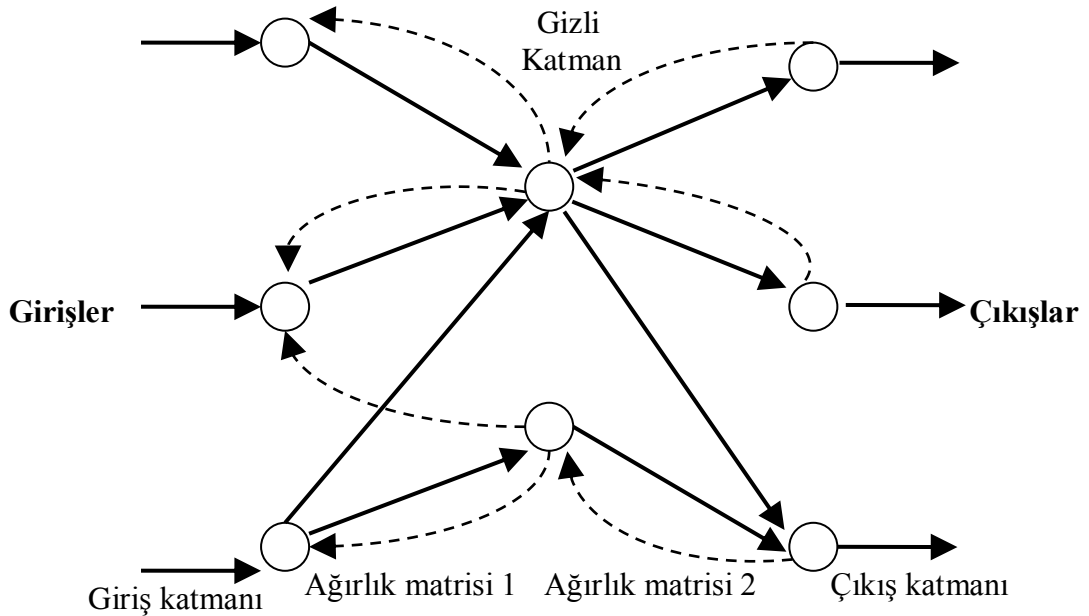
Bu ağlar, çok katmanlı ileri beslemeli ağlar olarak da isimlendirilir. Aynı zamanda bu ağlarda, çıkış katmanındaki hataların hangi gizli katmanda hangi ağırlıkta meydana gelebileceğinin saptanması için, gizli katmanların nasıl ayarlanacağını tanımlayan geri yayılım öğrenme algoritması kullanıldığından (Genelleştirilmiş delta kuralı), bu ağlar bazen geri yayılım ağları olarak da adlandırılmaktadır (Elmas 2007).

Geri beslemeli ağ mimarileri, genellikle danışmansız öğrenme kurallarının uygulandığı ağlarda kullanılmaktadır. Geri beslemeli ağlarda isminden de anlaşılacağı gibi bir tür geri besleme işlemi vardır (Elmas 2007).

İleri beslemeli geri yayılma mimarisi 1970'li yıllarda geliştirilmiştir. Bu mimarinin geliştirilmesinde birbirlerinden bağımsız olarak birkaç araştırmacının

katkıları olmuştur. Asıl katkı ise Rumelhart, Hinton ve Williams (1986) tarafından yapılmıştır (Baykan 2007). Ortaya çıkışından sonra, hem etkili hem de çok kullanışlı olmasından dolayı büyük bir popülerite kazanmıştır ve hala en çok kullanılan ağ türü olarak bilinmektedir. Çok sayıda farklı uygulama alanında kullanılmaktadır ve en büyük özelliği doğrusal olmayan yapı içeren problemlerde de etkili olabilmesidir (Baykan 2007).

Tipik bir geri yayılım ağının, bir girdi katmanı, bir çıktı katmanı ve en az bir gizli katmanı vardır. Gizli katmanların sayısı için teorik bir sınırlama yoktur. Şekil 5.7’de bir geri yayılım ağ örneği görülmektedir (Elmas 2007).



Şekil 5.7 Bir geri yayılım ağ örneği

Geri yayılım ağlarında katman sayısı ve her katmandaki düğüm sayısı dikkatle seçilmelidir. Bu sayıların ne olacağı hakkında kesin bir yöntem yoktur ve sadece takip edilecek genel kurallar bulunmaktadır. Bu kurallar aşağıdaki gibidir (Elmas 2007);

- i. Girdi verisi ve istenilen çıktı arasındaki ilişkinin karmaşıklığı artınca, gizli katmanlardaki işleme elemanlarının sayısı artmaktadır.
- ii. Eğer ele alınan süreç bir çok aşamalara ayrılabilirse, fazla sayıda katman kullanılmalıdır. Eğer süreç aşamalara ayrılamıyorsa, çok fazla

sayıda gizli katman kullanılıyorsa ağda yalnızca ezberleme ortaya çıkar ve yanlış genel sonuçlara yol açar.

- iii. Ağda kullanılan eğitim verisinin miktarı, gizli katmanlardaki işleme elemanlarının sayısı için üst bir sınır oluşturmaktadır.

Bir ağ oluşturmak için yukarıda belirtilen kurallar uygulandıktan hemen sonra, öğretme süreci başlamaktadır. Geri yayımlı ağlarda çok çeşitli öğrenme kuralı, hata fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanılabilir.

5.3.6. Çok Katmanlı Ağlar (Danışmanlı Öğrenme)

Yapay sinir ağlarının ilk modellerinin en temel özellikleri doğrusal olan olayları çözebilme yeteneklerine sahip olmalarıdır. Ancak bu ağlar ile doğrusal olmayan ilişkiler öğrenilememektedir. Bu sorunu çözmek için çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir. Çok katmanlı ağlar ileriye doğru bağlantılı ve üç katmandan oluşan bir ağdır. Bunlar (Öztemel 2006):

- **Girdi katmanı:** Dış dünyadan gelen girdileri (G_1, G_2, \dots, G_N) olarak ara katmana gönderir. Bu katmanda bilgi işleme olmaz. Gelen her bilgi geldiği gibi bir sonraki katmana gider.
- **Gizli (ara) katman:** Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek bir sonraki katmana gönderir.
- **Çıktı katmanı:** Ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağa girdi katmanından verilen girişlere karşılık ağın ürettiği çıktıları dış dünyaya gönderir.

Çok katmanlı ağların eğitilmesi felsefesi diğer ağlarınkinden farklı değildir. Ağın kendisine gösterilen girdi örneği için beklenen çıktıyı üretmesini sağlayacak ağırlık değerleri bulunmaktadır. Yukarıda da anlatıldığı gibi, başlangıçta bu değerler rasgele atanmakta ve ağa örnekleri gösterildikçe ağın ağırlıkları değiştirilerek zaman içerisinde istenen değerlere ulaşması sağlanmaktadır (Öztemel 2006).

5.3.7. Çok Katmanlı Ağların Uygulama Alanları

Çok katmanlı ağlar hayatın hemen hemen her alanında örnekleri görülen bir modeldir. Günümüzde uygulamaların sayısını dahi bilmek mümkün değildir. Genel olarak;

- sınıflandırma
- tahmin etme
- tanıma
- yorumlama
- teşhis etme

problemlerinde başarı ile kullanılmaktadır. Özellikle tıp alanında hastaların kalp atışlarının yorumlanması ve elektrokardiyografların anlaşılması gibi örneklerde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Öztemel 2006).

5.3.8. Yapay Sinir Ağı Uygulamalarının Avantajları ve Dezavantajları

Yapay sinir ağı uygulamalarının arkasında haklı gerekçeler ve yararlar vardır. YSA uygulamalarının avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Öztemel 2006).

- Yapay sinir ağları matematik olarak modellenmesi mümkün olmayan veya zor olan karmaşık problemleri çok rahat modelleyerek çözebilmektedir.
- Bu modelleme, problemi çözebilmek için sadece söz konusu olay ile ilgili örneklerin belirlenip toparlanmasına yardımcı olmaktadır. Örneklerin dışında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç yoktur.
- Gerçek dünyada olaylar ve olayların arkasındaki değişik faktörlerin birbirleri ile ilişkilerini ve birbirinin üzerindeki etkileri gerçek hayatta bilmek zordur. Yapay sinir ağları bu ilişkileri otomatik olarak örneklerden öğrenirler.
- Yapay sinir ağları uygulamaları hem pratik hem de maliyet bakımından daha ucuzdurlar. Sadece örneklerin belirlenmesi ve basit bir program problemi çözmek için yeterli olabilmektedir.

- Yapay sinir ağıları zaman bakımından da çok verimli çalışırlar. Örneklerin bulunması, ağların oluşturulması, olayı öğrenmesi, gerçek zamanda kullanıma alınması, çok kısa zaman diliminde mümkün olabilmektedir.
- Yapay sinir ağıları yeni bilgilerin ortaya çıkması ve ortamda bazı değişikliklerin olması durumunda yeniden eğitilebilirler.
- Yapay sinir ağlarının paralel çalışabilmeleri onların gerçek zamanlı kullanımlarını kolaylaştırmaktadır.

Yapay sinir ağlarının oluşturulmasında ve kullanılmasında avantajlar yanında dezavantajları da vardır. Bunların bazıları şöyle sıralanabilir (Öztemel 2006).

- Yapay sinir ağlarının oluşturulmasında, model seçilmesinde, ağın topolojisinin seçilmesinde bir kurallar seti yoktur. Kullanıcının tecrübesine dayalı olarak belirlenmektedir.
- Ağın davranışlarının açıklanması mümkün değildir. Bu ise ağa olan güveni azaltmaktadır.
- Eğitimin gerçekleştirilmesi uzun zamanlar alabilmektedir.
- Problemlere optimum sonuçlar garanti etmemektedir.

5.3.9. Yapay Sinir Ağlarının İnşaat Mühendisliği Alanında Uygulamaları

Yapay sinir ağları inşaat mühendisliği alanında bir çok problemin çözümünde kullanılmıştır. Depreme maruz betonarme çerçevelerde emniyetli yatay taşıyıcı tahmininde, sonlu-eleman, temelli yapısal analiz işleminin modellenmesinde, yapı malzemelerinin iç yapısındaki çatlakların belirlenmesi gibi problemlerin çözümünde başarılı sonuçlara ulaşılmıştır (Sağiroğlu vd. 2003).

Taş dolgu dalgakıranların tasarımında, ısı yalıtım hesaplarının tahmininde, inşaat maliyet hesapları tahmininde, inşaat projelerinde kaynak ihtiyacı tahmininde, kalıp işlerinde verimlilik ve adam saat tahmin modelinde kullanılmıştır.

5.4. Bulanık Mantık

Bulanık Mantık, Lutfi A. Zadeh (1965) tarafından ortaya atıldığından beri klasik mantık kurallarından farklı olarak bir çok üstünlükler içermesi, değişik alanlara uygulanabilir olması ve bulanık önermelere olanak sağlaması nedeniyle artan oranda yaygınlık kazanmıştır (Duru vd. 2008).

Bulanık mantık kavramı genel olarak insanın düşünme biçimini modellemeye çalışır. Bulanıklığın, kavram olarak kesinlik içermeyen bilgiyi başka bir deyişle belirsizliği ifade ettiği söylenebilir. Bulanık mantık ise, sözel değişkenler kullanılarak kesinlikler yerine belirsizliklerle çalışan bir yapay zeka tekniği olarak tanımlamak gerekmektedir. Sözel bir değişkenin tipik değeri örneğin, “sıcak” veya “soğuk” gibi sözcüklerle ifade edilir ve bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları ile temsil edilir. Bulanık mantığın klasik matematiksel yöntemlerden farkı, kesinliklerle çalışmaması ve niteliksel tanımlamalara olanak sağlamasıdır. Belirsizliklerin matematiksel olarak ifade edilmesi, karmaşık sistemlerin modellemesine bulanık mantığın getirdiği en büyük kolaylık olarak değerlendirilir (Gülbağ 2006).

Bulanık mantık, “kesin doğru” ve “kesin yanlış” arasındaki “kısmen doğru” kavramını kullanması nedeniyle ikili (klasik) mantığın genelleştirilmiş halidir. Bulanık mantık kavramının temellerini oluşturan bulanık küme, üyelik derecelerinin $[0,1]$ aralığında olmasıyla klasik kümeden ayrılır. Yukarıda da belirtildiği gibi, bulanık kümelerde üyelikler dilsel değişkenlerle ifade edilmektedir. Bu yüzden, dilsel değişkenler ile oluşturulan bulanık küme üyeliklerinin $[0,1]$ aralığındaki derece değerleri de dilsel terimlerle ifade edilir. Örneğin, “boy” bir dilsel değişken olarak tanımlanırsa, boy değişkeninin alabileceği dilsel değerler, kısa, orta, uzun, çok uzun şeklinde olabilir (Subaşı vd. 2009).

Klasik küme kavramında herhangi bir nesne bir kümenin üyesidir veya üyesi değildir. Yalnızca ‘0’ veya ‘1’ değerlerine sahiptir. Bunun ortası söz konusu değildir. Klasik mantığın aksine bulanık mantıkta elemanlar bulanık kümeye kısmen aittir ve ‘0’ ile ‘1’ arasındaki değerlerde kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 5.8’de ikili (klasik) mantık ve bulanık mantık farkı şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi klasik mantıkta ara değerler bulunmamaktadır (Durmuş 2005).



Şekil 5.8 Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki farkın gösterimi

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bulanık küme teorisi genel bir matematiksel yaklaşımdır. Bu yaklaşım ile çözülmesi güç olan problemler genel bir yapıya kavuşturularak daha kolay sonuca gidilmektedir. Bulanık mantık kavramında, bir üyenin bir kümenin üyesi olup olmadığı üyelik fonksiyonları ile belirlenir. Bu kavram ile bulanık mantığın kullandığı çıkarım yöntemleri kullanılarak olaylar hakkında yorum yapmaya çalışılır. Buradan, bulanık kümelerin nesnel değil öznel olduğu sonucu çıkarılabilir. Bulanık küme teorisi kısmi üyeliğe izin veren bir mantık sistemidir. Yani bir kümenin tam üyeliği ile o kümenin üyesi olmama durumları arasında derece derece geçişe izin verir. Verilen bir elemanın bir kümede kısmi üyeliğinin bulunması demek, aynı zamanda bu elemanın bu kümenin üyesi olmama durumunun da kısmen başlaması demektir. Çünkü bulanık küme teorisi, hem tam üyeliğe hem de hiç üye olmamaya izin verir. İşte bundan dolayı bulanık küme teorisi klasik küme teorisinin genelleştirilmiş halidir denilebilir (Gülbağ 2006).

Yukarıda anlatılanlar çerçevesinde, bulanık mantığın temel genel özellikleri aşağıda çıkartılmıştır:

- Kesin değerler yerine, yaklaşık veya kısmi değerler;
- Tamamı veya hiçbiri yerine bir derece;
- 0 veya 1 yerine, 0 ve 1 aralığında belirli bir derece;
- Bulanık mantıkta bilgi, az-çok, büyük- küçük gibi dilsel ifadelerle gösterilir;
- Bulanık çıkarım, dilsel ifadeler ile tanımlanan kurullarla yapılır;
- Bulanık mantık, matematiksel modellemesi zor olan sistemler için oldukça uygundur;
- Bulanık mantık, tam olarak bilinmeyen veya eksik olan bilgiler kullanarak işlem yapma ve sonuç çıkarma kabiliyetine sahiptir.

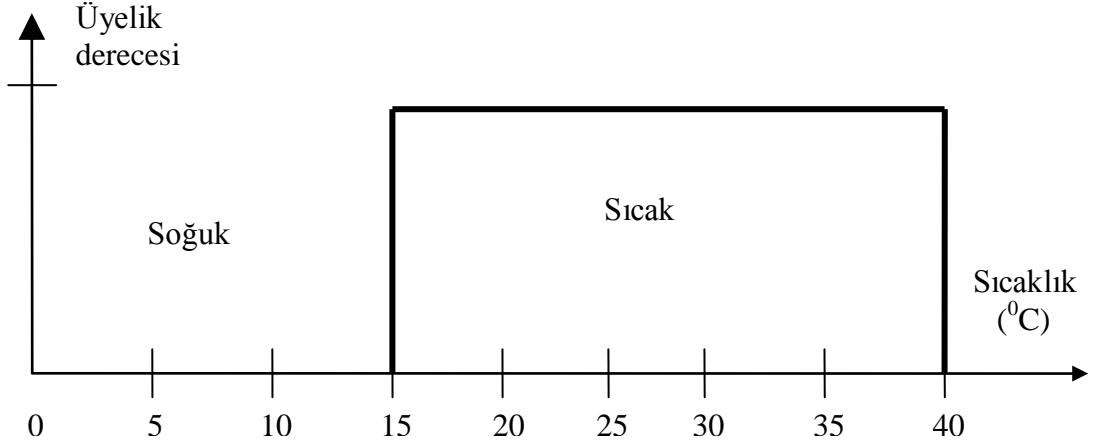
Bulanık mantık işlemleri problemin analiz edilmesi ve tanımlanması, kümelerin ve mantıksal ilişkilerin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır. Bir çok ön koşul kullanarak bulanık mantığın problemi çözüme götürüp götürmeyeceğine karar verilebilir. Öncelikle çözülecek problem için bulanık mantık yaklaşımının doğru bir seçenek olup olmadığına karar verilir. Eğer uygulanacak sistemin davranışı kurallarla ifade edilebiliyorsa veya karmaşık bir matematiksel işlem gerektiriyorsa, bulanık mantık yaklaşımı uygulanabilir. Aksi takdirde bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar büyük olasılıkla istenilen değerleri vermeyecektir (Elmas 2007).

Bulanık mantığın bir başka özelliği de işlenen verilerin ve bilgilerin belirsiz, eksik, yanlış ve hatta çelişkili olduğu durumlarla yetinmesidir. Bulanık mantık çok karmaşık bir problemi tamamen çözemese de etkili metotlar geliştirir. Ayrıca, bulanık mantık ile tasarlanan ürünlerin kullanımı, tasarlanması, denenmesi daha kolay ve standart sistemlere göre daha iyi bir denetim sağlamaktadır. Ayrıca bulanık mantığın uygulamaya geçirilişi kolay, hızlı ve ekonomiktir (Elmas 2007).

5.4.1. Bulanık Küme Teorisi ve Üyelik İşlevleri

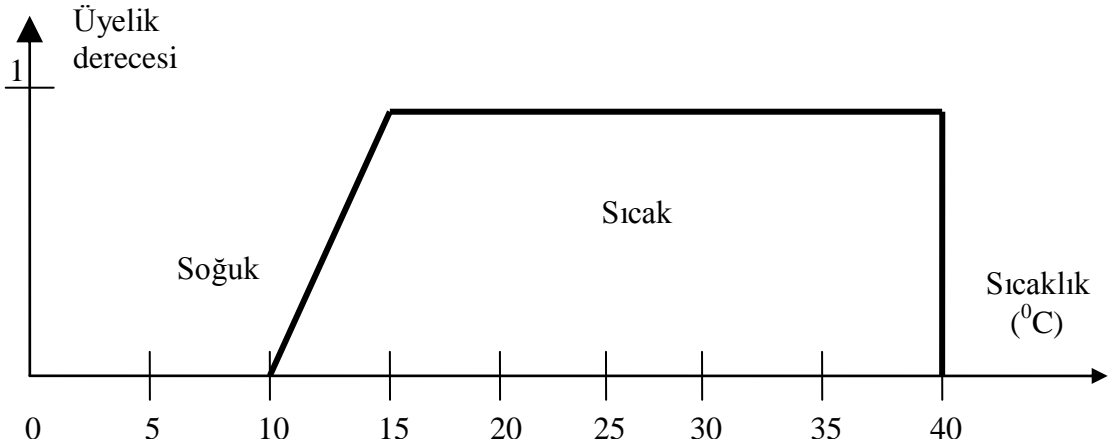
Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiçbir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik veya yeni ürün kümelerinde elemanların üyelikleri $[0,1]$ değerlerini alır. Bulanık mantık ise, insanın günlük yaşantısında nesnelere verdiği üyelik değerlerini, dolayısıyla insan davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam olarak ısısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır (Elmas 2007).

Klasik kümelere örnek Şekil 5.9'da verilmiştir. Eğer sıcaklık 20°C 'nin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık kuramına göre 19.5°C sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir (Elmas 2007).



Şekil 5.9 Sıcaklık için bir keskin küme örneği

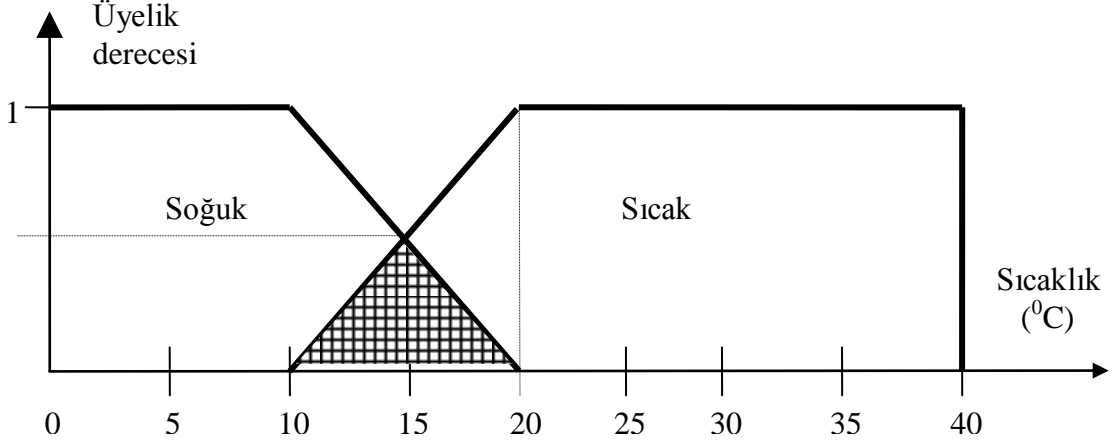
Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Keskin kümelerdeki soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, aydınlık-karanlık gibi ikili değişkenler, bulanık mantık teorisinde biraz soğuk, biraz sıcak, biraz karanlık gibi esnek niteleyicilerle yumuşatılarak gerçek dünyaya benzetilir. Bulanık kümeler için Şekil 5.10'da bir örnek verilmiştir.



Şekil 5.10 Sıcaklık için bir bulanık küme örneği

Burada 10-40 °C arasındaki değerler sıcak kümesine üyedirler. 20-40 °C arasındaki değerlerin üyelik dereceleri 1'dir, 10-20 °C derece arasındaki sıcaklıkların ise üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değişecektir. Başka bir deyişle örneğin 11°C az sıcak, 15 °C biraz sıcak olarak değerlendirilecektir. 20°C'yi oda sıcaklığı kabul ederek, soğuk

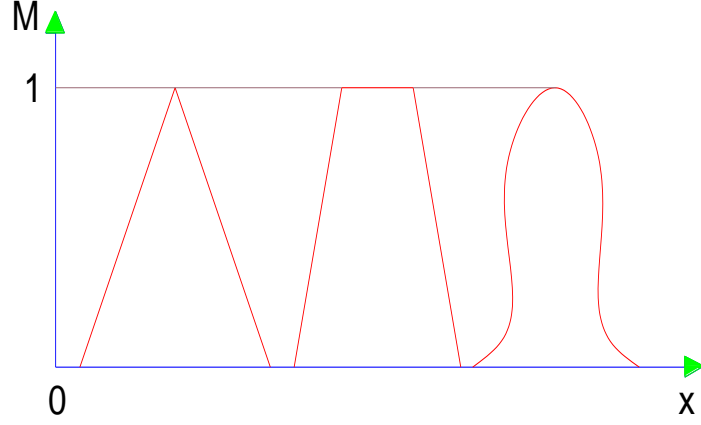
bulanık kümesi oluşturulduğunda Şekil 4.9' elde edilir. Şekil 5.11.'de görüldüğü gibi, 15 °C 0.5 üyelik derecesi ile hem sıcak bulanık kümesine, hem de soğuk bulanık kümesine üyedir. 10 ile 20 derece arasındaki değerler hem sıcak hem de soğuk kümesine aittirler. Şekilde taralı olarak gösterilen bu bölge bulanık kümelerin kesişim bölgesidir ve bulanık kümelerin örtüşümü olarak adlandırılır (Elmas, 2007).



Şekil 5.11 Bulanık kümelerde örtüşüm

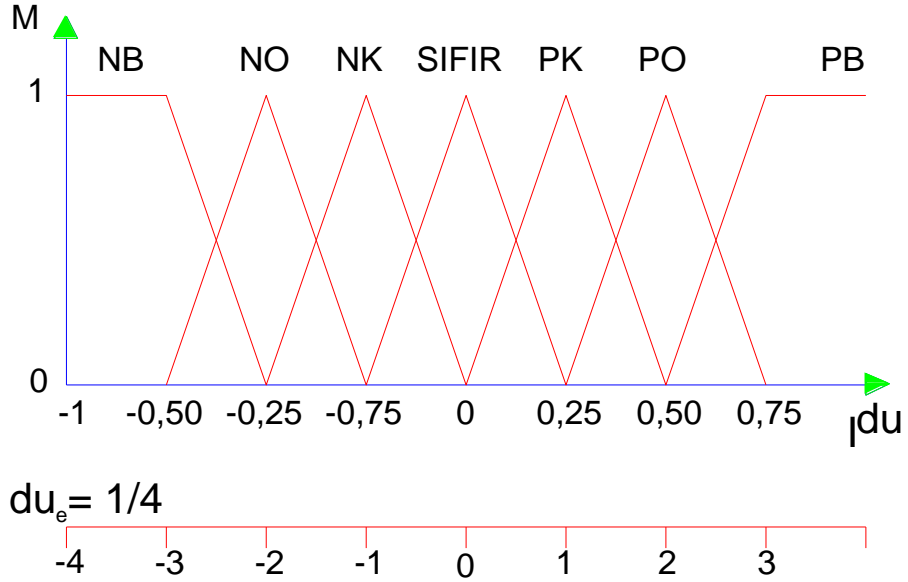
Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının uygulama ile örtüşen ve doğru bir şekilde belirlenmesi bulanık küme teorisinin esasını oluşturmaktadır. Bu nedenle üyelik fonksiyonları bir kez belirlendikten sonra, bulanık küme teorisinde bulanık olan herhangi bir şey kalmadığı söylenir. Bulanık küme teorisi, bulanık küme elemanlarının üyelik derecelerini göstermek için $[0,1]$ aralığındaki gerçek sayıların kullanılmasını önermektedir (Kömür vd. 2005).

Bulanık mantık sisteminin temeli, üyelik işlevlerinden ortaya çıkarılan dilsel değişkenlerin oluşturduğu girişleri karar verme sürecinde kullanmaktır. Bu değişkenler, dilsel EĞER-O HALDE kuralların ön şartları tarafından birbirleriyle eşleşirler. Her bir kuralın sonucu, girişlerin üyelik derecelerinden, durulaştırma metoduyla sayısal bir değer elde edilmesiyle belirlenir. Bulanık mantık sistemin kural listesi ve üyelik işlevi dizaynı için genellikle uzman işletmenden sağlanan bilgiler kullanılmaktadır Üyelik işlevleri Şekil 5.12'de görüldüğü gibi üçgen, yamuk, çan eğrisi olarak kullanılmaktadır. (Elmas 2007).



Şekil 5.12 Üçgen yamuk ve çan eğrisi üyelik işlevleri

Üyelik işlevleri genellikle küçük, orta, büyük olarak 3, küçük, orta küçük, orta, orta büyük, büyük olarak 5 veya çok küçük, küçük, az küçük, sıfır, az büyük, büyük, çok büyük olarak 7 etiketle tek sayı olarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak 7 etiketli oluşturulmuş ölçeklendirilmiş üçgen üyelik işlevleri Şekil 5.13’de verilmiştir. Burada bulanık bölümleme için ölçeklendirme katsayısı $1/4$ olarak alınmıştır. Bu değer $1/4$, $1/8$ gibi denetim stratejisine uygun herhangi bir değer olabilir (Elmas 2007).



Şekil 5.13 Yedi ayrı etiketli üyelik işlevleri ve örnek ölçeklendirme katsayısı

5.4.2. Bulanık Mantıkta Sistem Tasarımı

Bir bulanık mantık sistemi tasarlarken gerekli temel aşamalar aşağıdaki gibidir (Elmas 2007).

- i. Öncelikle problemin çözümü için bulanık mantığın uygun olup olmadığı tespit edilir. Eğer sistemin davranışı hakkındaki bilgi klasik kuralların tanımlanması için yeterliyse bulanık mantık yeterlidir.
- ii. Ele alınan sistemin durum, giriş ve çıkış değişkenleri dizileri tanımlanır. Algılayıcılardan gelen ölçümler giriş, denetim ve çıkış değişkenleri dizilerini üretir.
- iii. Her bir giriş ve çıkış parametresi için üyelik işlevleri tanımlanır. Üyelik işlevlerinin sayısı tasarımcının seçimi ve sistemin davranışına bağlıdır.
- iv. Bilginin esas bölümü, uzman dilsel kuralları, sezgisel olarak elde edilen bilgileri, giriş ve çıkış bilgilerinin ölçümlerini içerir.
- v. Bir kural tabanı tertip edilir. Kural tabanında tasarımcı, kuralların ne kadar önemli olduğunu tanımlar.
- vi. Oluşturulan kural tabanı ile örnek girişler için sistemin çıkışlarına bakılır. Elde edilen çıkışların, doğruluğu ve girilen girişler kümesi için kural tabanına uygunluğu tespit edilir.

5.4.3. Bulanık Kurallar Tabanının Oluşturulması

Uzman bilgileri genellikle “eğer sistem şu durumda ise o halde şöyle bir denetim uygula” şeklindedir. Kısaca:

EĞER durum = x ise **O HALDE** denetim = y şeklindedir.

veya

(**IF** durum = x **THEN** denetim = y) şeklindedir (Elmas, 2007).

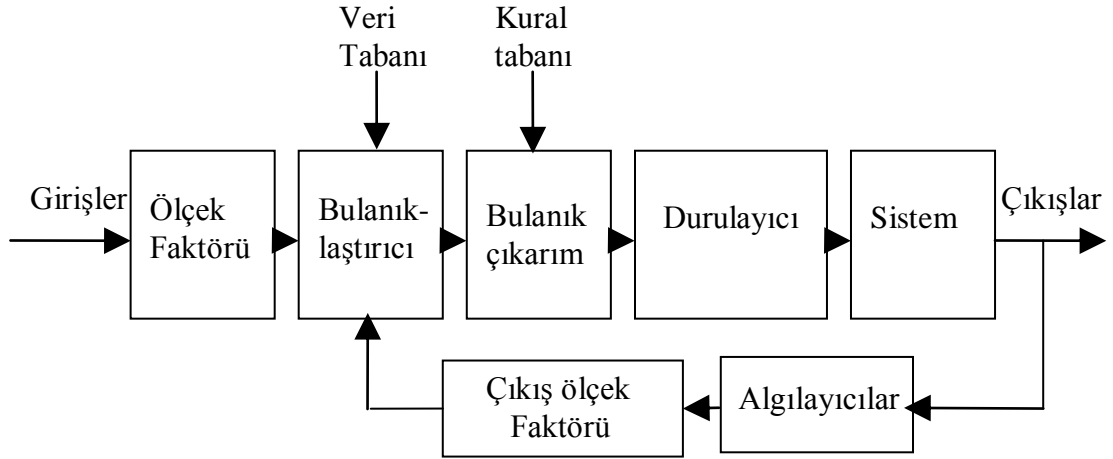
Bulanık mantık denetleyicinin en temel birimi olan bilgi tabanındaki bulanık denetim kurallarının oluşturulmasında genellikle dört yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Elmas 2007):

- Uzman deneyimleri ve mühendislik bilgilerine dayanarak,
- Sistemin bulanıklık modelinin kullanılmasına bağlı olarak,
- Operatörün sistem üzerinde yaptığı denetim işlemlerine bağlı olarak,
- Öğrenmeye dayalı, bulanık kural tabanlarının oluşturulması.

5.4.4. Bulanık Mantık Sistemlerinin Temel Yapısı

Bulanık mantıkta, bulanık küme tabanlı sistemler temel olarak dört bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler; bulanıklaştırma, bulanık kural tabanı, çıkarım ve durulaştırma olarak adlandırılmaktadır (Yakupoglu vd. 2008).

Bulanık küme tabanlı bir sistemin genel yapısı Şekil 5.14’de gösterilmiştir (Elmas 2007).



Şekil 5.14 Bulanık küme tabanlı bir sistemin genel yapısı

Şekilde de görüldüğü gibi, bulanıklaştırma birimi, giriş bilgilerini önceden belirlenmiş üyelik fonksiyonlarını kullanarak uygun sözel değerlerden oluşan bulanık ifadelere dönüştürür. Kural tabanı uzman kişinin kontrol yönetimini “Eğer-İse” [If-Then] kuralları şeklinde ifade eden, bulanık kurallar kümesinden oluşur. Çıkarım ünitesi, bulanıklaştırıcı çıkışını kural tabanındaki bulanık kurallar ile eşleştirir ve bulanık uygulamayı gerçekleştirecek uygun bir yorumlama yaptıktan sonra bulanık bir kontrol davranışına karar verir. Durulaştırıcı, kontrol edilen sisteme uygulayabilmek için sayısal kontrol işaretine çevirir (Gülbağ 2006).

5.4.5. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişken değerler atar (Elmas 2007).

5.4.6. Bulanık Mantık Kural Tabanı

Bulanık bir sistem çoğunlukla bir çok kuralı içeren bir kural tabanına sahiptir. Sistem içersinde yer alan bulanık kuralların tümü ise bulanık kural tabanını meydana getirir. Bir bulanık kural genel olarak şu şekildedir.

Eğer x A ise, O Halde y B'dir.

Diğer yandan bulanık kural tabanlı sistemlerin, doğrusal olmayan sistemleri için kullanılan en genel modelinde, hem giriş hem de çıkış şartları bulanık kümelerde tanımlanır. Tablo 5.1'de bu modelin genel formu görülmektedir (Elmas 2007).

Tablo 5.1 Bulanık kural tablosu

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇
B ₁	C ₁		C ₄	C ₄		C ₃	C ₃
B ₂		C ₁				C ₂	
B ₃	C ₄		C ₁			C ₂	C ₂
B ₄	C ₃	C ₃		C ₁		C ₁	C ₂
B ₅	C ₁		C ₄	C ₄	C ₁		C ₃

5.4.7. Bulanık Mantık Çıkarım Yöntemleri

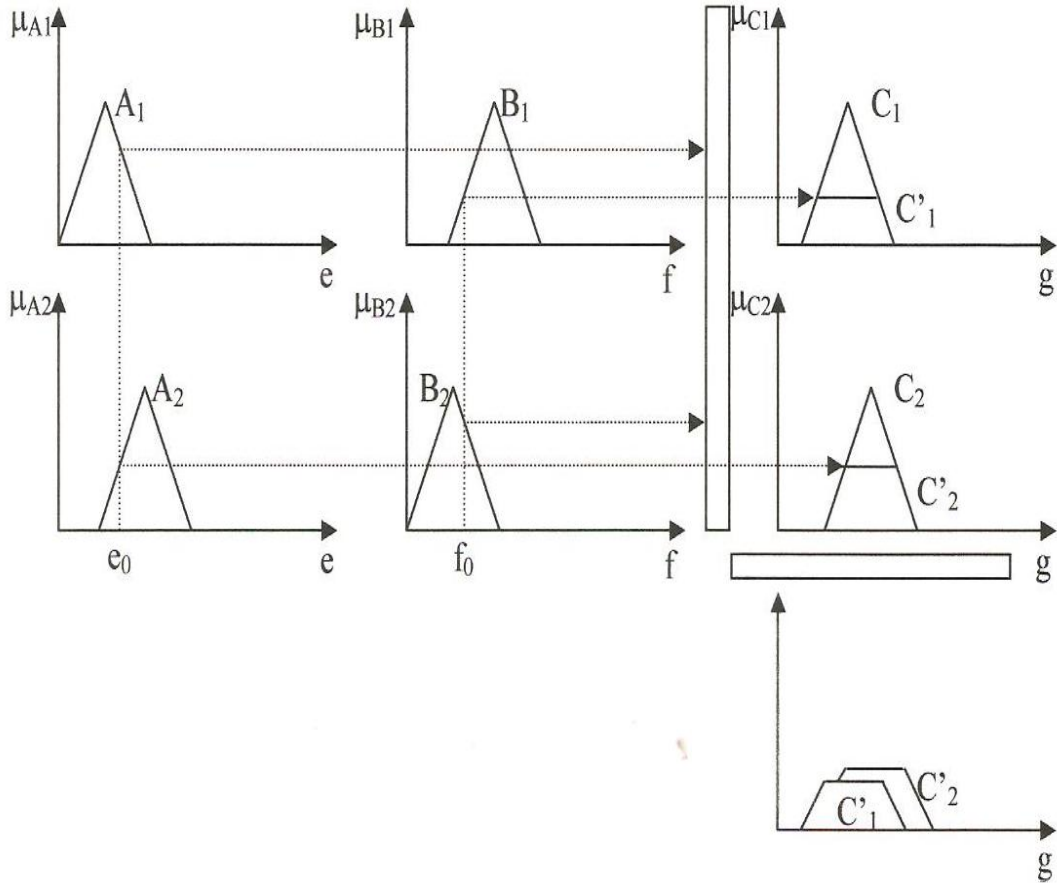
Bulanık mantık çıkarım sisteminin temel yapısı üç kısımdan oluşur: Bulanık kuralların seçimini içeren “kural tabanı”, bulanık kurallarda kullanılan üyelik fonksiyonlarının bilgilerini içeren “veri tabanı” ve kurallar doğrultusunda verilen

koşullara bağlı olarak çıkışları belirleyen “yargılama mekanizmasıdır”. Literatürde ve yapılan bilimsel çalışmalarda genellikle, Mamdani ve Sugeno tipi bulanık çıkarım yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Mamdani bulanık çıkarım sistemlerinde, A_i, B_i, C_i , sırasıyla $i=1,2,\dots, e \in E, f \in F, g \in G$ için E, F ve G’de tanımlanmak üzere iki tane bulanık denetim kuralı aşağıdaki gibi ifade edilir (Gülbağ 2006).

Eğer $e A_1$ ve $f B_1$ ise $g C_1$
 Eğer $e A_2$ ve $f B_2$ ise $g C_2$

Sözel değişkenler (e, f ve g) arasındaki ilişki genelleştirilmiş bulanık ilişkiye bağlı olarak maksimum ve minimum operatörler kullanılarak tanımlanır. Her bir kuralın koşul kısmında maksimum operatörü ve iki kuralı birleştirmek için de maksimum operatör kullanılmış ve bu durum Şekil 5.15’de özetlenmiştir (Gülbağ 2006).



Şekil 5.15 Mamdani bulanık çıkarım yöntemi

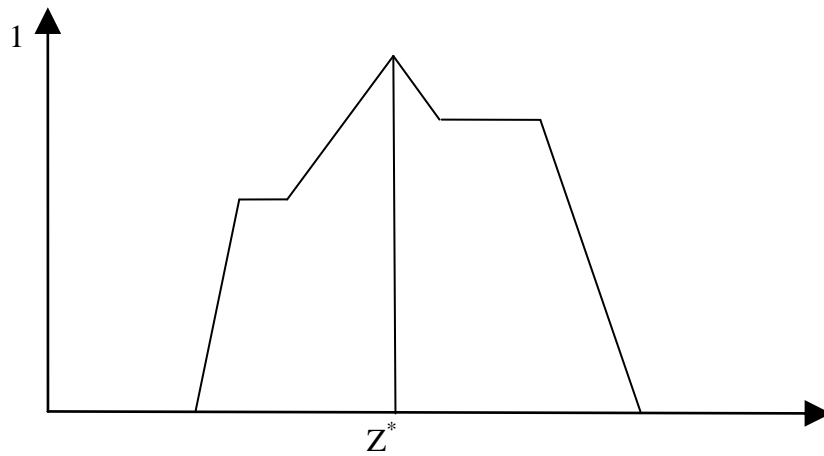
5.4.8. Durulaştırma

Bulanık ıkarım sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar (Elmas 2007).

Durulama işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. nce her kural için üyelik derecelerinden oluşan değer ve sonuç kural tespit edilir. Daha sonra en uygun yöntem seçilerek durulama yapılır. En çok kullanılan yöntemler şunlardır (Elmas 2007).

- Maksimum yelik yöntemi,
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Ağırlık ortalaması yöntemi,
- Mean-Max yelik yöntemi.

Bu yöntemler içersinde, ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan durulama yöntemidir. Bu yöntem Şekil 5.16'da grldğu gibi ifade edilmiştir (Elmas 2007).



ŞEKİL 5.16 Ağırlık merkezi yöntemi

5.4.9. Bulanık Mantık Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Bulanık mantık sistemlerinin klasik sistemlere göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Bulanık mantık sistemleri bulanık mantık kuramına dayanmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımının avantajları, bu sistemleri diğer klasik yöntemlere karşı üstün hale getirmiştir. Bu üstünlükler aşağıda sıralanmıştır (Elmas 2007):

- Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bilindiği gibi denetim işlemlerinin bir çoğu dilsel niteleyicilerle yapılmaktadır.
- Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en başarılı uygulama alanlarıdır.
- Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar.

Bulanık mantık sistemlerinin **dezavantajları** ise, aşağıda sıralandığı gibidir (Elmas 2007);

- Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekmektedir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir;
- Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde ve ayarlanmasında kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En iyi yöntem deneme yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman almaktadır;
- Bulanık mantık yaklaşımında üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanması çok zordur;

6. ÖNERİ YÖNTEM ve MODELİN SINANMASI

6.1. Modelin Oluşturulması

Bilindiği gibi, her anıtsal yapı günümüze farklı hasar düzeyleriyle ulaşmıştır. Yapılacak bir restorasyon çalışmasında, anıtsal yapının hem hasar düzeyine bağlı olarak, hem de seçilen restorasyon yöntemine göre, oluşan onarım miktarları da farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, restorasyon çalışmalarının gerek maliyet hesaplamalarında gerekse maliyet tahminlerinde ortaya çıkan en zor nokta; restorasyonu yapılacak yapının, hasar düzeyinin (mevcut durum) ve onarım miktarının (hedef durum) tespit edilmesinde yaşanan güçlüklerdir. Restorasyon yapım maliyetlerinin hesaplanmasında hasar miktarları önemli iken, restorasyon yapım maliyet tahminlerinde ise, hasar düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ise oldukça karmaşık, doğrusal olmayan ve bulanıklık içeren bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden, ülkemizde yapılan restorasyon inşaat maliyeti hesaplama çalışmalarında büyük zorluklar yaşanmakta, maliyet tahmini ise hemen hemen hiç yapılamamaktadır. Bu nedenle, hızlı, kolay ve güvenilir bir tahmin yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu amaçla, yapay zeka metodları kullanılarak, restorasyon projelerinde bütçelemeye ve yatırım kararı sürecine ışık tutacak hızlı, kolay ve güvenilir bir tahmin yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, gerçekleştirilen restorasyon inşaat maliyeti tahmin modelinde olması gereken önemli özellikler ise, aşağıdaki gibi çıkartılmıştır:

- i. Mümkün olduğunca doğruya en yakın sonucu vermeli;
- ii. Kolay ve çabuk kullanılabilir olmalı;
- iii. Kişiye bağlı değerlendirme ihtiyacını en aza indirmelidir.

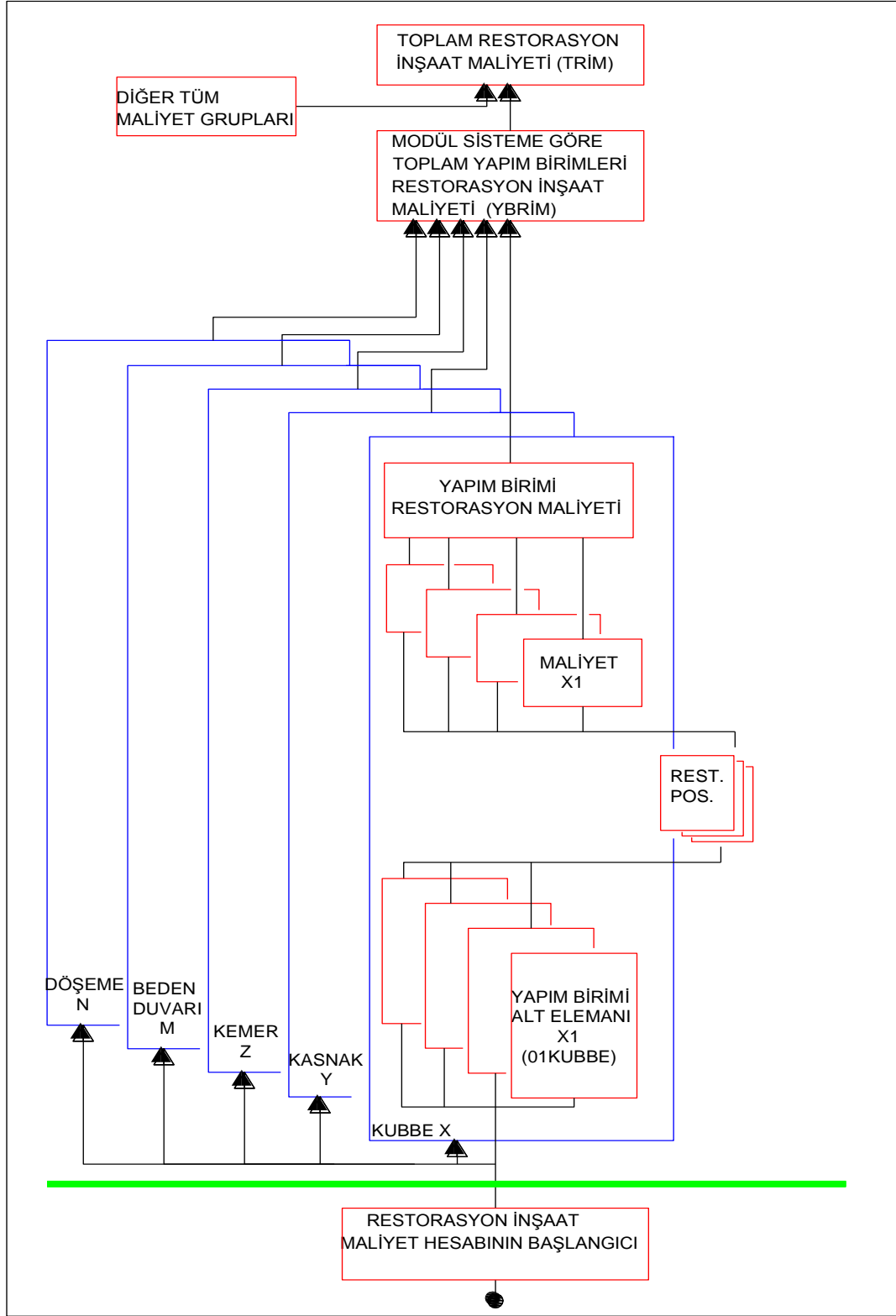
Model ayrıca, restorasyon çalışmasının paydaşları olan işveren, yapımcı, taşeron gibi, tüm gruplarca da kullanılabilir olmalıdır.

Geliştirilen modelde, yapay zeka sistemlerine ait iki metod iki aşamalı olarak bir arada kullanılmıştır. Bu amaçla, hasar düzeyinin tespit edilmesi gibi doğrusal olmayan, karmaşık ve bulanık problemlerin çözümünde doğru sonuçlar üreten Bulanık Mantık metodunun kullanılması, diğer yandan gerçekleşmiş çalışmalardan elde edilen verilerle eğitildiğinden dolayı, gerçeğe yakın maliyet tahmin sonuçları veren bir yöntem olarak da Yapay Sinir Ağları metodunun geliştirilen modelde kullanılması tercih edilmiştir. Bulanık mantık yöntemiyle elde edilecek hasar düzeyi değeri, YSA'nın eğitilmesinde, diğer giriş değerleri ile birlikte önemli bir giriş parametresi olarak kullanılacaktır.

Bu çalışmada, yöntemin ihtiyaç duyduğu veriler, özellikle Bursa ve yakın çevresinde bulunan kubbeli anıtsal yapıların, resmi kurumlar tarafından yapılmış ya da yapımı devam eden restorasyon çalışmalarından elde edilmiştir. Bu yapıların rölöveleri, restitüsyon projeleri ile müdahaleye yönelik restorasyon projelerinden ve çıkartılan onarım metrajlarından yararlanılmıştır.

Osmanlı Dönemi, kubbeli anıtsal yapı restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmin edilmesi konulu tez çalışmasında, geliştirilen öneri yöntem temelde 3 aşamadan oluşmaktadır.

Birinci aşamada; Veri seti tablosunda yer alan ve YSA'nın eğitilmesinde kullanılacak yaklaşık maliyet değerlerini elde etmek amacıyla, kubbe birim modülünü temel alan bir maliyet hesaplama düzeni geliştirilmiştir. Buna göre, elde edilen örneklerde anıtsal yapıyı oluşturan her bir kubbe modülü (çok kubbeli yapılarda), birim modül olarak ele alınmıştır. Birim kubbe modülünün, gerçek maliyet birimleri olarak kubbe, kasnak, kemer, beden duvarı ve döşeme elemanları esas alınmıştır. Bu elemanlar, bir kubbe modülünün ana yapı birimleri ve aynı zamanda da restorasyon iş pozisyonlarıdır. Şekil 6.1'de bu amaca yönelik olarak bir süreç şeması geliştirilmiştir.

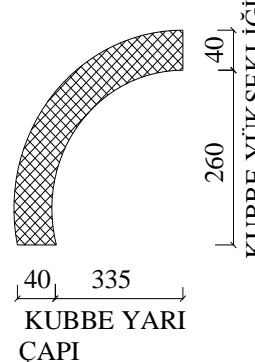


Şekil 6.1 Kubbe modülünü temel alan restorasyon inşaat maliyet hesaplama süreç şeması

Süreç şemasında da görüleceği gibi, birim kubbe modülü temel alınarak, Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne ve T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'na (yeni adı "Çevre ve Şehircilik Bakanlığı"), ait eski eser birim fiyatlarına göre, yapılacak yaklaşık maliyet hesaplamalarında, öncelikli olarak temel maliyet grupları listelenmektedir. Ör; her bir kubbe modülü, kubbe X, kasnak Y, Kemer Z, Beden duvarı M, Döşeme N gibi, ana maliyet gruplarına ayrılmaktadır. Daha sonra, her bir ana maliyet grubu kendisini oluşturan $X^1, X^2...X^n$ gibi alt maliyet birimlerine ayrılmaktadır. Bu şekilde yapılan maliyet hesaplama çalışmasında, her bir ana yapım biriminin onarım maliyeti, alt yapım birimlerinin onarım maliyetlerinin toplamından oluşmaktadır. Temel yapım birimleri maliyetleri toplanarak bir kubbe modülü maliyeti, yapıda birden fazla kubbe modülü var ise, aynı yöntemle hesaplanan diğer kubbe modüllerinin maliyetleri, diğer giderlerle birlikte toplandığında, toplam restorasyon yapım maliyeti elde edilmektedir.

Süreç şemasında belirtilen her bir ana yapım birimine ait alt maliyet birimlerinin onarım miktarları, ilgili kurumlara ait poz numaralarında belirtilen birim fiyatlarla çarpılması sonucu elde edilen değerlerin alt alta toplanması ile, yukarıda da belirtildiği gibi ana yapım birimi restorasyon inşaat maliyeti elde edilmektedir. Bu amaçla, Restorasyon Pozisyon tabloları (Rest. Pos.) geliştirilmiştir. Restorasyon Pozisyon tabloları her bir ana yapım birimi için ayrı ayrı kullanılmıştır. İznik Şeyh Kutbeddin Cami kubbesinin, ana yapım birimi olarak restorasyon inşaat maliyetinin hesaplanmasında kullanılan Restorasyon Pozisyon tablosu Tablo 6.1'deki gibi örneklenmiştir. Bu tablolarda, her bir yapım birimi için, gerçekleştirilecek imalatın cinsi, bu imalat için Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait analiz tablolarında belirtilen poz numarası, onarımın miktarı, yine Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait birim fiyat tablolarında, imalatın poz numarasına göre belirlenen onarımın birim fiyatı, onarım miktarı ile onarımın birim fiyatının çarpımıyla oluşan onarım maliyeti ile, bunların alt alta toplanması ile elde edilen yapım birimi toplam onarım maliyetleri bulunmaktadır. Ayrıca yine bu tablolarda, yapının ismi, yapım birimi, kubbe modül sayısı, yapıya ait kaçınıcı kubbe modülü olduğu, yapının günümüzdeki kullanım fonksiyonu, plan tipi, onarım yılı, yapım birimi hasar düzeyi derecesi değeri, kubbe yarıçapı ve yüksekliği gibi yapısal bilgiler de bulunmaktadır.

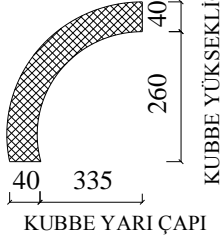
Tablo 6.1 Örnek restorasyon pozisyon tablosu, Şeyh Kutbeddin Cami'si verileri

YAPI İSMİ	İZNIK ŞEYH KUTBEDDİN CAMİ'Sİ					
Yapım Birimi	Kubbe	Kubbe Modülü	Hasar Düzey Derecesi			
		1	5 (Pek Çok Yıkık)			
Kullanım Fonksiyonu	İbadet	Plan Tipi	Onarım Yılı			
		Tek Kubbeli Kare Planlı	2005			
İmalatın Cinsi	Poz No	Ölçü Birimi	Onarım Miktarı	Birim Fiyat (TL)	Tutar (Bin TL)	
Kemer, kubbe, tonoz v.b. işlerde askıya alma iskelesinde kereste bedel	V0203	m ³	619,48	5,50	3,4	
Her çeşit klasik tuğla imalatta tuğla bedeli	V0211	m ³	31,56	465	14,7	
Harç ile klasik tip kiremit bastırılmasında kiremit bedeli	V0239	m ²	88,31	26,50	2,3	
Kubbede kalıp veya askıya alma iskelesi yapılması işçiliği	V0602	m ³	674,48	25,36	17,1	
Küresel yüzeyli kargir inşaat kalıbı yapılması	V0609	m ²	70,65	48,90	3,5	
Klasik tuğla ile, kubbe, tonoz ve kemer yapılması işçiliği	V1002	m ³	31,56	182,3	5,8	
Horasan harcı ile çelik mala perdahlı kavisli sıva yapılması	V1665/A	m ²	88,31	70,35	6,2	
Puzolan katkılı horasan harcı ile çelik mala perdahlı kavisli sıva yapılması	V1665/A1	m ²	54,70	74,28	4,1	
Eski eserde kireç badana yapılması	V1725	m ²	54,70	5,82	0,3	
500 dozlu kireç harcı ile kubbe, külah vb. sathlarda klasik tip kiremit döşenmesi işçiliği	V1861/A2	m ²	88,31	100,55	8,9	
3 mm kalınlığında kauçuk pestil ile su yalıtımı yapılması	Analiz	m ²	88,31	29,80	2,6	
Yapım Birimi Toplam Restorasyon İnşaat Maliyeti					68,9	

Kubbe modülünü meydana getiren kubbe, kasnak, beden duvarı, kemer ve döşemeden oluşan ana yapım birimlerinin restorasyon inşaat maliyetleri, restorasyon pozisyon tabloları vasıtasıyla ayrı ayrı elde edildikten sonra, ana yapım birimi maliyetlerinin alt alta toplanması ile, toplam kubbe modülü maliyet değerlerini veren Restorasyon Paketi (Res. Pak) tabloları oluşturulmuştur. Bu amaçla geliştirilen şema, Tablo 6.2'deki gibi örneklendirilmiştir. Bu tablolarda, her bir kubbe modülünü oluşturan ana yapım birimlerinin ayrı ayrı restorasyon inşaat maliyetleri ile bu

maliyetlerin toplamından oluşan toplam kubbe modülü restorasyon inşaat maliyet değerleri bulunmaktadır. Aşağıdaki tabloda, İznik Şeyh Kutbeddin Cami'sine ait kubbe modülünün verileri sunulmuştur.

Tablo 6.2 Restorasyon paketi tablosu, İznik Şeyh Kutbeddin Cami'si verileri

YAPI İSMİ		İznik Şeyh Kutbeddin Cami'si			
PROJE NO	KUBBE MODÜLÜ	TOPLAM KUBBE MODÜL SAYISI	YAPI TOPLAM HASAR DÜZEY DERECESESİ (BULANIKMANTIK)	RESTORASYON MÜDEHALE DERECESESİ	
2	1	1	4.7035	5	
KULLANIM FONKSİYONU		İBADET	ONARIM YILI	2005	
YAPIM BİRİMİ	HASAR DÜZEY DERECESESİ		ONARIMMALİYETİ (BİNTL)	PURSANTAJ (%)	
KUBBE	5		68.9	27	
KASNAK	5		29.3	11	
KEMER	5		132.6	52	
BEDEN DUV.	5		20.2	8	
DÖŞEME	4		4	2	
KUBBE MODÜL ONARIM MALİYETİ			255	%100	

Böylelikle, restorasyon pozisyon tablolarında oluşan temel yapım birimleri maliyetleri yukarıda belirtilen restorasyon paketi tablolarında toplanarak bir kubbe modülü maliyeti, aynı yöntemle hesaplanan diğer kubbe modüllerinin toplamı ise, diğer giderlerle birlikte toplandığında yapı toplam restorasyon yapım maliyetini vermektedir.

İkinci aşamada; tablo 6.2'de belirtildiği gibi, kubbe modülünü oluşturan her bir temel yapım birimine ait hasar düzey dereceleri, Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak, kubbe modülü toplam hasar düzeyi (Mevcut durum) derecesi tespit edilecektir. Bu şekilde oluşturulan toplam kubbe modülü hasar derecesi değerleri ile, buna karşılık gelen restorasyon müdahale derecesi değerleri, YSA'nın eğitiminde giriş parametreleri olarak kullanılmak üzere YSA veri setinde listelenecektir. Bu amaçla, elde edilen verilere ait rölöve çalışmalarının değerlendirilmesi sonucu, beş adet hasar derecesi esas alınmıştır. Hasar dereceleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Pek az yıkık (1); Periyodik olarak yapılan koruyucu bakım ve basit düzeyde onarım çalışmalarının yeterli olduğu yapıların hasar derecesidir.

Az yıkık (2); Strüktürel güçlendirme bağlamında hiçbir müdahale gerektirmeyen, yapım birimlerine ait yenilenmesi gerekli sıva, kaplama, örtü, saçak, döşeme, moloz taş, yonu taşı, tuğla gibi malzemelerin sökümü ve raspası ile, bunların özgün form ve malzemelerle yenilenmesi gibi esaslı bakım ve onarım çalışmalarını içeren yapılara ait hasar derecesidir.

Orta yıkık (3); Anıtsal yapıya ait temel, duvar, kemer, kubbe, kasnak gibi taşıyıcı yapım birimlerinde farklı nedenlerden dolayı oluşan çatlak, yarık, açıklık ve boşluklar ile kısmi göçme gibi ciddi hasarlara, strüktürel güçlendirme (sağlamlaştırma) bağlamında müdahalelerin yapıldığı restorasyon çalışmalarını içeren yapıların hasar derecesidir.

Çok yıkık (4); İncelenen anıtsal yapılara ait yapım birimlerinin, önemli bir bölümü hasar görmüş, eksilmiş ya da göçmüş yapım birimlerinin ilk tasarımlarındaki bütünlüğe kavuşturacak biçimde, geleneksel veya çağdaş malzemeler kullanılarak tamamlama çalışmalarını içeren yapılara ait hasar derecesidir.

Pek çok yıkık (5); Elde edilen örnek verilerde, tümüyle yıkılmış, yok olmuş ya da çok harap durumda olan anıtsal yapı veya yapım birimlerinin, özgün malzeme ve teknikler kullanılarak eski biçimsel bütünlüğüne kavuşturulması için, yeniden yapımın gerçekleştirildiği çalışmaları içeren yapılara ait hasar derecesidir.

Üçüncü aşamada ise; Bulanık Mantık yöntemiyle elde edilen kubbe modül toplam hasar düzeyi değeri (Mevcut durum) ile birlikte, örneklerin restorasyon projelerinden elde edilen kubbe yarıçapı, kubbe yüksekliği, kubbe biçimi, yapı yüksekliği, dolu cephe sayısı, yapı açıklığı, restorasyon müdahale derecesi (Hedef durum) ve kubbe modül yöntemi yoluyla tespit edilen restorasyon inşaat maliyet değerleri, Yapay Sinir Ağlarının eğitilmesi amacıyla, çok katmanlı ağ mimarisinde ana giriş parametreleri olarak kullanılacaktır.

Ancak ağın eğitilmesinde kullanılacak, yukarıda belirtilen ana giriş parametrelerinden birisi olan restorasyon müdahale derecesinin belirlenmesinde, beş adet müdahale derecesi (Hedef durum) değeri esas alınmıştır. Restorasyon müdahale dereceleri aynı zamanda hasar düzey derecelerine de karşılık gelmektedir. YSA'da bu müdahale derecelerinin her birine 1'den 5'e kadar değerler verilmiştir. Restorasyon müdahale dereceleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

Düzyey 1 (Bakım-Onarım); Koruyucu bakım ve onarım çalışmalarını içermektedir. Bu onarımlar, dış cephede taş ve tuğla yüzey temizliği, bezeme temizliği, küçük çaplı çürütmeler, basit yapısal malzeme yenilemeleri ve onarımı, yüzeyde küçük boşlukların doldurulması, derz yenilemeleri, iç boya tadilatları, Demir aksama zımpara yapılması ve boyalarının yenilenmesi, kapı ve pencere gibi ahşap elemanların figürasyonu ve verniklenmesi gibi basit onarımları kapsamaktadır. Bu düzey onarımlarla ilgili, çok sayıda yapı örneğine ait onarım maliyetleri incelenmiştir. Onarımın niteliği ve maliyet değeri esas alınarak, bu düzey onarımlar birinci düzey restorasyon müdahale derecesi olarak kabul edilmiştir.

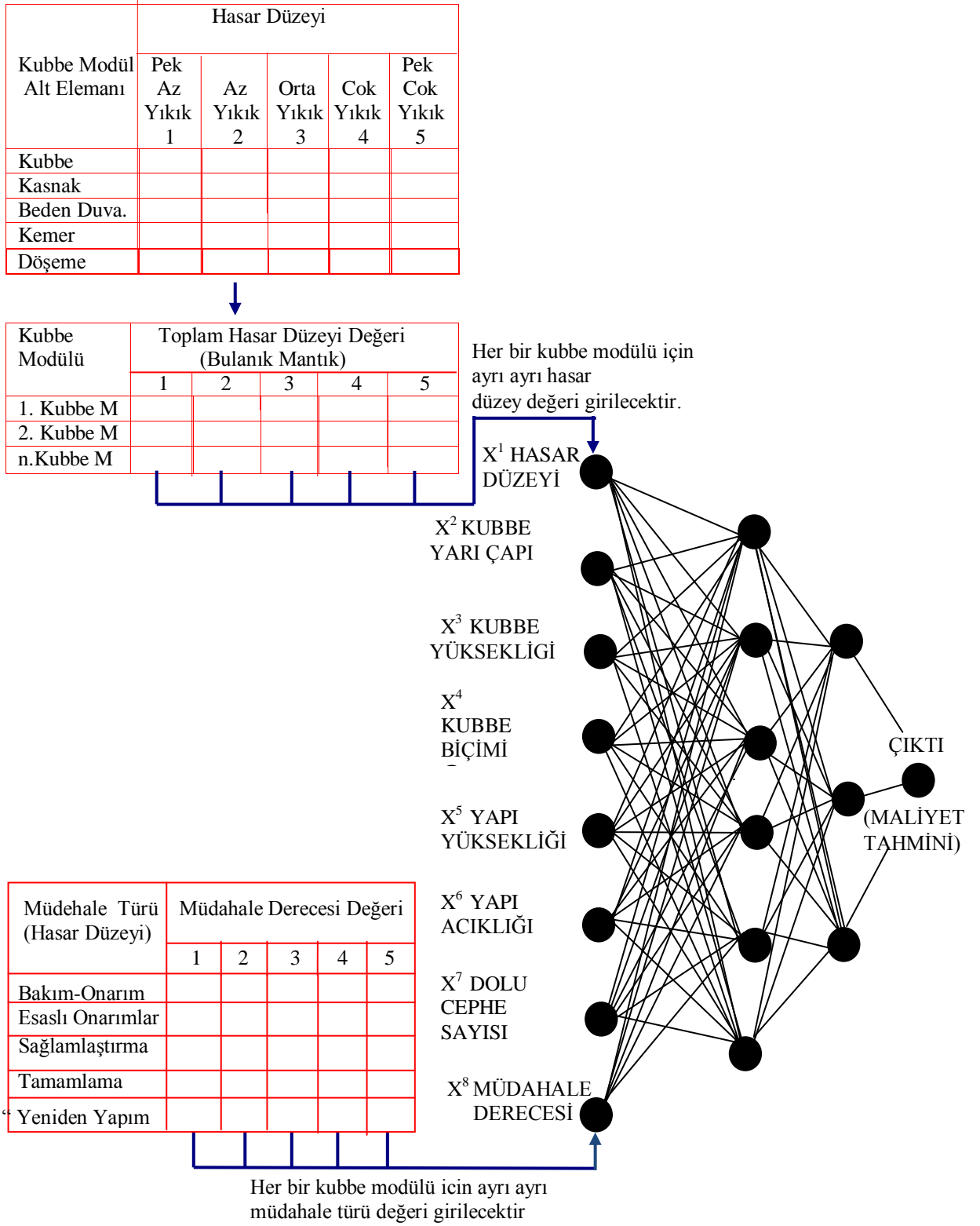
Düzyey 2 (Esaslı bakım ve onarımlar); İncelenen anıtsal yapıların cephe, iç mekan, kubbe, kemer ve zemin elemanlarının işlevlerini sürdürmelerinin sağlanması amacıyla yapılan esaslı onarımları içermektedir. Bu derecelendirmede, detaylarda aksayan kısımların özgün form ve malzemeleriyle onarımları ve yenilenmeleri söz konusudur. Dış cephede özelliğini yitirmiş, kabuk ve moloz taşları ile tuğla örgülerin ve kirpi saçakların yenilenmesi, orta ölçekte çürütmeler, duvar boşluklarının doldurulması, cephe boyunca derz açılması (Çimento harçlı derzlerin kaldırılması), horasan harç ile bu derzlerin yenilenmesi, kubbeye kurşun ve kiremit gibi örtü malzemeleri ile bunların alt katmanlarında bulunan çamur sıva ve horasan düzeltme sıvalarının yenilenmesi, iç yapısal elemanlarda, dökülmüş ya da çimento esaslı yapılmış iç sıvaların raspa yapılarak, yerine horasan harçlı yeni sıva yapılması, alçı dışlık ve içlik pencereleri ile, ahşap kapı ve pencerelerin ve sövelerinin yenilenmesi, lokma parmaklık, korkuluk ve benzeri demir aksamın yenilenmesi gibi esaslı bakım-onarım ve tadilatlar, ikinci düzey restorasyon müdahale derecesi olarak kabul edilmiştir.

Düzey 3 (Sağlamlaştırma); İncelenen kubbeli yapıların strüktürel olarak güçlendirilmesi çalışmalarını içermektedir. Çatlakların dikilmesi, kireç esaslı enjeksiyon harçlar ile çatlak onarımı yapılması, boşlukların doldurulması, epoksi reçineler kullanılarak çatlakların yapıştırılması, yüksek dayanımlı karbon lifi polimer kumaş ve polimer çubuklarla ve diğer güçlendirme malzemeleri ile yapılan strüktürel güçlendirmelerin, önemli ölçüde çürütmelerin yapıldığı çalışmalar üçüncü düzey restorasyon müdahale derecesi olarak kabul edilmiştir.

Düzey 4 (Tamamlama); Tez konusu örnek verilerin rölöveleri incelendiğinde, anıtsal yapılardan bazılarında ait, yapım birimlerinin bir bölümünün yıkık ve göçük oldukları görülmüştür. Bu durumdaki yapıların restorasyonlarında, yapım birimlerinin ilk tasarımlarındaki bütünlüğe kavuşacak biçimde, genellikle geleneksel özgün malzemeler ve yöntemler kullanılarak tamamlama çalışmaları yapılmıştır. Yıkık durumdaki yapım birimlerinin tamamlanarak yapının bütünlüğüne kavuşması; estetik bütünlüğün geri kazanılmasını sağladığı gibi, yapının kullanılabilir duruma gelmesiyle de tümüyle yok olmaktan kurtarılmasını sağlamaktadır. Bu yüzden, yapım birimlerinin, dolayısıyla yapının tamamlanmasına yönelik yapılan bu restorasyon çalışmaları, dördüncü düzey restorasyon müdahale derecesi olarak kabul edilmiştir. Yapım birimleri ile, mukarnas, skalaktik, Türk üçgeni, tromb, pendentif gibi geçiş elemanları ve kalemişi süslemelerinin önemli miktardaki tamamlamaları bu müdahale derecesi kapsamında değerlendirilmiştir.

Düzey 5 (Yeniden yapım); İncelenen anıtsal yapılardan bazılarının, tamamen yıkık ve günümüzde ayakta olmadığı, ya da çok harap bir durumda olduğu görülmüştür. Bu yapılar, hazırlanan rekonstrüksiyon projeleri ile geleneksel yöntemlerle özgün malzemeler kullanılarak yeniden yapılmıştır. Tamamen ya da önemli bir bölümü yıkılmış, bu yüzden yeniden yapımı gerektiren restorasyon çalışmaları, beşinci düzey restorasyon müdahale derecesi olarak kabul edilmiştir.

Geliştirilen modelin genel yapısı Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2 Tez konusu geliştirilen modelin genel yapısı

6.1.1. Modelde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılması

Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, restorasyon inşaat maliyetlerinin doğru tahmin edilmesine olanak sağlayan en önemli parametre, anıtsal yapının hasar düzeyinin tespit edilmesidir (mevcut durum). Anıtsal bir yapının hasar düzeyini tespit etmek ise, karmaşık ve bulanık bir yapı içerdiğinden dolayı oldukça güçtür. Restorasyon konusunda uzman olan kişilere harabe halinde bulunan bir anıtsal yapı gösterilerek, hasar düzeyi konusunda tahmin yapmaları istendiğinde, birbirinden farklı hasar düzeyi değerleri belirtileceği açıktır.

Bu konuda, Uludağ Üniversitesi Mimari Restorasyon bölümünden, 75 öğrenci ile bir anket çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada, öğrenciler ile birlikte Osmanlı dönemine ait, Bilecik'te bulunan oldukça hasarlı üç adet yapı yerinde incelenerek, Yalova'da restorasyonu tamamlanmış, ancak restorasyon öncesi yıkık fotoğrafı bulunan Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si yıkık fotoğrafı üzerinden ve yerinde incelenerek, yine, restorasyon öncesi yıkık fotoğrafı bulunan İznik Şeyh Kudbettin Cami'si, yıkık fotoğrafı üzerinden ve yerinde incelenerek, öğrencilerden bu yapıların hasar düzey değerlerini % olarak belirtmeleri istenmiştir. Anket çalışması yapılan yapıların durumları ile anket sonuçları aşağıda verilmiştir.

İznik Şeyh Kudbettin Cami'si, Şekil 6.3'de görülen yıkık fotoğrafı üzerinden, Şekil 6.4'de görülen tamamlanmış hali yerinde görülerek anket cevaplanmıştır. Bu yapının, yeniden yapım yöntemi kullanılarak restorasyon çalışması yapılmıştır.

Toplam hasar düzeyi değeri için;	19 kişi;	% 80 - % 85 arası,
	22 kişi;	% 86 - % 90 arası,
	24 kişi;	% 91 - % 95 arası,
	10 kişi;	% 96 ve üzeri,

hasar oranı değerleri belirtilmiştir. Ankete göre, bu yapının hasar düzeyi oranı için, % 80 ile % 96 ve üzeri arasında değerler ifade edilmiştir.



Şekil 6.3 Şeyh Kudbettin Cami'si Kalıntıları

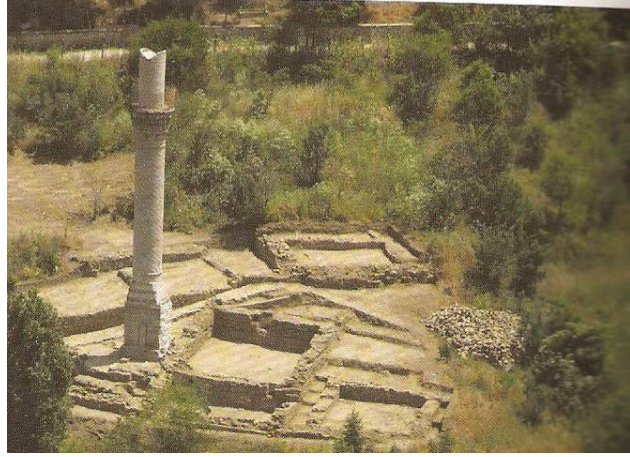


Şekil 6.4 Şeyh Kudbettin Cami'sinin bütünleme yöntemi kullanılarak yapılmış restorasyonu sonrası görünüşü.

Bilecik Karacalar Cami'si, Şekil 6.5'de görüldüğü gibi, yıkık hali yerinde görülerek anket cevaplanmıştır. Bu yapının, sağlamlaştırma yöntemi kullanılarak yerinde korunması sağlanacaktır.

Toplam hasar düzeyi değeri için; 18 kişi ; % 80 - % 85 arası,
23 kişi; % 86 - % 90 arası,
21 kişi; % 91 - % 95 arası,
13 kişi; % 96 ve üzeri,

hasar oran değerleri belirtilmiştir. Ankete göre, bu yapının hasar düzey oranı için, % 80 ile % 96 ve üzeri arasında değerler ifade edilmiştir.



Şekil 6.5 Bilecik Karacalar Cami kalıntıları

Bilecik Emirler Hamamı, Şekil 6.6'da görüldüğü gibi, yıkık hali yerinde görülerek anket cevaplanmıştır. Bu yapının, sağlamlaştırma yöntemi kullanılarak yerinde korunması sağlanacaktır.

Toplam hasar düzeyi değeri için; 11 kişi; % 35 - % 40 arası,
12 kişi; % 41 - % 45 arası,
13 kişi; % 46 - % 50 arası,
15 kişi; % 51 - % 55 arası,
10 kişi; % 56 - % 60 arası,
14 kişi; % 61 - % 65 arası,

hasar oran değerleri belirtilmiştir. Ankete göre, bu yapının hasar düzey oranı için, % 35 ile % 65 arasında değerler ifade edilmiştir.

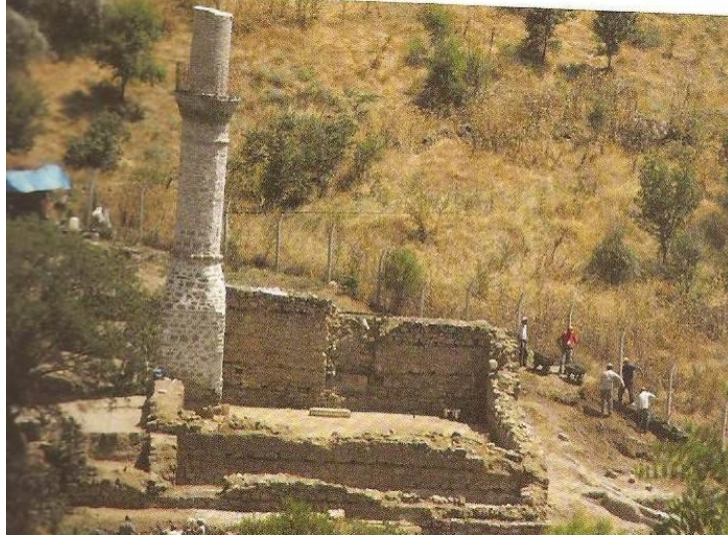


Şekil 6.6 Bilecik Emirler Hamamı kalıntıları

Bilecik Emirler Cami'si, Resim 6.7'de görüldüğü gibi, yıkık hali yerinde görülerek anket cevaplanmıştır. Bu yapının, sağlamlaştırma yöntemi kullanılarak yerinde korunması sağlanacaktır.

Toplam hasar düzeyi değeri için; 18 kişi; % 75 - % 80 arası,
22 kişi; % 81 - % 85 arası,
19 kişi; % 86 - % 90 arası,
16 kişi; % 91 - % 95 arası,

hasar oran değerleri belirtilmiştir. Ankete göre, bu yapının hasar düzey oranı için, % 75 ile % 96 arasında değerler ifade edilmiştir.



Şekil 6.7 Bilecik Emirler Cami kalıntıları

Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si, Şekil 6.8'de görülen yıkık fotoğrafı üzerinden, Şekil 6.9'da görülen tamamlanmış hali yerinde görülerek anket cevaplanmıştır. Bu yapının, tamamlama yöntemi kullanılarak restorasyon çalışması yapılmıştır.

Toplam hasar düzeyi değeri için; 10 kişi; % 20 - % 25 arası,
17 kişi; % 26 - % 30 arası,
13 kişi; % 31 - % 35 arası,
20 kişi; % 36 - % 40 arası,
15 kişi; % 41 - % 45 arası,

hasar oran değerleri belirtilmiştir. Ankete gore, bu yapının hasar duzey oranı için, % 20 ile % 45 arasında değerler ifade edilmiştir.



şekil 6.8 Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si restorasyon öncesi kalıntıları

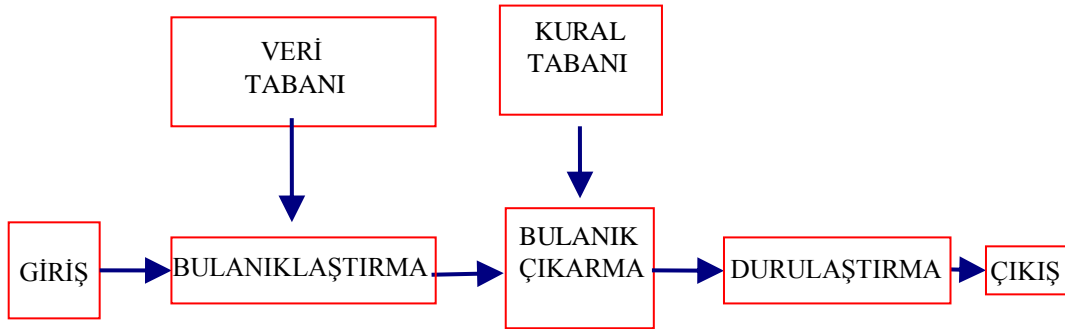


şekil 6.9 Yalova Hersekzade Ahmet Paşa Cami'si restorasyon sonrası gorunşu

Mimari restorasyon bolumu ğrencisi 75 kişi ile yapılan bu anket çalışmasında; öğrenciler tarafından aynı yapı için birbirinden farklı hasar oranı değerleri ifade edilmesi yukarıda da belirtildiği gibi, bu yapıların hasar duzey değerlerinin tespitinin, karmaşık ve bulanık bir yapı içerdiğini gostermektedir. Bu yuzden, restorasyon inşaat maliyetlerinin yapay zeka yontemleri ile tahmin edilmesi

amacıyla geliştirilen modelde, öncelikli olarak anıtsal yapı hasar düzeyinin belirlenmesi (mevcut durum) gerekmektedir. Bu amaçla ilk aşamada, hasar düzey değerinin belirlenmesinde doğru sonuçlar vereceği düşünülen Bulanık Mantık yöntemi kullanılacaktır. Bu şekilde elde edilecek hasar düzeyi değeri modelde ikinci aşamada kullanılacak Yapay Sinir Ağların'da önemli bir giriş parametresi olarak kullanılacaktır.

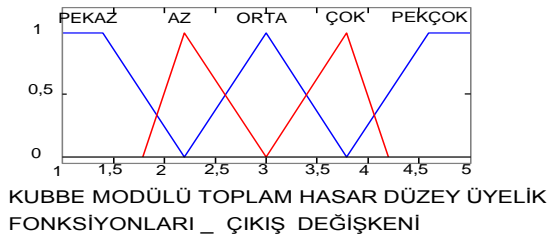
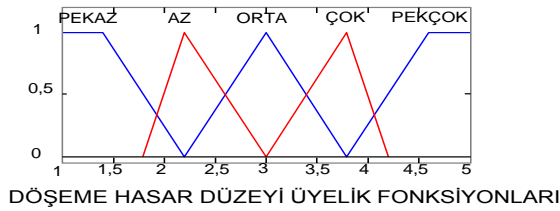
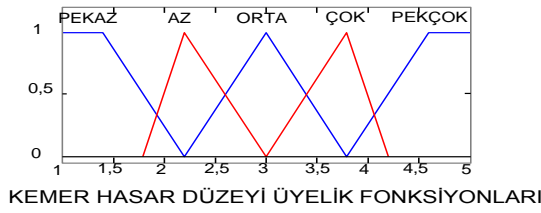
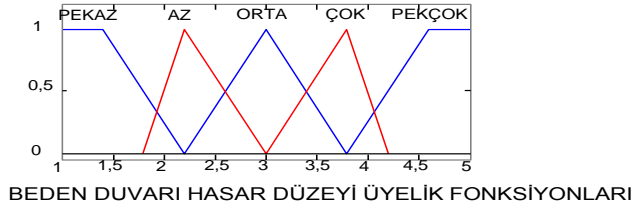
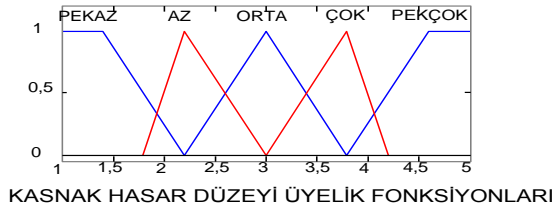
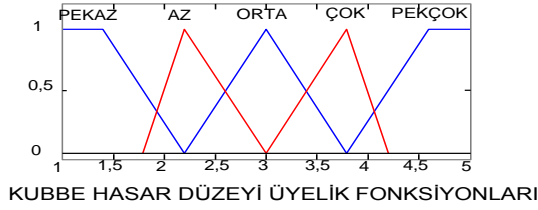
Bulanık mantık sistemleri kontrol, karar verme ve tahmin problemleri ile düzey ve miktar belirlemelerinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Ayrıca, kolayca kullanılabilir, genişletilebilir ve güncellenebilir olması özelliklerinden dolayı geliştirilen modelde kullanılması tercih edilmiştir. Modelde kullanılacak Bulanık Mantık yöntemi, aşağıda sıralanan 6 aşamada ve Şekil 6.10'da gösterilen şemaya uygun olarak gerçekleştirilecektir.



ŞEKİL 6.10 Modelde kullanılacak bulanık mantık sistem şeması

- Giriş/Veri tabanı: Modelin girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içermektedir (Uygunoğlu vd. 2006). Bu yöntemde, toplam hasar düzeyi değişkenine ait, beş bulanık alt küme oluşturulmuştur. Bunlar, bir kubbe modülünü oluşturan kubbe, karnak, kemer, beden duvarı ve döşeme hasar düzeyleridir. Bu kümelere ait hasar düzeyleri ana parametre giriş değerleri olarak ele alınacaktır.
- Bulanıklaştırıcı: bulanık sistemden alınan denetim giriş bilgilerinin, dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı yerdir (Uygunoğlu vd. 2006). Yöntemde kullanılacak dilsel niteleyiciler olarak, kubbe modülünü oluşturan her bir yapı birimi için, pek az yıkık, az yıkık, orta yıkık, çok yıkık, pek çok yıkık gibi, 5 ayrı etiketli üyelik işlevleri

belirlenmiştir. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi pek az ve pek çok için trapez, diğerleri için ise, üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.



ŞEKİL 6.11 Modelde kullanılan beş ayrı etiketli üyelik işlevleri

- Bulanık kural tabanı: Giriş parametrelerindeki değişkenlere bağlı olarak, mantıksal ifadelerle, Eğer-İse türünde yazılabilen kuralların tümünü içermektedir. Yöntemde, kullanılacak bulanık kural tablosu, Tablo 6.3'deki gibi örneklenmiştir.

Tablo 6.3 Yöntemde kullanılan kurallar tablosu

SIRA NO	KUBBE	KASNAK	KEMER	BEDEN DUVARI	DÖŞEME	SONUÇ
1	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ
2	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	AZ	PEK AZ	PEK AZ
3	PEK AZ	AZ	AZ	AZ	PEK AZ	PEK AZ
157	PEK AZ	AZ	AZ	AZ	AZ	AZ
158	PEK AZ	AZ	AZ	ORTA	AZ	AZ
159	PEK AZ	AZ	AZ	AZ	ÇOK	AZ

- Bulanık çıkarım: Bulanık kural tabanında, giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır (Uygunoğlu vd. 2006). Bu yöntemde, "Mamdani" tipi bulanık çıkarım yöntemi kullanılacaktır.
- Durulaştırma: Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürüldüğü aşamadır (Uygunoğlu vd. 2006). Kullanılan modelde, durulaştırma olarak ağırlık merkezi yöntemi kullanılacaktır.
- Çıkış: Bu aşamada, bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerleri belirlenmektedir

(Uygunoğlu vd. 2006). Bu modelde çıkış değeri olarak, kubbe modülü toplam hasar düzeyi değeri elde edilecektir.

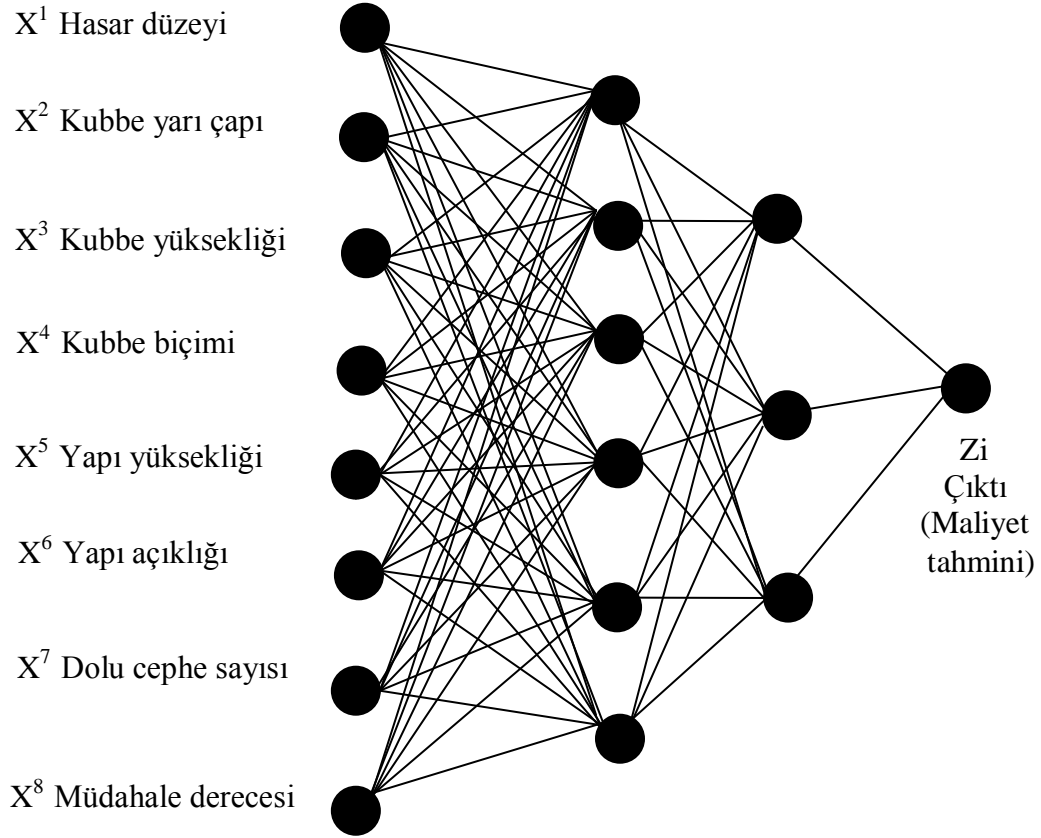
6.1.2. Modelde Yapay Sinir Ağları Yönteminin Kullanılması

Restorasyon inşaat maliyetlerinin yapay zeka yöntemleri ile tahmin edilmesine yönelik geliştirilen bu modelde, anıtsal yapı hasar düzeyinin bulanık mantık yöntemiyle belirlenmesinden sonra, yapay zekanın diğer yöntemi olan yapay sinir ağları ile maliyet tahmini yapabilmek amacıyla, ilgili kuruluşlardan sağlanan Osmanlı dönemi kubbeli yapılarına ait, rölöve, restitüsyon ve restorasyon projelerinden ve onarım metrajlarından yararlanılmıştır. Restorasyon projelerinden elde edilen; kubbe yarıçapı, kubbe yüksekliği, kubbe biçimi, yapı yüksekliği, dolu cephe sayısı, hasar düzeyi (Bulanık Mantık Yöntemiyle), yapı aıkliği, müdahale derecesi (Hedef durum) gibi bilgiler, oluşturulan çok katmanlı, geri yayılımlı, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan Yapay Sinir Ağları'na veri vektörleri olarak girilmiştir. Her bir projenin (Kubbe modülünün) restorasyon yaklaşık inşaat maliyeti, yukarıda açıklanan kubbe birim modülü esas alınarak, Vakıflar Genel Müdürlüğü 2011 yılı birim fiyat rayiçlerine göre hesaplanmış ve bu değerler oluşturulan ağa çıktı vektörü olarak tanıtılmıştır.

Bu çalışmada, bir geri yayılımlı YSA yöntemi kullanılması tercih edilmiştir. Geri yayılımlı ağlar, çok tabakalı perceptron ile aynı yapıya sahiptirler ve öğrenme yöntemi olarak geri yayılma algoritması kullanılır. Dolayısıyla bu ağlar ileri besleme ağlar sınıfına girmektedir. Ayrıca, çalışmada kullanılan ağ, gerçek veriler kullanılarak çalışmakta ve danışmanlı öğrenme yöntemi kullanmaktadır. Bu YSA türünün seçilmesinin ana sebebi; yukarıda anlatılan özellikleri sayesinde, tahmin (ngr) ve sınıflandırma işlemleri için oldukça uygun olmasıdır. Diğer bir neden ise, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde de oldukça başarılı sonuçlar vermesidir. Model için tercih edilen geri yayılma ağ mimarisinde bir girdi tabakası, bir çıktı tabakası ve bu iki tabaka arasında iki adet gizli tabaka bulunmaktadır.

şekil 6.12'de basitleştirilmiş bir rneği verilen bu geri yayılımlı ağ mimarisinde, X^1, X^2, \dots, X^n girdileri yerine, söz konusu hesaplamalara esas teşkil

eden anıtsal yapıların restorasyon projelerinden elde edilen; kubbe durumu, kubbe yarıçapı, kubbe yüksekliği, kubbe biçimi, yapı yüksekliği, dolu cephe sayısı, hasar düzeyi (Bulanık mantık yöntemiyle), yapı açıklığı, müdahale türü (Hedef durum) değerleri girilecektir.. Ağın çıktılarını oluşturan Zi değerlerine karşılık da her bir projeye ait kubbe modülü birim fiyat esaslı inşaat maliyet değerleri girilecektir. Bu şekilde yapılacak danışmanlı öğretim işlemlerinin ardından diğer projelere ait verilerin ağa girilmesi ile maliyet tahminleri yaptırılacaktır. Bu tahminler, Vakıflar Genel Müdürlüğü birim fiyatları esas alınarak yapılan yaklaşık maliyet hesapları ile karşılaştırılarak uygulanan yöntemin performansı değerlendirilecektir.



Şekil 6.12 Modelde kullanılacak çok katmanlı YSA yapısı ile girdi ve çıktı değişkenleri

6.1.3. Verilerin Tabanının Tanıtımı

Tez konusu restorasyon inşaat maliyetlerinin yapay zeka yöntemleri ile tahmin edilmesi modeline veri oluşturmak amacıyla, öncelikle Erken Osmanlı Dönemi

yapılarının çoğunlukla bulunduğu Bursa ve yakın çevresinde, 2005-2011 yılları arasında resmi kurumlarca restorasyon yapım çalışması tamamlanmış ya da devam eden 43 adet Osmanlı Dönemi anıtsal kubbeli yapıya ait, rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri, müdahale paftaları, yaklaşık maliyet hesapları veri olarak elde edilmiştir. Bunların 21 adedi Bursa Vakıflar Bölge Müdürlüğü'nden, 20 adedi Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden, 2 adedi ise, Bursa Osmangazi Belediye'sinden elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerin, 14 adedi cami, 13 adedi hamam, 16 adedi türbe yapısıdır.

Elde edilen 43 adet uygun yapı verisi incelendiğinde, 11 adet yapının yıkık olduğu görülmüştür. Bunlardan 8 adedi oldukça yıkıktır. Yıkık minare, bir duvar ve temel kalıntılarından ibaret olan bu yapılardan bir tanesi, tüm yapım birimleri "rekonstrüksiyon" yöntemi kullanılarak yeniden yapılmıştır. Kısmi yıkık olan yapıların ise, eksik olan yapım birimleri bütünleme yöntemiyle tamamlanmıştır, yok olan yapım birimleri de özgününe uygun olarak yeniden yapılmıştır. Diğer bazı oldukça yıkık yapılarda ise, harabe estetiği sağlamak amacıyla kalıntılar sağlamlaştırılmış, "konservasyon" yöntemi kullanılarak kalıntıların yerinde korunması uygulaması yapılmıştır.

Elde edilen 43 adet yapı verisinin, toplam 153 adet kubbe modülü bulunmaktadır. Bunlardan, 130 adet kubbe modülü yapay sinir ağlarının eğitilmesi amacıyla, 20 adet kubbe modülü test amacıyla, kalan 3 adet örnek veri ise, modelin sınanması amacıyla kullanılacaktır.

6.1.4. Veri Setinin Oluşturulması

Öneri yöntemde, YSA'nın eğitilmesi amacıyla kullanılacak gerçek veri seti, Tablo 6.4'deki gibi örneklenmiştir. Bu tabloda, yapay sinir ağları ile maliyet tahmini yapabilmek amacıyla, yukarıda açıklanan ilgili kuruluşlardan sağlanan 153 adet kubbe modülüne sahip, 43 adet Osmanlı dönemi anıtsal kubbeli yapının rölöve, restitüsyon ve restorasyon projelerinden ve onarım metrajlarından yararlanılmıştır. Oluşturulan veri setinde restorasyon projelerinden elde edilen; kubbe sayısı, kubbe yarıçapı, kubbe yüksekliği, kubbe biçimi, yapı yüksekliği, dolu cephe sayısı, hasar

düzeyi (Bulanık Mantık Yöntemiyle), yapı açıklığı, müdahale derecesi (Hedef durum) gibi değerler bulunmaktadır.

Tablo 6.4 Örnek veri seti tablosu, Ördekli Hamamı verileri

Kubbe				Yapı		Dolu Cephe	Hasar Düzeyi	Müdahale Derecesi	Maliyet
No.	Yarıçap (m)	Yük. (m)	Biçim	Yük. (m)	Açık. (m)	Ad.	1 - 5	1 – 5	(Bin TL)
1	3.20	1.70	TAM	5.10	6.30	4	5	5	72
2	3.20	1.65	TAM	5.10	6.35	4	4	4	59
3	3.20	1.75	TAM	5.10	6.40	4	3	3	48.9
4	3.25	1.70	TAM	5.10	6.30	4	4	4	65
5	3.15	2.25	TAM	5.80	6.25	4	5	5	94.7
6	3.15	2.70	TAM	5.80	6.25	4	4	4	79.8
7	3.30	1.90	TAM	6.50	7.85	4	3	3	76,6
8	3.25	2.40	TAM	6.20	7.85	4	3	3	81,1
9	2,30	2.20	TAM	5.80	5.10	4	4	4	47,2
10	5.25	3.25	TAM	9.60	10.50	3	4	4	285,4
11	6.00	3.60	TAM	5.50	12.00	4	2	2	198,8
12	4.95	3.00	Yarım	7.80	10.00	3	5	5	158,5

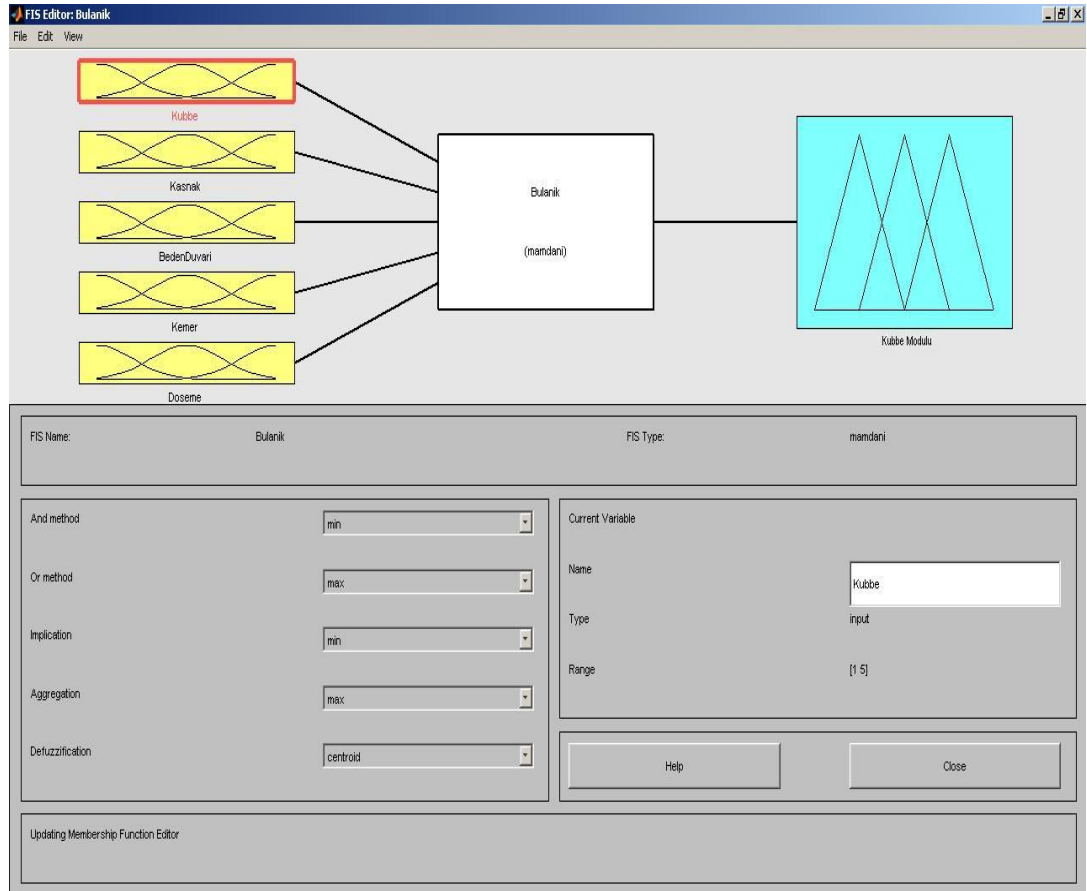
6.2. Analiz Çalışmaları

Yukarıdaki bölümlerde de anlatıldığı gibi, “Osmanlı Dönemi Mimarlık Eserleri Restorasyon İnşaat Maliyetlerinin Yapay Zeka Yöntemleriyle Tahmini” konulu tez çalışmasında, yapay zeka sistemlerine ait iki yöntem iki aşamalı olarak bir arada kullanılmıştır. Bu amaçla ilk aşamada, kubbe modülü toplam hasar derecesi değerinin elde edilmesi için, bulanık mantık yöntemi ile analiz çalışmaları yapılmıştır.

6.2.1. Bulanık Mantık Analizleri

Bulanık mantık yöntemi ile, kubbe modülü toplam hasar derecesi değerinin elde edilmesi amacıyla, öncelikli olarak bir kubbe modülüne ait kubbe, kasnak,

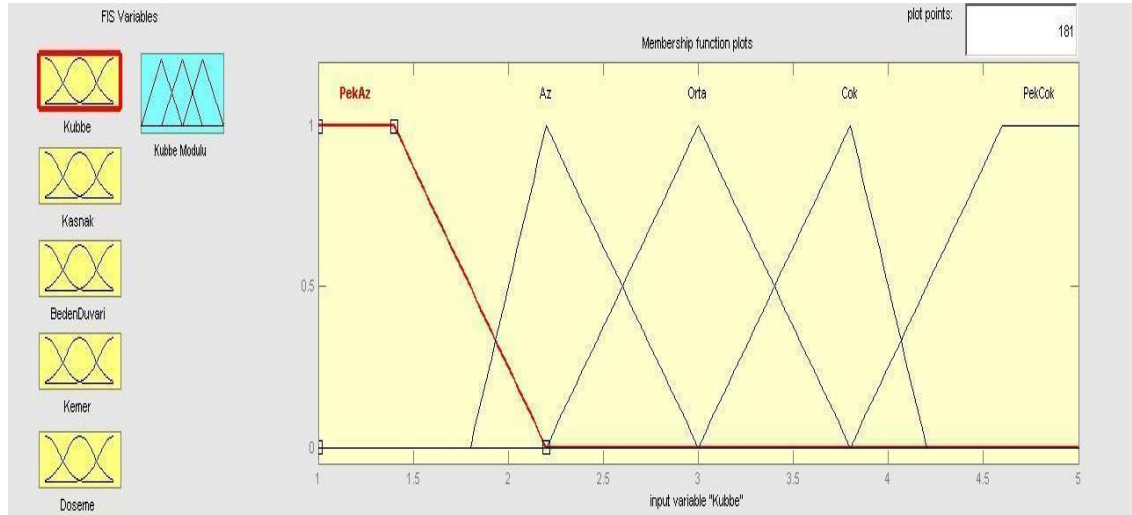
beden duvarı, kemer ve döşemeden oluşan beş adet yapım biriminin ayrı ayrı hasar dereceleri uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir. Bu veriler esas alınarak gerçekleştirilen bulanık mantık analizlerinde, kubbe modülünü oluşturan beş adet yapım biriminin hasar derecesi değerleri bulanık girdi değişkeni olarak, kubbe modülü toplam hasar düzeyi derecesi değeri ise, bulanık çıktı değişkeni olarak kabul edilmiştir. Modelin girdi ve çıktı değişkenlerine dayalı işleyişi Şekil 6.13’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.13 Modelin girdi çıktı değişkenlerine dayalı işleyişi

Yapım birimleri hasar derecelerinin bulanık girdi değişkenlerine ait, beş adet bulanık alt küme tanımlanmıştır. Bunlar, “Pek az yıkık”, “Az yıkık”, “Orta yıkık”, “çok yıkık”, “Pek çok yıkık” şeklinde sözel ifadelerle isimlendirilerek, şekilleri ve 1-5 arası değerler içeren bulanık aralıkları belirlenmiştir. Bu işlem her bir yapım birimi için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bunlardan “Pek az” ve “Pek çok” isimli üyelik fonksiyonları için trapez, diğerleri için ise, üçgen üyelik fonksiyonları seçilmiştir.

Bulanık mantık uygulaması ile ilgili tüm işlemler MATLAB programında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.14’de kubbe yapım birimi için tanımlanan üyelik fonksiyonlarının program ekranındaki ara yüz görüntüsü verilmiştir. Kubbe modülünü oluşturan diğer yapım birimleri için de, kubbe yapım birimi için tanımlanan üyelik fonksiyonlarının aynısı kullanılmıştır.



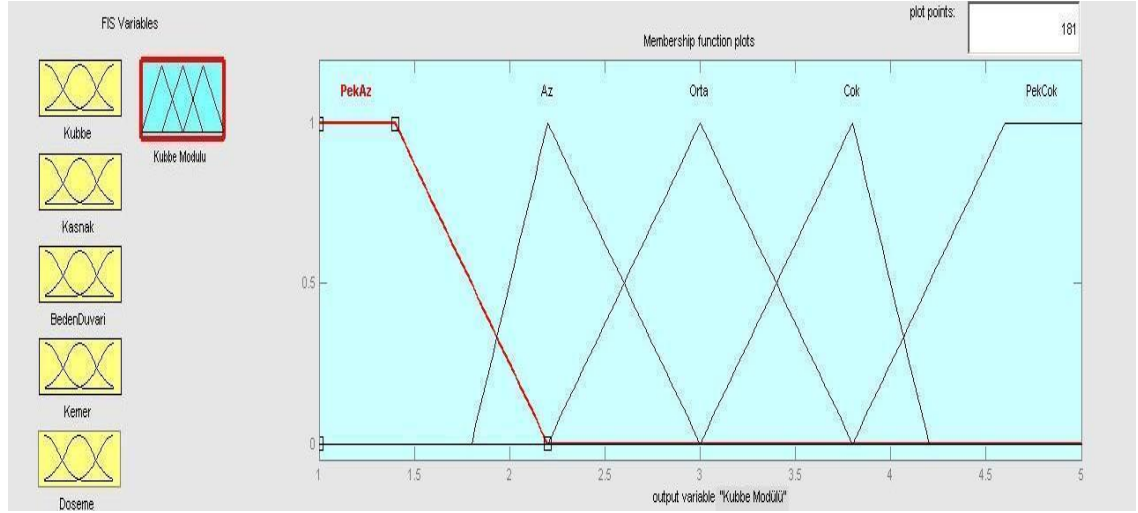
Şekil 6.14 Kubbe yapım birimine ait üyelik fonksiyonlarının program ara yüz görüntüsü

Uygulanan bulanık mantık değerlendirmesinde çıkarsama metodu olarak, “Mamdani Yöntemi” kullanılmıştır. Mamdani yöntemi çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerinin temelini oluşturur. Bu yöntemde hem girdi değişkenleri, hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Mamdani çıkarsama metodu 4 adımdan oluşmaktadır (Güner vd. 2009).

- 1) Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması,
- 2) Kural değerlendirme,
- 3) Bulanık çıktıların bütünleştirilmesi,
- 4) Bulanıklığı giderme (durulaştırma).

Yukarıda anlatıldığı gibi, hesaplamalarda kullanılacak girdi değişkenlerine ait üyelik fonksiyon tipleri ve tanımlamaları belirlendikten sonra, toplam kubbe modülü hasar derecesi değerinin elde edileceği çıktı fonksiyonlarının tipleri ve tanımlamaları Şekil 6.15’deki gibi belirlenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, hasar derecesi aralığı

1-5 arası değerler içerecek şekilde, “Pek az yıkık” ve “Pek çok yıkık” ifadeleri için trapez, diğerleri için ise üçgen üyelik fonksiyonları oluşturulmuştur. Çalışmanın daha iyi sonuç vermesi hedeflendiğinden çıktı fonksiyonlarının sözel anlatımları için, “Pek az yıkık”, “Az yıkık”, “Orta yıkık”, “Çok yıkık”, “Pek çok yıkık” olmak üzere beş farklı sınıflandırma oluşturulmuştur.



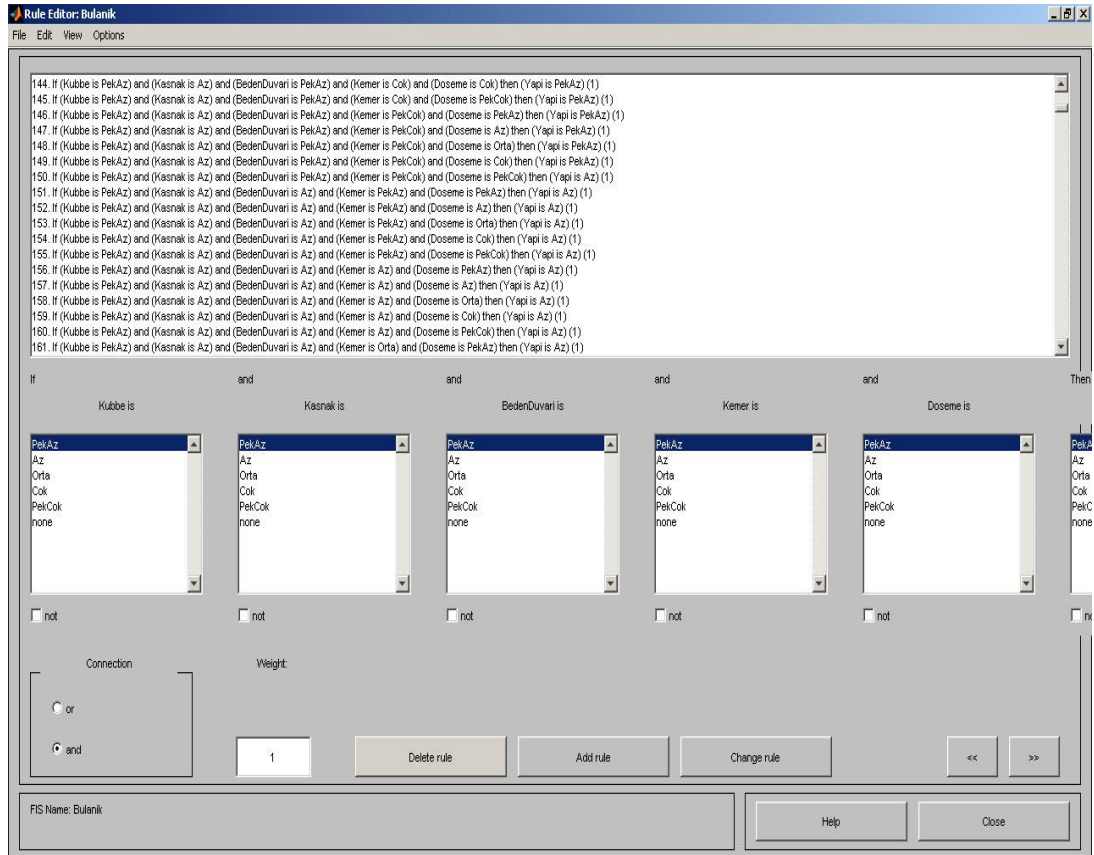
Şekil 6.15 Kubbe modülü çıktı üyelik fonksiyonlarının program ara yüz görüntüsü

Girdi ve çıktı fonksiyonlarının tümü oluşturulduktan sonra gerçekleştirilecek tüm koşulları sağlayacak şekilde bulanık kurallar ortaya konulmuştur. Bu kurallar yine sözel değişkenler ile ifade edilmiş ve konu hakkında uzman kişilerin görüşleri ile yapım birimleri hasar düzeylerinin toplam kubbe modülü hasar düzeyindeki ağırlıkları da göz önüne alınmıştır.

Bir kubbe modülünün hasar derecesini ağırlıklı olarak en fazla etkileyen unsur beden duvarı hasar derecesidir. Ağırlık oranı ortalama 0.50 düzeyindedir. Kubbe modülü toplam hasar derecesini ikinci düzeyde etkileyen yapım birimi ise kubbedir. Kubbenin ağırlık oranı ortalama 0.30 düzeyindedir. Kasnak yapım biriminin ağırlık oranı ortalama 0.10 iken, kemerin ağırlık oranı ortalama 0.07 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Döşemenin ağırlık oranı ise, ortalama 0.03 ile en alt düzeydedir. Buna göre, Tablo 6.5’de görüldüğü gibi üyelik fonksiyonu için 5 farklı sözel değerlendirme, hasar derecesi için de 5 farklı değişken ile 3125 adet koşul oluşturulmuştur. Oluşturulan koşulların program ara yüz görüntüsü şekil 6.16’da görüldüğü gibidir.

Tablo 6.5 Yöntemde kullanılan kurallar tablosu sözel değerlendirme örneği

SIRA NO	KUBBE	KASNAK	BEDEN DUVARI	KEMER	DÖŞEME	SONUÇ
1	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ
2	PEK AZ	PEK AZ	PEK AZ	AZ	PEK AZ	PEK AZ
152	PEK AZ	AZ	AZ	PEK AZ	AZ	AZ
153	PEK AZ	AZ	AZ	PEK AZ	ORTA	AZ

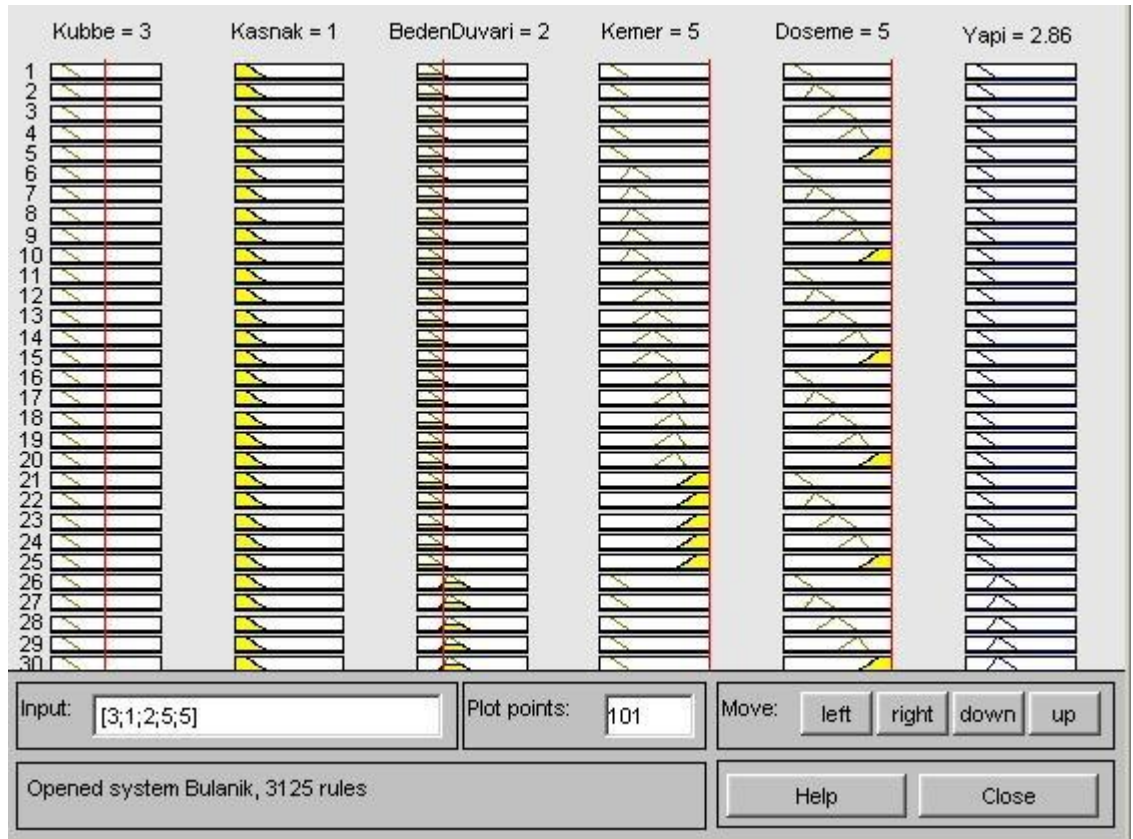


Şekil 6.16 Sözel değerlendirmeler için oluşturulan koşulların program ara yüz görüntüsü

Pek çok pratik uygulamada sonuç kesin bir değer olarak verilmektedir. Bundan dolayı, bulanık çıkarım sonucunu durulamak gerekmektedir. Durulama yapılan bir bulanık hesaplamada olasılık dağılımını en iyi gösteren bulanık olmayan bir sonucu elde etme sürecidir. Ancak iyi bir durulama stratejisi seçmek için

sistematik bir işlem yoktur, bu yüzden uygulamanın özelliklerini dikkate alan bir yöntem seçilmesi gerekmektedir. Çalışmada, durulama işlemi için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezi yönteminde her bir kurala ait çıkarım toplanır ve elde edilen şeklin ağırlık merkezi bulunarak durulaştırılır.

Yukarıda anlatılan yöntemle kubbe modülünü oluşturan yapım birimlerinin hasar derecesi değerleri MATLAB Fuzzy Toolbox'a girilmiş, böylece ağırlık merkezi yöntemi yardımıyla her bir kubbe modülü için 1-5 arası net hasar derecesi değerleri elde edilmiştir. Şekil 6.17'de, yapım birimi hasar derecesi değişkenlerine karşılık sistemin verdiği çıkış değeri şekilsel olarak gösterilmektedir. Burada giriş değerlerinin hangi kuralları harekete geçirdiği ve bu değerlere karşılık gelen çıkış değerleri görülmektedir.



Şekil 6.17 Hasar derecesi değerlerinin program ara yüzündeki şekilsel gösterimi

Bulanık mantık yöntemiyle elde edilen, 153 adet kubbe modülüne ait çıkış değerleri, kubbe modülünü ifade eden proje numaraları ve yapım birimleri hasar derece değerleriyle birlikte tablo 6.6'da verilmiştir.

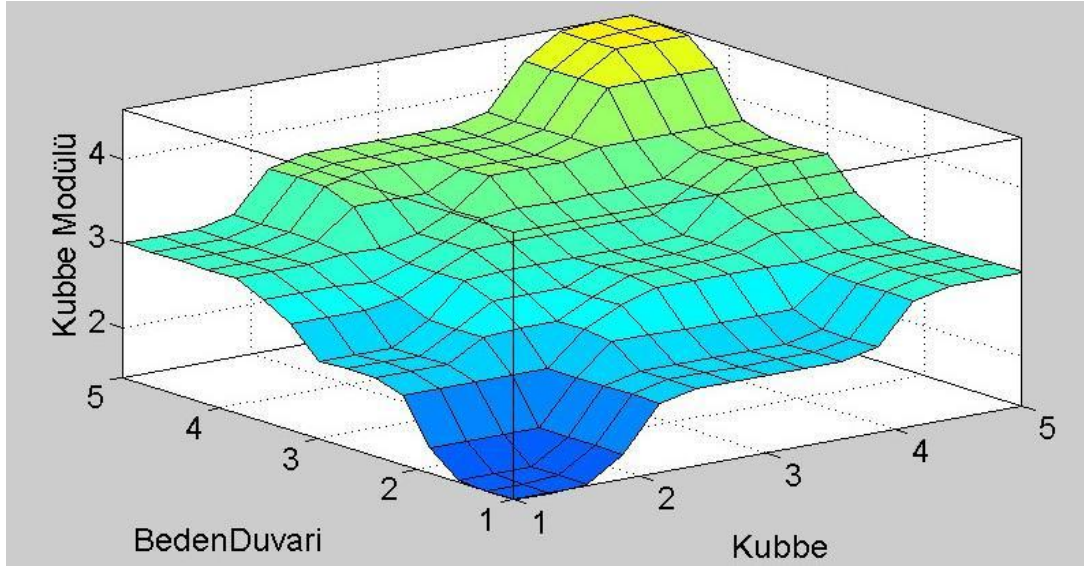
Tablo 6.6. Bulanık mantık çıkış değerleri tablosu

PROJE NO	KUBBE MODULU	TOPLAM KUBBE	KUBBE HASAR	KASNAK HASAR	BEDEN DUVARI HASAR	KEMER HASAR	DÖŞEME HASAR	BULANIK MANTIK SONUÇLARI
1	1	1	2	1	2	1	1	2,0491018
2	1	1	5	5	5	5	4	4,7035294
3	1	1	2	1	2	1	1	2,0491018
4	1	1	5	5	5	5	3	4,5775610
5	1	1	2	1	1	1	1	1,4964706
6	1	1	2	1	3	1	2	2,3555556
7	1	15	5	2	2	1	5	2,8550562
8	2	15	3	2	2	1	5	2,3555556
9	3	15	2	2	3	2	5	2,8550562
10	4	15	2	2	1	3	5	2,0491018
11	5	15	2	2	2	1	5	2,0491018
12	6	15	2	2	3	3	5	2,8550562
13	7	15	2	2	2	3	5	2,0491018
14	8	15	2	2	2	1	5	2,0491018
15	9	15	2	2	1	2	5	2,0491018
16	10	15	2	2	1	1	5	2,0491018
17	11	15	2	2	2	1	5	2,0491018
18	12	15	2	2	2	1	5	2,0491018
19	13	15	2	2	4	1	5	3,1449438
20	14	15	2	2	1	1	5	2,0491018
21	15	15	2	2	2	1	5	2,0491018
22	1	10	3	3	2	3	4	2,8550562
23	2	10	4	5	2	3	4	3,0000000
24	3	10	4	5	3	3	4	3,6444444
25	4	10	3	3	5	3	4	3,6444444
26	5	10	2	1	1	3	4	2,0491018
27	6	10	3	3	4	3	4	3,6444444
28	7	10	3	3	4	3	4	3,6444444
29	8	10	3	3	5	2	4	3,6444444
30	9	10	2	3	3	2	4	2,8550562
31	10	10	3	3	3	2	4	3,0000000
32	1	1	2	1	1	1	1	1,4964706
33	1	1	2	1	1	1	1	1,4964706
34	1	9	2	2	2	2	2	2,0491018
35	2	9	2	2	2	2	2	2,0491018
36	3	9	2	2	2	2	2	2,0491018
37	4	9	2	2	2	2	2	2,0491018
38	5	9	2	1	1	2	2	1,4964706
39	6	9	2	1	1	2	2	1,4964706
40	7	9	2	1	2	2	2	2,0491018
41	8	9	2	1	2	2	2	2,0491018
42	9	9	2	1	1	2	2	1,4964706
43	1	1	5	5	3	4	3	3,6444444
44	1	1	2	1	2	1	1	2,0491018
45	1	1	2	1	2	1	1	2,0491018
46	1	5	1	1	1	1	2	1,4964706
47	2	5	2	1	1	1	1	1,4964706
48	3	5	2	1	1	1	1	1,4964706

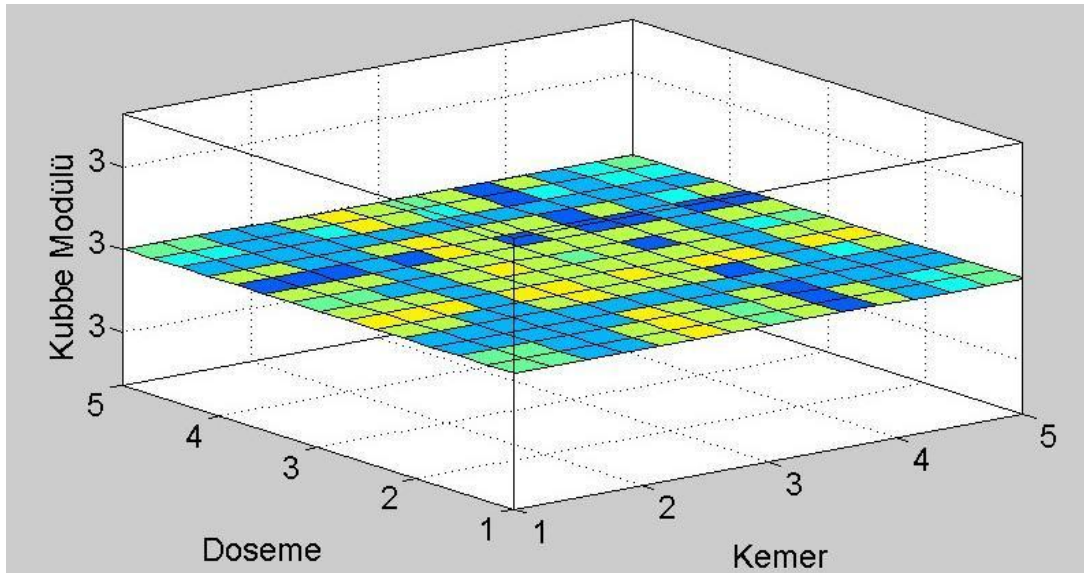
49	4	5	2	1	1	1	1	1,4964706
50	5	5	2	1	1	1	1	1,4964706
51	1	1	2	1	4	1	1	3,0000000
52	1	12	3	5	5	4	4	3,6444444
53	2	12	4	5	4	4	4	3,9508982
54	3	12	2	4	4	4	4	3,1449438
55	4	12	2	4	5	4	4	3,6444444
56	5	12	4	4	5	4	4	4,5035294
57	6	12	4	4	4	3	4	3,9508982
58	7	12	2	3	3	2	4	2,8550562
59	8	12	2	3	4	2	4	3,1449438
60	9	12	4	4	4	1	4	3,9508982
61	10	12	5	5	3	5	5	3,6666667
62	11	12	3	2	2	3	5	2,3555556
63	12	12	5	5	4	5	5	4,5035294
64	1	10	3	3	3	1	4	3,0000000
65	2	10	3	2	3	3	4	3,0000000
66	3	10	5	5	3	3	4	3,6444444
67	4	10	4	4	3	3	4	3,1449438
68	5	10	4	4	4	3	4	3,9508982
69	6	10	3	3	4	3	4	3,6444444
70	7	10	3	3	2	1	4	2,3555556
71	8	10	3	3	2	1	4	2,3555556
72	9	10	3	3	2	1	4	2,3555556
73	10	10	2	2	3	3	4	2,8550562
74	1	1	2	2	2	1	3	2,0491018
75	1	1	2	1	4	3	2	3,0000000
76	1	4	2	1	1	1	1	1,4964706
77	2	4	2	1	1	1	1	1,4964706
78	3	4	2	1	3	1	1	2,3555556
79	4	4	1	1	1	1	1	1,4224390
80	1	1	2	1	2	1	1	2,0491018
81	1	1	2	2	2	1	1	2,0491018
82	1	4	3	3	2	2	4	2,3555556
83	2	4	2	2	4	2	4	3,1449438
84	3	4	2	2	3	2	4	2,8550562
85	4	4	2	2	3	2	4	2,8550562
86	1	1	1	1	1	1	1	1,4224390
87	1	1	4	2	3	1	3	3,0000000
88	1	2	2	2	2	3	3	2,0491018
89	2	2	2	2	2	3	2	2,0491018
90	1	1	2	1	2	1	3	2,0491018
91	1	1	2	2	1	2	2	2,0491018
92	1	1	2	1	2	1	2	2,0491018
93	1	1	2	1	3	1	2	2,3555556
94	1	1	2	1	2	1	2	2,0491018
95	1	1	2	2	3	1	2	2,3555556
96	1	1	2	2	2	1	2	2,0491018
97	1	1	2	1	2	1	2	2,0491018
98	1	1	2	2	3	1	2	2,3555556
99	1	9	2	2	3	3	4	2,8550562
100	2	9	2	2	3	3	4	2,8550562
101	3	9	2	2	3	3	4	2,8550562

102	4	9	2	2	2	3	4	2,0491018
103	5	9	3	3	3	3	4	3,0000000
104	6	9	2	2	2	3	4	2,0491018
105	7	9	5	5	3	4	4	3,6444444
106	8	9	5	5	3	3	4	3,6444444
107	9	9	3	3	3	3	4	3,0000000
108	1	4	2	2	2	1	5	2,0491018
109	2	4	2	1	2	1	5	2,0491018
110	3	4	2	1	2	1	5	2,0491018
111	4	4	2	1	2	1	5	2,0491018
112	1	8	2	2	2	1	3	2,0491018
113	2	8	2	2	2	2	2	2,0491018
114	3	8	2	2	2	2	2	2,0491018
115	4	8	2	1	2	2	2	2,0491018
116	5	8	2	2	2	1	5	2,0491018
117	6	8	2	2	2	2	4	2,0491018
118	7	8	2	1	2	1	3	2,0491018
119	8	8	2	1	2	1	4	2,0491018
120	1	6	3	3	3	3	3	3,0000000
121	2	6	2	3	2	2	3	2,0491018
122	3	6	3	3	2	2	4	2,3555556
123	4	6	2	3	2	2	4	2,0491018
124	5	6	2	3	2	2	4	2,0491018
125	6	6	2	3	2	2	4	2,0491018
126	1	4	2	3	3	1	3	2,8550562
127	2	4	2	3	4	1	5	3,1449438
128	3	4	2	3	2	1	5	2,0491018
129	4	4	5	5	4	5	5	4,5035294
130	1	12	3	3	4	1	5	3,1449438
131	2	12	3	3	2	2	5	2,3555556
132	3	12	3	1	2	3	5	2,3555556
133	4	12	2	1	2	1	5	2,0491018
134	5	12	2	1	3	5	5	2,8550562
135	6	12	2	1	2	1	5	2,0491018
136	7	12	2	1	2	1	5	2,0491018
137	8	12	2	1	2	1	5	2,0491018
138	9	12	2	1	2	1	5	2,0491018
139	10	12	2	1	2	2	5	2,0491018
140	11	12	2	1	2	1	5	2,0491018
141	12	12	2	1	2	3	5	2,0491018
142	1	12	5	5	3	1	5	3,6666667
143	2	12	2	1	2	1	5	2,0491018
144	3	12	2	1	2	1	5	2,0491018
145	4	12	2	1	1	1	1	1,4964706
146	5	12	2	1	1	1	1	1,4964706
147	6	12	2	1	1	2	1	1,4964706
148	7	12	2	2	2	2	1	2,0491018
149	8	12	2	2	2	2	1	2,0491018
150	9	12	2	2	2	1	1	2,0491018
151	10	12	2	2	1	1	1	1,4964706
152	11	12	2	2	1	1	1	1,4964706
153	12	12	2	2	2	1	1	2,0491018

Ayrıca, program sayesinde yapım birimi hasar derecelerinin, yapı toplam hasar derecesindeki değişimini gösteren yüzey görüntüleri de elde edilmiştir. Burada sadece toplam kubbe modülü hasar derecesini en çok etkileyen kubbe ve beden duvarının yüzey görüntüsü ile en az etkileyen kemer ve döşemenin yüzey görüntüsü verilmiştir (Şekil 6.18), (Şekil 6.19).



Şekil 6.18 Beden duvarı ve Kubbe yapım birimlerinin toplam kubbe modülü üzerindeki ağırlıklarının yüzey görünüşü



Şekil 6.19 Kemer ve döşeme yapım birimlerinin toplam kubbe modülü üzerindeki ağırlıklarının yüzey görünüşü

6.2.2. Yapay Sinir Ağı Analizleri

Yukarıdaki bölümde de anlatıldığı gibi, analiz çalışmasının birinci aşamasında, bulanık mantık yöntemiyle her bir kubbe modülünün hasar düzey değerleri elde edilmiştir. Analiz çalışmasının ikinci aşamasında ise, YSA yöntemi ile örnek yapıların restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmini yapılmıştır. Bu amaçla, restorasyon çalışması yapan resmi kurumlardan elde edilen, 153 adet kubbe modülüne sahip 43 adet Osmanlı dönemi anıtsal kubbeli yapının, restorasyon projelerinden elde edilen kubbe yarıçapı, kubbe yüksekliği, kubbe biçimi, yapı yüksekliği, dolu cephe sayısı, yapı açıklığı, müdahale derecesi (Hedef durum) ile, bulanık mantık yöntemiyle elde edilen hasar düzeyi (Mevcut durum) değerleri, YSA'nın ağ mimarisinde giriş parametreleri olarak kullanılmıştır. Çıktılar için ise, her bir kubbe modülünün gerçekleştirilmiş onarım metrajlarının 2011 yılı Vakıflar Birim Fiyatları esas alınarak elde edilmiş maliyet değerleri girilmiştir.

Ağa veri olarak girilecek değerler için oluşturulan veri seti tablosu, Tablo 6.7'de verilmiştir. Toplam 153 adet kubbe modül verisinin 130 adedi, Yapay sinir ağlarının eğitilmesinde, 20 adedi test aşamasında ve ağın performansının değerlendirilmesinde, rastgele seçilmiş 3 adet örnek proje ise, yine geliştirilen modelin test edilmesi amacıyla kullanılacaktır. Veri seti tablosunda belirtilen, proje numarası 1'den 133'e kadar olan modüller içerisinde, 2, 24 ve 88 nolu örnekler çıkarıldıktan sonra kalan 130 adet veri örneği YSA'nın eğitilmesinde, proje numarası 134'den 153'e kadar olan 20 adet veri örneği test ve ağın performansının değerlendirilmesinde, tezde kullanılan 3 farklı yapı türünden, her bir yapı türünü temsil eden rastgele seçilmiş 2, 24 ve 88 proje numaralı örnekler ise, modelin test edilmesi aşamasında kullanılmıştır.

Veri seti tablosunda belirtilen değerler, farklı topoloji ve özelliklerde oluşturulmuş 10 değişik YSA'na girilmiş, on binde bir hata payı ile öğrenme yapması doğrultusunda çıkış değerleri verilerek danışmanlı öğretim işlemi yaptırılmıştır. Analizler için tüm denemelerde geri yayılım algoritması ve Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan denemeler sonucu optimum çözümler bu eğitim metodu ile alınmıştır. Ayrıca öğrenme katsayısı olarak 0.7, momentum katsayısı olarak 0.2 değerleri kullanılmıştır.

Tablo 6.7 Veri seti tablosu

VERİ SETİ									
Kubbe				Yapı		Dolu Cephe	Hasar Düzeyi	Müdehale Derecesi	Maliyet
Proje No.	Yarıçap (m)	Yük. (m)	Biçim	Yük. (m)	Açık. (m)	Ad.	1 - 5	1 - 5	(Bin TL)
1	2.55	2.20	TAM	7,26	6.05	4	2,0491018	2	27
2	3.75	3.00	TAM	9,15	10.00	4	4,7035294	5	255
3	2.50	3.20	TAM	5,4	7.20	4	2,0491018	2	36,3
4	4.45	3.95	TAM	8,65	9.00	4	4,5775610	5	258,4
5	4.90	3.10	TAM	8,75	10.95	4	1,4964706	1	59,5
6	4.00	3.65	TAM	8,5	8.50	4	2,3555556	2	85,3
7	5.90	4.30	TAM	8,55	12.80	4	2,8550562	3	277,1
8	5.95	4.85	TAM	9,1	13.10	4	2,3555556	2	235,4
9	3.25	2.25	TAM	6,8	7.00	2	2,8550562	3	60,6
10	3.55	2.30	TAM	8,4	7.80	3	2,0491018	2	48,3
11	1.50	1.25	TAM	5,6	4.20	4	2,0491018	2	13,3
12	1.55	1.25	TAM	5,6	3.65	3	2,8550562	3	13,7
13	1.40	1.20	TAM	5,6	3.65	3	2,0491018	2	12,5
14	1.40	1.20	TAM	6,5	4.40	4	2,0491018	2	15,5
15	1.15	0.65	TAM	5,7	4.40	2	2,0491018	2	9,1
16	1.15	0.65	TAM	5,65	4.40	2	2,0491018	2	9
17	2.20	1.80	TAM	5,9	5.50	4	2,0491018	2	26,8
18	2.20	1.80	TAM	5,9	5.50	4	2,0491018	2	26,2
19	2.20	1.75	TAM	5,9	4.20	4	3,1449438	3	24,8
20	2.20	1.75	TAM	5,9	4.20	4	2,0491018	2	18
21	2.35	1.85	TAM	5,9	5.30	4	2,0491018	2	25,8
22	6.75	3.50	TAM	10,67	13.65	4	2,8550562	3	259,8
23	3.25	1.70	TAM	6,9	9.70	2	3,0000000	3	68,6
24	2.80	1.50	TAM	6,5	7.50	3	3,6444444	4	56,5
25	1.90	1.15	TAM	5,4	4.00	4	3,6444444	4	27,2
26	1.90	1.15	TAM	5,5	4.00	4	2,0491018	2	13
27	1.90	1.15	TAM	5,45	4.00	4	3,6444444	4	21,9
28	1.85	1.05	TAM	5,45	4.50	4	3,6444444	4	22,1
29	1.40	0.95	TAM	4,85	4.00	4	3,6444444	4	21,5
30	1.40	0.95	TAM	4,85	4.00	4	2,8550562	3	12,3
31	1.40	0.95	TAM	4,85	4.50	4	3,0000000	3	16,1
32	3.90	3.30	TAM	6,85	9.00	4	1,4964706	1	43
33	5.50	5.00	TAM	10,9	16.50	4	1,4964706	1	137,5
34	4.50	4.10	TAM	9,82	10.50	3	2,0491018	2	107,4
35	4.60	4.20	TAM	10,62	11.00	1	2,0491018	2	110,9
36	3.40	2.20	TAM	7,51	7.60	2	2,0491018	2	44,2
37	3.35	2.20	TAM	7,41	7.50	2	2,0491018	2	42,4
38	2.10	1.40	TAM	7,05	5.10	1	1,4964706	1	13
39	2.10	1.40	TAM	7,05	4.65	1	1,4964706	1	12,4
40	2.30	1.50	TAM	9,4	4.10	1	2,0491018	2	18,3
41	2.10	1.40	TAM	7,1	4.65	1	2,0491018	2	16,2
42	2.10	1.40	TAM	7,1	5.10	2	1,4964706	1	13,4

Tablo 6.7 (Devam) Veri seti tablosu

VERİ SETİ									
Kubbe				Yapı		Dolu Cephe	Hasar Düzeyi	Müdehale Derecesi	Maliyet
Proje No.	Yarıçap (m)	Yük. (m)	Biçim	Yük. (m)	Açık. (m)	Ad.	1 - 5	1 - 5	(Bin TL)
43	7.20	5.45	TAM	11	16.20	4	1,4964706	1	535,7
44	5.25	1.50	TAM	8,17	11.50	4	1,4964706	1	76
45	4.50	3.40	TAM	7,85	10.30	4	2,0491018	2	76,5
46	5.00	2.35	TAM	9,02	12.35	4	1,4964706	1	42
47	2.00	1.75	TAM	7,35	5.40	3	1,4964706	1	13,2
48	1.60	1.45	TAM	7,35	4.30	1	1,4964706	1	8,1
49	1.60	1.45	TAM	7,35	4.30	1	1,4964706	1	8,1
50	2.00	1.75	TAM	7,35	5.40	3	1,4964706	1	13,2
51	2.80	1.80	TAM	6,95	6.15	4	3,0000000	3	36,4
52	3.20	1.70	TAM	5,7	6.30	4	3,6444444	4	72
53	3.20	1.65	TAM	5,7	6.35	4	3,9508982	4	59
54	3.20	1.75	TAM	5,7	6.40	4	3,1449438	3	48,9
55	3.25	1.70	TAM	5,7	6.30	4	3,6444444	4	65
56	3.15	2.25	TAM	6,4	6.25	4	4,5035294	5	94,7
57	3.15	2.70	TAM	6,4	6.25	4	3,9508982	4	79,8
58	3.30	1.90	TAM	7,75	7.85	4	2,8550562	3	76,6
59	3.25	2.40	TAM	7,45	7.85	4	3,1449438	3	81,1
60	2,30	2.20	TAM	6,65	5.10	4	3,9508982	4	47,2
61	5.25	3.25	TAM	12,1	10.50	3	3,6666667	4	285,4
62	6.00	3.60	TAM	9,25	12.00	4	2,3555556	2	198,8
63	4.95	3.00	Yarım	10,5	10.00	3	4,5035294	5	158,5
64	6.95	4.80	TAM	11,9	15.35	4	3,0000000	3	368,5
65	5.50	4.80	TAM	9,6	12.10	3	3,0000000	3	221,4
66	2.30	1.90	TAM	8,68	6.40	4	3,6444444	4	78,1
67	3.00	1.90	TAM	8,43	6.70	4	3,1449438	3	78,2
68	2.95	1.85	TAM	7,33	6.15	4	3,9508982	4	63,3
69	2.95	1.85	TAM	7,33	6.15	4	3,6444444	4	66,3
70	2.45	1.70	TAM	5,6	5.97	4	2,3555556	2	41,2
71	2.45	1.70	TAM	5,6	5.37	4	2,3555556	2	39,3
72	2.40	1.65	TAM	5,55	5.25	4	2,3555556	2	38,1
73	1.25	0.80	TAM	4,5	3.40	3	2,8550562	3	8,2
74	4.85	4.10	TAM	8,06	10.60	4	2,0491018	2	109,4
75	2.95	1.80	TAM	7,35	6.80	4	3,0000000	3	50,3
76	3.00	2.50	TAM	4,3	8.00	4	1,4964706	1	25,7
77	2.25	2.00	TAM	4,3	8.00	4	1,4964706	1	18,4
78	1.40	1.10	TAM	3,5	3.50	4	2,3555556	2	7,4
79	1.75	1.10	TAM	2,7	4.50	3	1,4224390	1	3,2
80	4.05	2.45	TAM	8,8	9.85	4	2,0491018	2	73,2
81	4.40	3.60	TAM	7,75	10.25	4	2,0491018	2	84,4
82	5.60	2.20	TAM	9,75	11.50	4	2,3555556	2	152,1
83	2.70	1.10	TAM	6	5.45	2	3,1449438	3	30,4

Tablo 6.7 (Devam) Veri seti tablosu

VERİ SETİ									
Kubbe				Yapı		Dolu Cephe	Hasar Düzeyi	Müdehale Derecesi	Maliyet
Proje No.	Yarıçap (m)	Yük. (m)	Biçim	Yük. (m)	Açık. (m)	Ad.	1 - 5	1 - 5	(Bin TL)
84	2.20	0.80	TAM	5,5	4.40	4	2,8550562	3	16,8
85	2.15	0.80	TAM	5,5	4.30	4	2,8550562	3	15,9
86	3.50	2.45	TAM	6,75	7.95	4	1,4224390	1	18,1
87	4.35	3.00	TAM	8,5	10.00	4	3,0000000	3	128,2
88	3.30	2.75	TAM	8,55	15.70	4	2,0491018	2	141,1
89	3.40	2.95	TAM	8,25	7.30	4	2,0491018	2	62,3
90	4.50	4.00	TAM	9,7	9.50	4	2,0491018	2	100,9
91	1.85	1.40	TAM	6,25	4.50	0	2,0491018	2	11,7
92	2.90	2.95	TAM	8,05	7.50	4	2,0491018	2	48
93	3.10	2.50	TAM	7,7	8.20	4	2,3555556	2	58,1
94	2.80	1.55	TAM	6,9	6.50	4	2,0491018	2	31,2
95	3.20	2.80	TAM	8,15	7.80	4	2,3555556	2	64,8
96	5.10	4.55	TAM	10,06	11.00	4	2,0491018	2	134,7
97	4.80	3.75	TAM	9,2	10.70	4	2,0491018	2	111,7
98	3.30	2.90	TAM	8,55	7.50	3	2,3555556	2	64,5
99	2.35	0.90	TAM	5,2	4.60	4	2,8550562	3	20,2
100	2.30	0.90	TAM	5,2	4.60	4	2,8550562	3	20,1
101	2.35	0.90	TAM	5,2	4.60	4	2,8550562	3	20,2
102	2.35	0.90	TAM	5,2	4.60	4	2,0491018	2	18,3
103	2.50	0.95	TAM	5,6	4.85	2	3,0000000	3	31,6
104	2.50	0.95	TAM	5,6	4.85	2	2,0491018	2	23,6
105	1.60	0.90	TAM	5,1	4.50	2	3,6444444	4	27,5
106	1.40	0.90	TAM	4,9	4.75	2	3,6444444	4	23
107	1.40	0.75	TAM	4,25	3.40	4	3,0000000	3	10,5
108	2.50	1.75	TAM	4,95	5.45	1	2,0491018	2	29,8
109	1.40	1.05	TAM	3,6	3.20	4	2,0491018	2	7
110	1.40	1.05	TAM	3,5	2.90	4	2,0491018	2	6,7
111	1.40	1.10	TAM	3,5	2.90	4	2,0491018	2	6,9
112	5.65	3.2	TAM	14,1	11.30	4	2,0491018	2	164,9
113	2.40	1.10	TAM	8,55	4.75	3	2,0491018	2	20,3
114	2.00	1.00	TAM	7,2	4.70	3	2,0491018	2	16,2
115	1.50	1.10	TAM	5,55	3.50	2	2,0491018	2	8,8
116	4.00	2.00	TAM	10,06	9.65	4	2,0491018	2	95,8
117	2.10	1.60	TAM	7,2	3.40	3	2,0491018	2	19,4
118	2.15	1.00	TAM	5,65	4.75	4	2,0491018	2	14,8
119	2.15	1.00	TAM	5,75	4.80	4	2,0491018	2	16
120	4.50	2.80	TAM	8	10.50	4	3,0000000	3	142,2
121	4.25	2.70	TAM	7,75	10.30	4	2,0491018	2	94,7
122	2.30	0.90	TAM	5,1	4.05	3	2,3555556	2	14,5
123	2.05	0.80	TAM	5,1	3.85	2	2,0491018	2	13,7
124	2.05	0.80	TAM	5,1	3.85	2	2,0491018	2	14,6
125	2.30	0.90	TAM	5,1	4.05	3	2,0491018	2	14,5

Tablo 6.7 (Devam) Veri seti tablosu

VERİ SETİ									
Kubbe				Yapı		Dolu Cephe	Hasar Düzeyi	Müdehale Derecesi	Maliyet
Proje No.	Yarıçap (m)	Yük. (m)	Biçim	Yük. (m)	Açık. (m)	Ad.	1 - 5	1 - 5	(Bin TL)
126	2.80	1.70	TAM	6,7	6.50	4	2,8550562	3	40,6
127	2.75	1.70	TAM	6,35	6.40	4	3,1449438	3	46,5
128	2.10	1.30	TAM	6,35	4.90	4	2,0491018	2	21,2
129	2.00	1.25	TAM	6,3	4.60	4	4,5035294	5	46
130	6.55	3.75	TAM	12,14	16.00	4	3,1449438	3	416,3
131	3.80	2.40	TAM	6,65	7.50	4	2,3555556	2	74,4
132	2.80	2.15	TAM	5,85	6.75	2	2,3555556	2	53
133	1.55	0.85	TAM	4,25	3.80	4	2,0491018	2	9,1
134	1.45	0.70	TAM	4,15	3.20	3	2,8550562	3	11
135	1.60	1.05	TAM	6,9	3.45	4	2,0491018	2	11,4
136	1.55	0.90	TAM	5,25	3.70	4	2,0491018	2	9,9
137	1.50	0.80	TAM	5,85	3.20	4	2,0491018	2	8,6
138	1.50	0.80	TAM	5,8	3.20	4	2,0491018	2	8,5
139	1.70	1.00	TAM	7	3.25	4	2,0491018	2	11,6
140	1.55	0.90	TAM	5,85	3.70	4	2,0491018	2	10,6
141	1.60	1.05	TAM	6,9	4.50	4	2,0491018	2	17,8
142	5.75	3.15	TAM	9,5	12.50	4	3,6666667	4	259,8
143	2.90	2.00	TAM	6,45	6.25	4	2,0491018	2	36,6
144	2.90	2.00	TAM	6,45	6.25	1	2,0491018	2	30
145	1.80	0.90	TAM	4,75	3.80	4	1,4964706	1	6,1
146	1.80	0.90	TAM	4,75	3.80	4	1,4964706	1	6,1
147	1.50	0.90	TAM	4,75	3.00	3	1,4964706	1	5,3
148	1.35	0.75	TAM	5,1	3.75	3	2,0491018	2	8,9
149	1.35	0.75	TAM	5,1	3.75	3	2,0491018	2	8,8
150	1.10	0.75	TAM	5,1	3.00	4	2,0491018	2	6,7
151	1.10	0.75	TAM	5,1	3.00	4	1,4964706	1	5
152	1.10	0.75	TAM	5,1	3.00	4	1,4964706	1	4,9
153	1.10	0.75	TAM	5,1	3.00	4	2,0491018	2	6,8

Yukarıdaki veri seti tablolarında kullanılan kubbe modüllerine ait proje numaralarının, hangi yapılara ait olduğunu belirten aynı zamanda, bu yapıların kaç kubbe modülüne sahip olduğunu ifade eden bilgiler, ekler bölümünde Ek-1 A'da bulunan tablolarda verilmiştir.

Yapay sinir ağlarında öğrenme oranının yüksek seçilmesi, eğitim evresinin çok verimli, test evresinin bir o kadar başarısız olmasına neden olmaktadır. Atanan

momentum katsayıları hem deneme yanılma yöntemiyle, hem de daha önce bu yönde yapılan çalışmaların sonuçları değerlendirilerek belirlenmiştir.

Diğer yandan, yapay sinir ağlarının en belirgin özelliklerinden birisi de doğrusal olmama özelliğidir. Bu özelliğin anlaşılabilir olmasını sağlayan yaklaşım, verilerin bir normalizasyona tabi tutulmasıdır. Verilerin normalizasyonu için seçilen yöntem YSA'nın performansını doğrudan etkilemektedir. Çünkü normalizasyon, giriş verilerinin transfer edilirken fonksiyonunun aktif olan bölgesinden aktarılmasını sağlar. Veri normalizasyonu, işlemci elemanlarını verileri kümülatif toplamlarla koruma eğilimleri nedeniyle zorunludur ve aşırı değerlendirilmiş kümülatif toplamların oluşturacağı olumsuzlukların engellemesini sağlar. Genellikle verinin $[0,1]$ veya $[-1,+1]$ aralıklarından birine ölçeklendirilmesi önerilmektedir. Ölçekleme verinin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması anlamı taşıdığından veri kalitesi aşırı salınımlar içeren problemlerin YSA modellerini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu olumsuzluk, kullanılacak öğrenme fonksiyonunu da başarısız kılabilir. Bu durumda birbirinden oldukça farklı skala değerleri sistemde aynı değerdeymiş gibi ele alınacak ve YSA sistemini olumsuz etkileyecektir. Bunun için uygun bir ölçeklendirme sistemi seçilmemesi hem uygulama, hem de öğrenme algoritması açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabilecektir (Sağiroğlu vd. 2003).

Veri setinde her bir sütun kendi içerisinde normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Veri setinde bulunan max-min. değerler Tablo 6.8'de verilmiştir.

Tablo 6.8 YSA Veri seti max-min. değerler

1	Kubbe Yarıçapı	7,20	1,10	6,10
2	Kubbe Yüksekliği	5,45	0,65	4,80
3	Kubbe Biçimi	1,00	0,50	0,50
4	Yapı Yüksekliği	14,10	2,70	11,40
5	Yapı Açıklığı	16,50	2,90	13,60
6	Beden Duvarı Adet	4,00	0,00	4,00
7	Hasar Derecesi	4,58	1,42	3,16
8	Müdahale Derecesi	5,00	1,00	4,00
No	Çıktı	Azami	Asgari	Aralık
1	Maaliyet	535,70	3,20	532,50

Yukarıda belirtildiği gibi, gerçek veri setinde kullanılan verileri, olduğu gibi YSA analizlerinde kullanmak mümkün değildir. Oluşturulan veri seti, normalizasyon işleminden geçmek zorundadır. Normalizasyon için oluşturulan veri setinde her bir sütun kendi içerisinde ölçeklendirilmiş [-1,+1] arasına çekilmiştir. Bunun sonucunda, gerek iterasyon sayısı, gerekse öğrenme süresi boyutlarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan normalize veri seti Tablo 6. 9'da görülmektedir.

Tablo 6.9 Normalize Veri seti tablosu

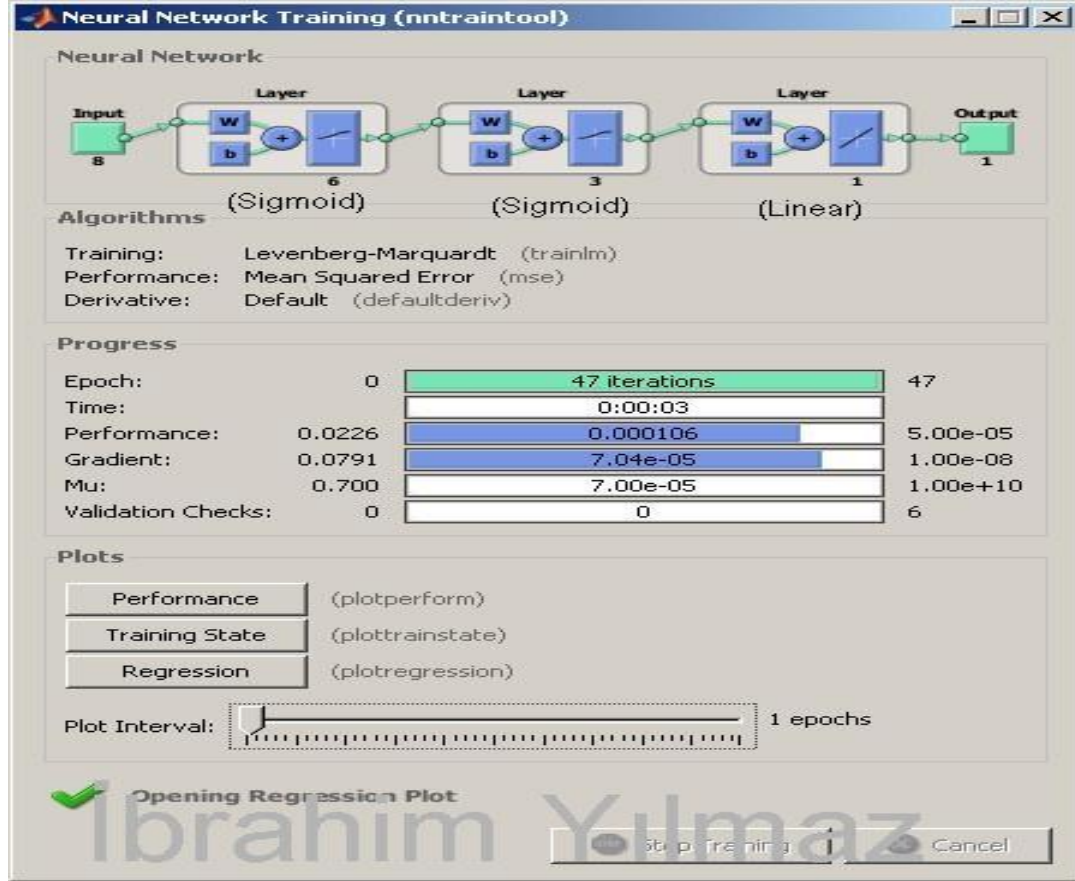
Proje No	Kubbe Yarıçapı	Kubbe Yüksekliği	Kubbe Biçimi	Yapı Yüksekliği	Yapı Açıklığı	Dolu Cephe	Hasar Derecesi	Müdahale Derecesi
1	-0,0639	0,0315	0,0175	0,035	-0,0505	0,1211	-0,1225	-0,1225
3	-0,0711	0,2107	0,0175	-0,1542	0,0236	0,1211	-0,1225	-0,1225
4	0,2093	0,3451	0,0175	0,1764	0,1395	0,1211	0,547	0,547
5	0,274	0,1928	0,0175	0,1866	0,2652	0,1211	-0,2688	-0,2688
6	0,1446	0,2914	0,0175	0,1612	0,1073	0,1211	-0,0414	-0,0414
7	0,4177	0,4079	0,0175	0,1663	0,3844	0,1211	0,0909	0,0909
8	0,4249	0,5064	0,0175	0,2222	0,4037	0,1211	-0,0414	-0,0414
9	0,0368	0,0405	0,0175	-0,0118	0,0107	-0,2879	0,0909	0,0909
10	0,0799	0,0494	0,0175	0,151	0,0622	-0,0834	-0,1225	-0,1225
11	-0,2148	-0,1388	0,0175	-0,1339	-0,1697	0,1211	-0,1225	-0,1225
12	-0,2076	-0,1388	0,0175	-0,1339	-0,2051	-0,0834	0,0909	0,0909
13	-0,2292	-0,1477	0,0175	-0,1339	-0,2051	-0,0834	-0,1225	-0,1225
14	-0,2292	-0,1477	0,0175	-0,0423	-0,1568	0,1211	-0,1225	-0,1225
15	-0,2651	-0,2463	0,0175	-0,1237	-0,1568	-0,2879	-0,1225	-0,1225
16	-0,2651	-0,2463	0,0175	-0,1288	-0,1568	-0,2879	-0,1225	-0,1225
17	-0,1142	-0,0402	0,0175	-0,1034	-0,086	0,1211	-0,1225	-0,1225
18	-0,1142	-0,0402	0,0175	-0,1034	-0,086	0,1211	-0,1225	-0,1225
19	-0,1142	-0,0491	0,0175	-0,1034	-0,1697	0,1211	0,1676	0,1676
20	-0,1142	-0,0491	0,0175	-0,1034	-0,1697	0,1211	-0,1225	-0,1225
21	-0,0926	-0,0312	0,0175	-0,1034	-0,0988	0,1211	-0,1225	-0,1225
22	0,5399	0,2645	0,0175	0,382	0,4391	0,1211	0,0909	0,0909
23	0,0368	-0,0581	0,0175	-0,0016	0,1846	-0,2879	0,1293	0,1293
25	-0,0279	-0,094	0,0175	-0,0423	0,0429	-0,0834	0,2999	0,2999
26	-0,1573	-0,1567	0,0175	-0,1542	-0,1826	0,1211	0,2999	0,2999
27	-0,1573	-0,1567	0,0175	-0,1441	-0,1826	0,1211	-0,1225	-0,1225
28	-0,1573	-0,1567	0,0175	-0,1492	-0,1826	0,1211	0,2999	0,2999
29	-0,1645	-0,1746	0,0175	-0,1492	-0,1504	0,1211	0,2999	0,2999
30	-0,2292	-0,1925	0,0175	-0,2102	-0,1826	0,1211	0,2999	0,2999
31	-0,2292	-0,1925	0,0175	-0,2102	-0,1826	0,1211	0,0909	0,0909
32	-0,2292	-0,1925	0,0175	-0,2102	-0,1504	0,1211	0,1293	0,1293
33	0,1302	0,2286	0,0175	-0,0067	0,1395	0,1211	-0,2688	-0,2688
34	0,3602	0,5333	0,0175	0,4054	0,6227	0,1211	-0,2688	-0,2688
35	0,2165	0,372	0,0175	0,2955	0,2362	-0,0834	-0,1225	-0,1225
36	0,2309	0,39	0,0175	0,3769	0,2684	-0,4924	-0,1225	-0,1225
37	0,0583	0,0315	0,0175	0,0604	0,0493	-0,2879	-0,1225	-0,1225
38	0,0511	0,0315	0,0175	0,0503	0,0429	-0,2879	-0,1225	-0,1225
39	-0,1286	-0,1119	0,0175	0,0136	-0,1117	-0,4924	-0,2688	-0,2688
40	-0,1286	-0,1119	0,0175	0,0136	-0,1407	-0,4924	-0,2688	-0,2688
41	-0,0998	-0,094	0,0175	0,2527	-0,1762	-0,4924	-0,1225	-0,1225

42	-0,1286	-0,1119	0,0175	0,0187	-0,1407	-0,4924	-0,1225	-0,1225
43	-0,1286	-0,1119	0,0175	0,0187	-0,1117	-0,2879	-0,2688	-0,2688
44	0,6046	0,614	0,0175	0,4155	0,6034	0,1211	0,2999	0,2999
45	0,3243	-0,094	0,0175	0,1276	0,3006	0,1211	-0,1225	-0,1225
46	0,2165	0,2466	0,0175	0,095	0,2233	0,1211	-0,1225	-0,1225
47	0,2884	0,0584	0,0175	0,2141	0,3554	0,1211	-0,2688	-0,2688
48	-0,1429	-0,0491	0,0175	0,0442	-0,0924	-0,0834	-0,2688	-0,2688
49	-0,2004	-0,1029	0,0175	0,0442	-0,1633	-0,4924	-0,2688	-0,2688
50	-0,2004	-0,1029	0,0175	0,0442	-0,1633	-0,4924	-0,2688	-0,2688
51	-0,1429	-0,0491	0,0175	0,0442	-0,0924	-0,0834	-0,2688	-0,2688
52	-0,0279	-0,0402	0,0175	0,0035	-0,0441	0,1211	0,1293	0,1293
53	0,0296	-0,0581	0,0175	-0,1237	-0,0344	0,1211	0,2999	0,2999
54	0,0296	-0,0671	0,0175	-0,1237	-0,0312	0,1211	0,381	0,381
55	0,0296	-0,0491	0,0175	-0,1237	-0,028	0,1211	0,1676	0,1676
56	0,0368	-0,0581	0,0175	-0,1237	-0,0344	0,1211	0,2999	0,2999
57	0,0224	0,0405	0,0175	-0,0525	-0,0376	0,1211	0,5274	0,5274
58	0,0224	0,1211	0,0175	-0,0525	-0,0376	0,1211	0,381	0,381
59	0,044	-0,0223	0,0175	0,0849	0,0654	0,1211	0,0909	0,0909
60	0,0368	0,0673	0,0175	0,0543	0,0654	0,1211	0,1676	0,1676
61	-0,0998	0,0315	0,0175	-0,0271	-0,1117	0,1211	0,381	0,381
62	0,4321	0,2824	0,0175	0,2375	0,3972	0,1211	-0,0414	-0,0414
63	0,2812	0,1749	-2,2628	0,3647	0,204	-0,0834	0,5274	0,5274
64	0,5687	0,4975	0,0175	0,5071	0,5486	0,1211	0,1293	0,1293
65	0,3602	0,4975	0,0175	0,2731	0,3393	-0,0834	0,1293	0,1293
66	-0,0998	-0,0223	0,0175	0,1795	-0,028	0,1211	0,2999	0,2999
67	0,0008	-0,0223	0,0175	0,1541	-0,0086	0,1211	0,1676	0,1676
68	-0,0064	-0,0312	0,0175	0,0421	-0,0441	0,1211	0,381	0,381
69	-0,0064	-0,0312	0,0175	0,0421	-0,0441	0,1211	0,2999	0,2999
70	-0,0782	-0,0581	0,0175	-0,1339	-0,0557	0,1211	-0,0414	-0,0414
71	-0,0782	-0,0581	0,0175	-0,1339	-0,0943	0,1211	-0,0414	-0,0414
72	-0,0854	-0,0671	0,0175	-0,139	-0,1021	0,1211	-0,0414	-0,0414
73	-0,2508	-0,2194	0,0175	-0,2458	-0,2213	-0,0834	0,0909	0,0909
74	0,2668	0,372	0,0175	0,1164	0,2426	0,1211	-0,1225	-0,1225
75	-0,0064	-0,0402	0,0175	0,0442	-0,0022	0,1211	0,1293	0,1293
76	0,0008	0,0853	0,0175	-0,2662	0,0751	0,1211	-0,2688	-0,2688
77	-0,107	-0,0043	0,0175	-0,2662	0,0751	0,1211	-0,2688	-0,2688
78	-0,2292	-0,1656	0,0175	-0,3476	-0,2148	0,1211	-0,0414	-0,0414
79	-0,1789	-0,1656	0,0175	-0,429	-0,1504	-0,0834	-0,2885	-0,2885
80	0,1518	0,0763	0,0175	0,1917	0,1943	0,1211	-0,1225	-0,1225
81	0,2021	0,2824	0,0175	0,0849	0,2201	0,1211	-0,1225	-0,1225
82	0,3746	0,0315	0,0175	0,2884	0,3006	0,1211	-0,0414	-0,0414
83	-0,0423	-0,1656	0,0175	-0,0932	-0,0892	-0,2879	0,1676	0,1676
84	-0,1142	-0,2194	0,0175	-0,1441	-0,1568	0,1211	0,0909	0,0909
85	-0,1214	-0,2194	0,0175	-0,1441	-0,1633	0,1211	0,0909	0,0909
86	0,0727	0,0763	0,0175	-0,0169	0,0719	0,1211	-0,2885	-0,2885
87	0,1949	0,1749	0,0175	0,1612	0,204	0,1211	0,1293	0,1293
89	0,0583	0,1659	0,0175	0,1357	0,03	0,1211	-0,1225	-0,1225
90	0,2165	0,3541	0,0175	0,2833	0,1718	0,1211	-0,1225	-0,1225
91	-0,1645	-0,1119	0,0175	-0,0678	-0,1504	-0,6969	-0,1225	-0,1225
92	-0,0135	0,1659	0,0175	0,1154	0,0429	0,1211	-0,1225	-0,1225
93	0,0152	0,0853	0,0175	0,0798	0,088	0,1211	-0,0414	-0,0414
94	-0,0279	-0,085	0,0175	-0,0016	-0,0215	0,1211	-0,1225	-0,1225
95	0,0296	0,139	0,0175	0,1256	0,0622	0,1211	-0,0414	-0,0414

96	0,3027	0,4527	0,0175	0,3199	0,2684	0,1211	-0,1225	-0,1225
97	0,2596	0,3093	0,0175	0,2324	0,2491	0,1211	-0,1225	-0,1225
98	0,044	0,157	0,0175	0,1663	0,0429	-0,0834	-0,0414	-0,0414
99	-0,0926	-0,2015	0,0175	-0,1746	-0,1439	0,1211	0,0909	0,0909
100	-0,0998	-0,2015	0,0175	-0,1746	-0,1439	0,1211	0,0909	0,0909
101	-0,0926	-0,2015	0,0175	-0,1746	-0,1439	0,1211	0,0909	0,0909
102	-0,0926	-0,2015	0,0175	-0,1746	-0,1439	0,1211	-0,1225	-0,1225
103	-0,0711	-0,1925	0,0175	-0,1339	-0,1278	-0,2879	0,1293	0,1293
104	-0,0711	-0,1925	0,0175	-0,1339	-0,1278	-0,2879	-0,1225	-0,1225
105	-0,2004	-0,2015	0,0175	-0,1848	-0,1504	-0,2879	0,2999	0,2999
106	-0,2292	-0,2015	0,0175	-0,2051	-0,1343	-0,2879	0,2999	0,2999
107	-0,2292	-0,2284	0,0175	-0,2712	-0,2213	0,1211	0,1293	0,1293
108	-0,0711	-0,0491	0,0175	-0,2	-0,0892	-0,4924	-0,1225	-0,1225
109	-0,2292	-0,1746	0,0175	-0,3374	-0,2341	0,1211	-0,1225	-0,1225
110	-0,2292	-0,1746	0,0175	-0,3476	-0,2535	0,1211	-0,1225	-0,1225
111	-0,2292	-0,1656	0,0175	-0,3476	-0,2535	0,1211	-0,1225	-0,1225
112	0,3818	0,2107	0,0175	0,7309	0,2877	0,1211	-0,1225	-0,1225
113	-0,0854	-0,1656	0,0175	0,1663	-0,1343	-0,0834	-0,1225	-0,1225
114	-0,1429	-0,1836	0,0175	0,0289	-0,1375	-0,0834	-0,1225	-0,1225
115	-0,2148	-0,1656	0,0175	-0,139	-0,2148	-0,2879	-0,1225	-0,1225
116	0,1446	-0,0043	0,0175	0,3199	0,1814	0,1211	-0,1225	-0,1225
117	-0,1286	-0,076	0,0175	0,0289	-0,2213	-0,0834	-0,1225	-0,1225
118	-0,1214	-0,1836	0,0175	-0,1288	-0,1343	0,1211	-0,1225	-0,1225
119	-0,1214	-0,1836	0,0175	-0,1186	-0,1311	0,1211	-0,1225	-0,1225
120	0,2165	0,139	0,0175	0,1103	0,2362	0,1211	0,1293	0,1293
121	0,1805	0,1211	0,0175	0,0849	0,2233	0,1211	-0,1225	-0,1225
122	-0,0998	-0,2015	0,0175	-0,1848	-0,1794	-0,0834	-0,0414	-0,0414
123	-0,1357	-0,2194	0,0175	-0,1848	-0,1923	-0,2879	-0,1225	-0,1225
124	-0,1357	-0,2194	0,0175	-0,1848	-0,1923	-0,2879	-0,1225	-0,1225
125	-0,0998	-0,2015	0,0175	-0,1848	-0,1794	-0,0834	-0,1225	-0,1225
126	-0,0279	-0,0581	0,0175	-0,022	-0,0215	0,1211	0,0909	0,0909
127	-0,0351	-0,0581	0,0175	-0,0576	-0,028	0,1211	0,1676	0,1676
128	-0,1286	-0,1298	0,0175	-0,0576	-0,1246	0,1211	-0,1225	-0,1225
129	-0,1429	-0,1388	0,0175	-0,0627	-0,1439	0,1211	0,5274	0,5274
130	0,5112	0,3093	0,0175	0,5315	0,5905	0,1211	0,1676	0,1676
131	0,1158	0,0673	0,0175	-0,0271	0,0429	0,1211	-0,0414	-0,0414
132	-0,0279	0,0225	0,0175	-0,1085	-0,0054	-0,2879	-0,0414	-0,0414
133	-0,2076	-0,2105	0,0175	-0,2712	-0,1955	0,1211	-0,1225	-0,1225

Yapay sinir ağları ile ilgili hesaplamalar, Matlab programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu programda, istendiği anda depolanmış bilgilerden gerekli verilere ait grafik ya da şekillerin elde edilebilmesi mümkündür. Oluşturulan YSA'nın şematik gösterimi ve bağlantı aralıkları, ağ mimarisinin belirlenmesi (açık ve gizli katmanların sayısı, bağlantı şekli, ileri geri besleme tasarım vb.) uygulamalarının yapılışı Şekil 6.20'de gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi, danışmanlı öğrenmenin danışma kısmına karşılık gelen hesapların yüzde kaçlık bir değerdeki hata sınırında durdurulacağına, ya da diğer bir ifade ile kabul edilebilecek

hata sınırı değerinin belirlenmesine yönelik hata sınırı (RMSE) değerinin atanması işlemi ile iterasyonların sayısal artışı görülmektedir.



Şekil 6.20 Oluşturulan YSA'nın program ara yüzünde şematik görünümü

Deneme çalışmalarına sigmoid fonksiyonları kullanılarak başlanmıştır. İlk girişimlerde hata düzeyi yüksek sonuçlar elde edilmesine rağmen, farklı topoloji ve özelliklere sahip ağlar kullanılarak kabul edilebilir düzeyde hata oranlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Nitekim, ara katman sayısı artırılarak, ayrıca ara katmanlardaki nöron sayılarının da değiştirilmesi ile yapılan denemelerde, hedeflenen sonuçlara ulaşılmasını sağlayacak hata değerleri elde edilmiştir.

Yapılan çok sayıda deneme sonucu, esas alınacak YSA konfigürasyonunun belirlenmesi amacıyla, farklı özelliklere sahip 10 adet ağ şekli değerlendirilmiştir. Yapılan analizlerde bu ağların karakteristikleri ve beklenen değerlere göre sağladıkları % hata oranları Tablo 6.10'da verilmiştir. En iyi sonuç, 10 nolu

denemede görülen iki ara katmana sahip, birinci ara katmanında 6 adet, ikinci ara katmanında 3 adet nöronu bulunan ağ ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.10 YSA Analizleri ve karşılaştırmaları tablosu

Dene me Sayısı	YSA Modeli	Aktivasyon Fonksiyonu	Eğitim Fonksiyonu	Öğrenme Fonksiyonu	İterasyon	Gizli Katman Sayısı	Node sayısı	Max Hata (%)	SRSS Hata (%)
1	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	29	1	5	40,60	20,51
2	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	17	2	5-3	44,15	19,62
3	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	103	3	6-4-2	56,42	19,62
4	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	7	1	6	31,89	18,85
5	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	29	3	5-4-3	33,27	17,51
6	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	40	2	6-6	33,22	16,66
7	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	7	2	6-5	38,45	15,60
8	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	10	2	6-4	44,96	14,66
9	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	27	1	3	30,97	13,78
10	İleri Beslemeli, Çok katmanlı GYA	Sigmoid (logsig)	Levenberg Marquardt (trainlm)	Momentum Ağırlıklı (learngdm)	47	2	6-3	19,52	12,48

Bir yapay sinir ağının performansı daha önce hiç görmediği örneklerle ürettiği sonuçların doğruluğuyla belirlenir. Bunun için ağı eğitmek üzere toplanan örneklerin bir kısmı test için ayrılır. Bazı durumlarda ağ eğitim sırasında verilen tüm örneklerle

doğru cevap üretse dahi test setindeki örneklere doğru cevaplar üretmeyebilir (Sönmez 2009).

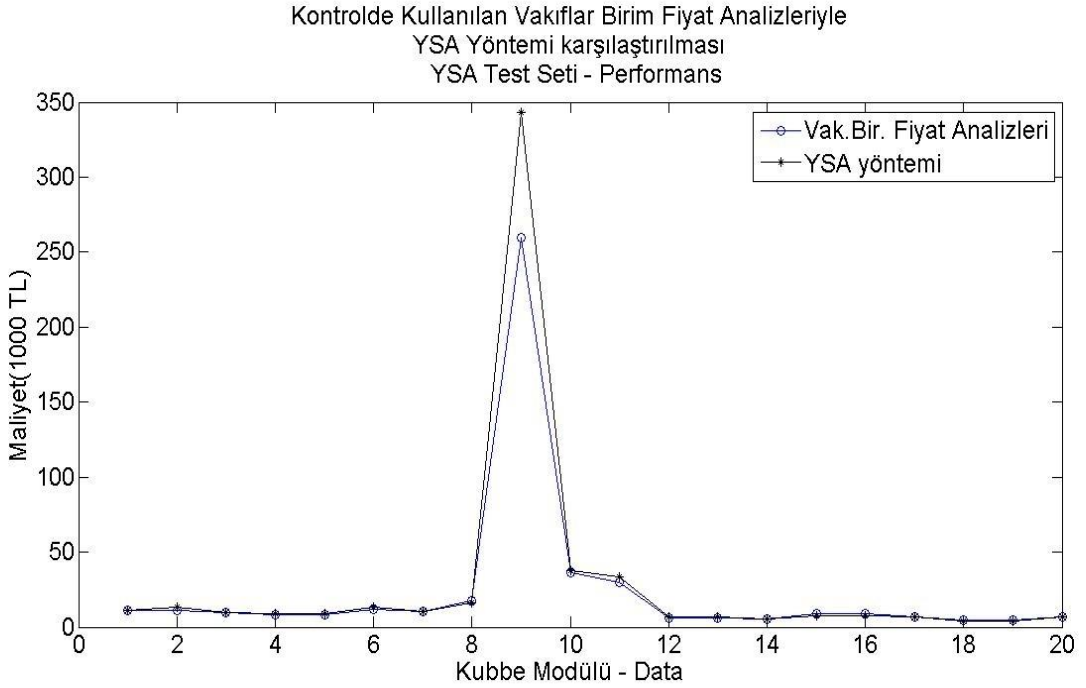
Hesaplanan hataların sistemin bütününi temsil etmesi açısından tek rakamla ifade edilmesi amacıyla, süperpoze (SRSS) yöntemi kullanılmıştır. Yukarıdaki verilere göre oluşan SRSS hata oranı en düşük ağ konfigürasyonu 10 nolu ağ olup, SRSS hata değeri % 12,48 olarak hesaplanmıştır. Tablo 6.11’de SRSS işlemleri ve hata hesabı görölmektedir. Bu tabloda, daha önce belirtildiği gibi, 130 adet örnek veri ile eğitilen ağın, test edilmek amacıyla 20 adet örnek veriye verdiği cevaplar ve buna göre ağın sağladığı performans görölmektedir.

Tablo 6.11 SRSS ile Hata hesabı- Ağ performansı

Proje No	YSA Yöntemi	Vak.Bir.Fiyat Analizi	Hata	Hata ²
134	11.02	11.00	-0.0018	0.0000
135	13.14	11.40	-0.1526	0.0233
136	9.36	9.90	0.0543	0.0029
137	9.29	8.60	-0.0806	0.0065
138	9.19	8.50	-0.0811	0.0066
139	13.04	11.60	-0.1238	0.0153
140	10.50	10.60	0.0093	0.0001
141	15.89	17.80	0.1074	0.0115
142	343.42	259.80	-0.3219	0.1036
143	38.01	36.60	-0.0385	0.0015
144	33.74	30.00	-0.1248	0.0156
145	6.65	6.10	-0.0903	0.0082
146	6.65	6.10	-0.0903	0.0082
147	5.57	5.30	-0.0510	0.0026
148	7.68	8.90	0.1371	0.0188
149	7.68	8.80	0.1273	0.0162
150	7.08	6.70	-0.0561	0.0032
151	4.05	5.00	0.1896	0.0360
152	4.05	4.90	0.1731	0.0300
153	7.08	6.80	-0.0406	0.0016
			Toplam	0.3116
			SRSS (%)	12.4811

Test sonuçları şekil 6.21’de grafik olarak sunulmuştur. Tabloda da görüleceği gibi, gerçekteşen değerler ile, geliştirilen yöntem kullanılarak hesaplanan değerlerin çoğu birbirine yakın çıkmıştır. Bu test sonuçlarına göre, 20 adet yapıdan, 11 adet yapının hata oranı % 10’nun altındadır. En büyük hata, 9 nolu test setinde % 32,19 olarak gerçekteşmiştir. Gerçekteşen bu hata oranları veri setinde cami, hamam ve

türbe gibi birbirinden farklı kompleks yapıların bir arada kullanılmasından kaynaklanmıştır. Bu yapıların, birbirinden farklı bazı yapımsal özelliklere sahip olduğu göz önüne alındığında, elde edilen hata oranlarının kabul edilebilir düzeyde kaldığını kabul etmek gerekmektedir. Test sonucu hesaplanan % 12,48 düzeyindeki ortalama SRSS hata oranı, ağın performansının oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, geliştirilen yöntem başarılı bulunmuştur.



Şekil 6.21 Vakıflar birim fiyat analizlerine göre gerçekleşmiş veriler ile YSA modelinin elde ettiği değerlerin karşılaştırılması

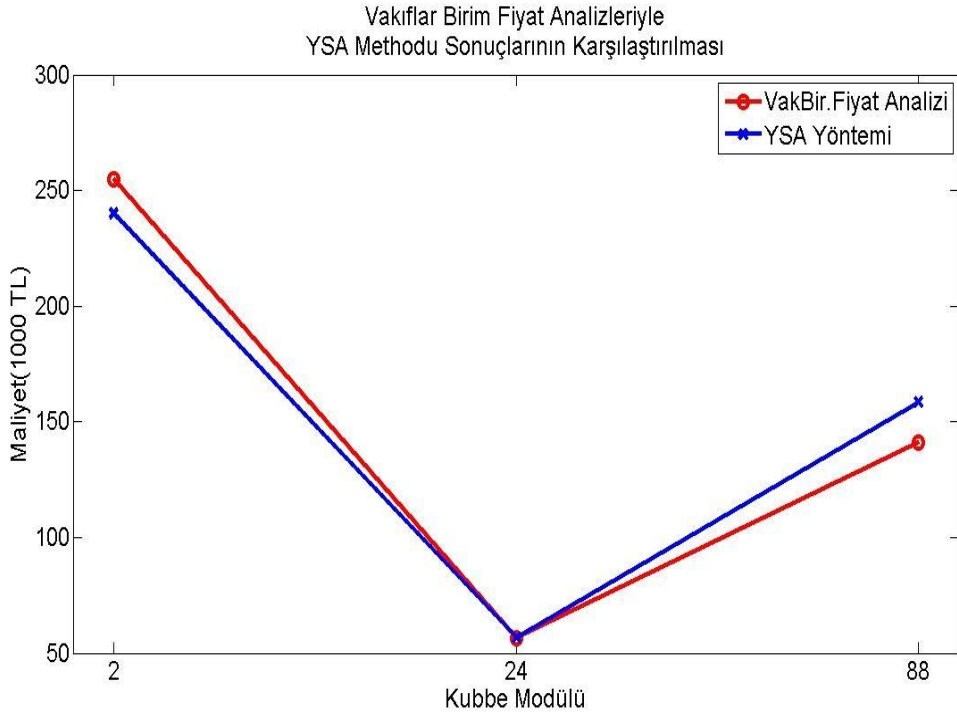
Geliştirilen yöntemin test edilmesi amacıyla, mevcut verilerin içerisinde cami, hamam ve türbeden oluşan 3 farklı tür proje örneği rastgele seçilerek, bu yapıların YSA’da maliyet tahmin analizleri yapılmıştır. Bu şekilde, geliştirilen yöntemin üreteceği sonuçlar, Vakıflar Genel Müdürlüğü 2011 yılı birim fiyatları esas alınarak hazırlanan gerçekleşmiş onarım maliyetleriyle karşılaştırılmıştır. Bu nedenle, yukarıda belirtilen yapı türlerinden, her bir yapı türünü temsil etmesi amacıyla 2, 24, 88 proje nolu üç adet yapı örneği rastgele olarak seçilmiştir. Bu yapıların, veri seti tablosunda belirtilen parametre değerleri sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak, yukarıda belirtilen iki gizli katmanlı 6-3 nörona sahip, ileri beslemeli, geri yayımlı özellikte oluşturulan YSA’na girilerek maliyet tahmini

hesabı yaptırılmıştır. Yapılan bu hesaplamada, elde edilen sonuçlar, Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.12 Vak.Bir. Fiy. İle YSA yönteminin karşılaştırılması

Proje No	YSA Yöntemi	Vak.Bir.Fiyat Analizi	Hata (%)
2	240.06	255.00	5.8591
24	56.74	56.50	-0.4322
88	158.58	141.10	-12.3867

Yöntemi test etmek amacıyla yapılan YSA analizlerinde, 3 örnek yapıya ait elde edilen test sonuçları grafik şeklinde Şekil 6.22’de verilmiştir. Tabloda da görüleceği gibi, 2 proje nolu yapının hata oranı; % 5,8, 24 proje nolu yapının hata oranı; % 0,4, 88 proje nolu yapının hata oranı ise; % 12,3 çıkmıştır. 3 örnek proje için elde edilen hata değerleri, beklentiler düzeyinde gerçekleşmiş olup, kabul edilebilir sınırların içerisinde kalmıştır. Elde edilen bu olumlu sonuçlar, geliştirilen yöntemin hedeflenen değerlere ulaştığını göstermektedir



Şekil 6.22 Örnek projelerin Vak.Bir.Fiyat analiziyle hesaplanan maliyet değerlerinin YSA yöntemi ile karşılaştırılması

6.2.3. Kullanılan Yazılım

MATLAB; (MATrix LABoratory); ilk defa 1985'de C.B Moler tarafından matematik ve özellikle de matris esaslı matematik ortamında kullanılmak üzere geliştirilmiş etkileşimli bir paket programlama dilidir. İlk sürümleri FORTRAN diliyle hazırlanmış olmakla beraber son sürümleri (1999 yılı itibariyle 5.3 dür) C dilinde hazırlanmıştır. MATLAB mühendislik alanında (hesaplamalarında); sayısal hesaplama, veri çözümleri ve grafik işlemlerinde kullanılacak genel amaçlı bir program olmakla beraber özel amaçlı modüler paketlere de sahiptir. CONTROL TOOLBOX, SIGNAL TOOLBOX gibi paket programlar CACSD (Bilgisayar destekli denetim sistemi tasarımı) paketler olup bunlar denetim sistemlerinin tasarımında çok etkili araçlardır. Ayrıca WINDOWS ortamında çalışan SIMULINK, etkileşimli benzetim programlarının hazırlanması ve çalıştırılmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

MATLAB tüm mühendislik alanında, sayısal hesaplamalar, veri çözümlenmesi ve grafik işlemlerinde kolaylıkla kullanılabilen bir programlama dilidir. FORTRAN ve C dili gibi yüksek seviyeden programlama dilleri ile yapılabilen hesaplamaların pekçoğunu MATLAB ile yapmak mümkündür. Buna karşılık MATLAB'ın fonksiyon kütüphanesi sayesinde FORTRAN ve diğer programlama dillerine göre MATLAB'ta daha az sayıda komutla çözümler üretmek mümkündür. Gerçekte MATLAB, M-dosyaları (M-files) olarak bilinen pek çok sayıda fonksiyon dosyalarından (altprogramlardan) ibarettir. M-dosyaları ASCII formatında olup okunabilirliği olan, MATLAB programlama dili kodlarından oluşmuştur. Bu yüzden, M-dosyaları kütüphanesi kullanıcı tarafından müdahale edilebilir. Ancak bu kodlara zorunlu olunmadıkça müdahale edilmemesi, değiştirilmemesi gerekir (<http://endmuhendisi.com/egitim/muhendislerin-vazgecilmezi-matlab-nedir-nasil-kullanilir>).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada, Osmanlı dönemi kubbeli mimarlık eserlerinin restorasyon inşaat maliyetlerinin tahmini amacıyla, yapay zeka yöntemleri kullanılarak geliştirilen bir tahmin modeli önerilmiştir.

Ülkemizde, restorasyon inşaat maliyetlerinin önceden tahmin edilmesine yönelik yapılan bir çalışma ve geliştirilmiş bilimsel bir yöntem bulunmamaktadır. Hızlı maliyet tahmini amacıyla kullanılacak tek veri, “Şehircilik ve Çevre Bakanlığı” tarafından 2011 yılı için 1710 TL/m² birim fiyat olarak belirlenen restorasyon inşaat maliyeti değeridir. Ancak, bu maliyet değerinin hangi tür ve hangi ölçüde hasar derecesine sahip anıtsal yapıların restorasyon çalışması için kullanılacağı bilinmemektedir. Bu değer kullanıldığında, anıtsal yapının yapım sisteminin ahşap karkas ya da yığma sistem olması, üst örtüsünün kubbe, tonoz veya düz çatı olması, hasar ve müdahale derecelerinin yüksek ya da düşük olması gibi, maliyeti önemli derecede etkileyen parametrelerin etkisi bulunmamaktadır. Bu ise, yapılan tahminlerde yüksek hata oranlarıyla karşılaşılmasına neden olmaktadır. Bu yüzden, restorasyon yapan kurumların restorasyon öncesi hızlı maliyet tahmini yaparak, buna göre bütçe organizasyonları gerçekleştirmeleri neredeyse mümkün olmamaktadır. Diğer yandan, restorasyon yapan kurumların ihale öncesi hazırladıkları restorasyon yaklaşık maliyet hesaplarında, restorasyon uygulamaları esnasında ortaya çıkabilecek birçok imalatın onarım metrajlarını maliyet hesabına katmadıkları ve onarım için gerekli olan diğer metrajları hatalı ve eksik çıkardıkları görülmüştür. Bu nedenle, bir çok restorasyon uygulamasının, ihale öncesi belirlenen yaklaşık maliyet değerlerine göre, ortalama % 50 düzeyinde bir artışla tamamlanması mümkün olmuştur. Mevcut ihale mevzuatımız da bu orandaki artışla restorasyon çalışmalarının tamamlanmasına izin vermektedir. Bu ise, ülkemizde yapılan

restorasyon çalışmalarının maliyet hesaplamalarında, %50' lere varan hatalar yapıldığını göstermektedir.

Almanya'da, eski eser onarım çalışmalarının maliyet tahminlerinde, % 30 seviyelerine kadar yapılan hatalar kabul edilebilir bulunmuştur. Bu seviyenin kabul edilebilir hata düzeyi olduğunu kabul eden mahkeme kararları bulunmaktadır. Bu konuda, Neddermann (1994) tarafından, "Kostenermittlung von Altbauerneuerungsmassnahmen" (Eski yapı yenilemenin maliyet hesap güvenliği) konulu, Stuttgart Üniversite'sinde yapılan "doktora tezi" çalışmasında, eski eser onarımlarında maliyet tahmini hata düzeyinin, geliştirilen yöntem sayesinde % 18'e kadar düşürülebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, gerçekleştirilen bu hata düzeyinin oluşturulan güvenli maliyet bölgesi sınırları içerisinde kaldığı da belirtilmiştir.

Bu çalışmada, Vakıflara ait 2011 yılı birim fiyatlarıyla hesaplanan gerçekleşmiş onarım maliyet değerleri, yapay sinir ağlarına hesaplatılan maliyet tahmin değerleri ile karşılaştırılarak oluşturulan modelin performansı araştırılmıştır. Çalışmanın başında ulaşılabilir ortalama hata oranı olarak % 18 değeri hedeflenmiştir. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, model sayesinde elde edilen ortalama hata oranı ise, % 12,48 düzeyinde çıkmıştır. Bu hata oranı, bu güne kadar bu yönde yapılan çalışmalar içerisinde gerçekleşen en düşük hata oranıdır. Bu durum, geliştirilen yöntemin performansının yüksek olduğunu göstermektedir. Yöntemin hedeflenen ölçütler doğrultusunda başarılı olduğunu söylemek mümkündür.

Geliştirilen yöntemin sağladığı başarının temel nedeni, yöntemde gerçekleştirilmiş ya da yapımı devam eden restorasyon çalışmalarının, gerçek onarım metrajlarından yararlanılarak elde edilmiş onarım maliyet değerlerinin kullanılmış olmasıdır. Önemli diğer bir nedeni ise, onarım maliyet tahminleri için gerekli olan hasar düzeyi değerinin elde edilmesinde, gerçeğe yakın değerler veren bulanık mantık yönteminin kullanılmış olmasıdır. Çalışmada, problemin en zor noktasını hasar düzeyi değerindeki belirsizlikler oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, analiz yöntemleri kullanılarak yapılacak onarım maliyet tahmini çalışmalarının başarılı olmasında geçerli olabilecek en önemli parametre, hasar düzeyi derecesinin gerçeğe uygun değerlerde belirlenmesidir. Hasar düzeyi derecesi

ve buna uygun olarak seçilecek müdahale derecesi doğru belirlenmeden, kabul edilebilir düzeyde sonuç üretecek bir onarım maliyet tahmini değerine ulaşmak mümkün değildir.

Test sonuçlarında, 20 adet veriden 11 adet verinin hata oranı; % 10'nun altında kalmıştır. 5 adet verinin hata oranı; % 10 ile, % 15 arasındadır. 3 adet verinin hata oranı ise; % 15 ile, % 20 arasındadır. Testte 1 adet verinin hata oranı, % 32,19 değeri ile maksimum düzeyde çıkmıştır. Diğer yandan, geliştirilen yöntemin performansını test etmek amacıyla, örnek verilerden cami, hamam ve türbeden oluşan 3 farklı yapı türü rastgele seçilmiştir. Bu yapıların, veri setinde belirtilen yapımsal özellikleri kullanılarak, oluşturulan geri yayımlı YSA'na restorasyon maliyet tahmini analizleri yaptırılmıştır. YSA analizleri ile elde edilen sonuçlar, Vakıflar Genel Müdürlüğü 2011 yılı birim fiyat rayiçleri esas alınarak hazırlanan yaklaşık maliyet değerleri ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda, 2 proje nolu örnek yapının hata düzeyi; % 5,8, 24 proje nolu yapının hata düzeyi; % 0,4, 88 nolu yapının hata düzeyi ise; % 12,3 çıkmıştır. Bu sonuçlar, yöntemin performansı hakkında fikir vermesi açısından önemli bulunmuştur. Tez çalışmasında, veri olarak kullanılan anıtsal yapıların kullanım ve yapımsal özelliklerinin, onarımlarında kullanılan malzemelerin ve bunların birim fiyatlarının birbirinden farklı olması nedeniyle, yapılacak maliyet tahminlerin de hata değerlerinin yüksek çıkması muhtemeldir. Ancak bu çalışmada, geliştirilen modelin ürettiği tahmin değerleri ile, diğer yöntemle elde edilen yaklaşık maliyet değerleri karşılaştırıldığında, gerçekleşen hata oranlarının verilerin karmaşık ve kompleks bir yapı içermesine rağmen ulaşılabilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Modelin performansının test edilmesi amacıyla, yukarıda proje numaraları belirtilen 3 adet örnek yapının, Vakıflar birim fiyatları ve YSA yöntemiyle elde edilen maliyet tahmini değerlerinin karşılaştırılması ile ortaya çıkan hata değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması, çalışmanın hedeflenen sonuçlara ulaştığını göstermektedir.

Bu çalışma sonucunda, restorasyon inşaat maliyetlerini en çok etkileyen değerlerin hasar düzeyi derecesi ve buna paralel olarak kullanılan restorasyon müdahale derecesi olduğu görülmüştür. Bir anıtsal yapıda, hasar düzey derecesi ne kadar yüksek ise, uygulanacak restorasyon müdahale derecesi de o düzeyde yüksek

olacağından, onarımın maliyeti de yüksek çıkacaktır. Ancak, hasar derecesi yüksek olsa bile, seçilen restorasyon müdahale derecesinin düşük olduğu durumlarda, onarım maliyeti de düşük çıkmaktadır. Şöyleki, yapının “pek çok yıkık” olması durumunda (Hasar düzeyi yüksek), uygulanacak restorasyon müdahale derecesi “tamamlama” ya da “yeniden yapım” yöntemini (Restorasyon müdahale derecesi yüksek) gerektiriyor ise, restorasyon yapım maliyeti oldukça yüksek çıkmaktadır. Hasar derecesi yüksek iken, konservasyon yöntemiyle anıtın kalıntılarının yerinde koruması gibi düşük müdahale derecesi ile uygulama yapıldığında ise, onarımın yapım maliyeti de düşük çıkmaktadır.

Bu çalışmada, farklı kullanım ve mekansal özelliklere sahip, ancak, taşıyıcı sistemi ve temel yapımsal özellikleri benzer olan yapıların maliyet tahminleri bir arada yapılmaya çalışılmıştır. Ancak yukarıda da anlatıldığı gibi, bu yapılarda var olan bazı yapımsal farklılıkların, aynı ölçülerdeki iki ayrı yapının onarım maliyetlerinin farklı çıkmasına ve dolayısıyla karşılaştırmalar sonucu oluşan hata değerlerinin de kabul edilebilir düzeyde olsa bile birbirinden farklı çıkmasına neden olduğu görülmüştür. İncelenen bazı uygulamalarda kubbenin iç yüzünde, beden duvarında ya da kemer üzerinde bulunan mukarnas, bezeme, kalemişi gibi süslemelerin, onarım birim fiyatlarının oldukça yüksek olmasından dolayı onarım maliyetlerinin, üzerinde bulunduğu yapım biriminin yeniden yapım maliyetine yakın maliyet değerleri verdiği görülmüştür. Çalışma kapsamındaki bir yapıda fazlasıyla bulunan bu tür özellikler, diğer bir yapıda bulunmamaktadır. Bu iki yapı birbirine yakın ölçülere sahip olsa bile, onarım maliyetleri birbirinden çok farklı çıkmaktadır. Tez çalışmasında veri olarak kullanılan mevcut yapılar incelendiğinde, bu durum daha açık bir biçimde görülmektedir. Camilerin duvarlarında genellikle horasan sıva üzeri kireç badana, döşemelerinde ahşap döşeme malzemeleri kullanıldığı görülmüştür. Hamam yapılarının duvarlarında, onarım maliyeti daha yüksek olan mukarnas türü geçiş elemanları ile, stucco olarak isimlendirilen alçı ya da malakari bezemeler bulunmaktadır. Hamamların döşemesinde, diğerlerine göre oldukça pahalı olan mermer döşemeler kullanılmaktadır. Türbelerde ise, kubbe ve duvarlarda restorasyonu maliyeti çok pahalı olan kalemişi süslemeler bulunmakta, bunların zemin döşemelerinde ise, yine onarım maliyet yüksek taban tuğlası kullanılmaktadır.

Bu yüzden, birbirinden farklı yapımsal özelliklere sahip bu yapıların, ortak girdi parametreleri kullanılarak YSA ile yapılan maliyet tahmin analizleri sonucunda, daha düşük hata değerlerine ulaşılabileceğini düşünmek doğru ve gerçekçi değildir.

Sonuç olarak bu çalışma ile, ülkemizde bu güne kadar yapılamayan bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, mevcut durum ve hedef durum olmak üzere iki yönlü problem çözülmüştür. Mevcut durum, restorasyon inşaat maliyet tahmini yapılacak yapının hasar düzeyini, hedef durum ise, gerçekleştirilecek restorasyon çalışmasının onarım düzeyini kapsamaktadır. Geliştirilen modelde, her iki problemin çözümü için, yapay zeka sistemlerine ait iki ayrı yöntem birlikte kullanılmıştır. Böylelikle geliştirilen modelin, karmaşık ve birbirinden farklı özelliklere sahip anıtsal yapıların, restorasyon inşaat maliyetleri tahmini hesaplamalarında, bulanık mantık ve yapay sinir ağları sistemlerinin iki aşamalı olarak bir arada kullanılmasıyla hızlı, verimli ve uygun sonuçlar üreten bir yöntem olarak kullanılabilmesi ortaya konmuştur. Ancak, bu yaklaşımın kullanılabilmesi için, geçmiş proje bilgilerine ihtiyaç duyulduğundan bilgilerin doğru ve sağlıklı olarak arşivlenmesi sorunu en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

Geliştirilen bu yöntem, basit ve elde edilebilir bilgilerle çalışmaktadır. Aynı zamanda, sisteme sunulan girdilerin kolay ve ulaşılabilir nitelikte olması, yöntemin restorasyon yapan kurumlar tarafından da kullanılabilmesini olanaklı hale getirmiştir. Bu yöntemin kullanılması ile, kısa sürede bütçelendirilmesi gerekli restorasyon projelerinin gerçeğe yakın maliyet tahmin sonuçlarının, daha az zaman ve enerji harcanarak elde edilebilmesi mümkün olacaktır.

7.2. YAPILMASI ÖNERİLEN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, bu konuda benzer çalışmaların etkin bir biçimde devam ettirilerek sürdürülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu yüzden, bundan sonra yapılması önerilen çalışmalar ise, aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Bu yönde yapılacak benzer maliyet tahmini çalışmalarında, farklı ağ mimarileri kullanılarak ve oluşturulan topolojiye farklı giriş parametreleri

eklenerek daha hassas, gerçekçi ve hata düzeyi daha düşük sonuçların ortaya çıkması sağlanmış olacaktır. Ancak, en uygun ve kullanışlı olanının belirlenmesi, hesap yapanların bilgi birikimi ve tecrübeleriyle mümkün olmaktadır.

- Bu çalışmada veri olarak kullanılan, temelde benzer özellikleri bulunsa bile, kullanım ve bir takım yapımsal özellikleri farklılık gösteren yapıların her bir türü için, kendi özgün özelliklerine uygun girdi parametreleri oluşturularak yapılacak restorasyon inşaat maliyeti tahminlerinin, daha verimli olması ve hata oranlarının da daha düşük değerlerde çıkması mümkün olacaktır.
- Anıtsal yapılar sadece kubbeli yapılardan ibaret bulunmamaktadır. Taşıyıcı sistemleri, kullanılan malzemeleri ve diğer yapımsal öğeleri farklı olan, ahşap karkas, malzemesi taş, tuğla ya da kerpiç olan yığma yapıların onarım inşaat maliyetlerinin tahmin edilmesi amacıyla benzer yöntemlerin kullanılması, bu yönde yapılan çalışmalara önemli katkılar sağlayacaktır.
- Geliştirilen yöntem benzer şekilde, deprem hasarı görmüş betonarme yapıların onarım ya da güçlendirme çalışmalarına ait maliyet tahmin hesaplarının da, yapay zeka yöntemleriyle yapılması mümkündür. Hasarlı yapıların hasar derecesinin belirlenmesinde bulanık mantık yöntemi, güçlendirme maliyet tahminlerinde ise, YSA yönteminin kullanılması bu tür kompleks problemlerin çözümünü kolaylaştıracaktır.
- Yapay zeka yöntemleri ile maliyet tahmini çalışmalarında, problemde hangi sistem hangi bölümlerde uzman ise o şekilde çözüm geliştirilmelidir. Sunulan yöntemde de görüleceği gibi, problemin hasar düzeyi ve buna göre gerçekleştirilecek onarımın maliyet tahmini olmak üzere iki önemli yönü bulunmaktadır. Bu yüzden geliştirilen yöntemde, yapay zekanın iki ayrı sistemi kendi uzman oldukları konularda ayrı ayrı kullanılmış ve sonucunda karmaşık gibi görünen iki yönlü problemin çözümü gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde, yapay zekaya ait birden çok sistemin bir arada kullanılmasıyla daha kompleks ve zor gibi görünen problemlerin çözümleri mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA:

Ahunbay, Z., (1999), “Tarihi çevre koruma ve restorasyon” YEM Yayınevi, İstanbul.

Akbıyıklı, R., (2008), “İnşaat yönetimi metraj ve maliyet hesapları” Birsen Yayınevi, İstanbul.

Akın, N., (2010), “ Dünya miras listesindeki kentlerden koruma örnekleri”, Kargir Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri II, İBB-Kudép yayını, pp: 62-69, Şan Matbaası, İstanbul.

Akınbingöl, M. ve Gültekin, A.T., (2005), “Bina üretimi evresinde maliyet planlama ve denetimine yönelik bir maliyet yönetim modeli önerisi” Gazi Üniversitesi, Müh.Mim.Fak.Dergisi, cilt: 20, no: 4, pp: 449-505.

“Altbaurenewerung, Kosten” (1988), Stuttgart: IRB-verlag.

“Altbaurenewerung, Wirtschaftlichkeit” 1988, Stuttgart: IRB-verlag.

Altuntaş, E., Çelik, T., (1998), “Yapay zekanın tarihçesi”, Otak Yayıncılık, İstanbul

Aslanapa, O., (2004), “ Osmanlı Devri Mimarisi” İnkılap Kitabevi, İstanbul.

Aydın, B. ve Günalan, R., (2008), “Osmanlı maliyesi ve defter sistemi” Yeditepe Yayınevi, İstanbul.

Ayverdi, E.H., (1989), ”İstanbul mimari çağının menşei, Osmanlı mimarisinin ilk devri” Cilt I, TAÇ Vakfı, İstanbul.

Ayverdi, E.H., (1989), ” Osmanlı mimarisinde Çelebi ve II. Sultan Murat devri” Cilt II, TAÇ Vakfı, İstanbul.

Ayverdi, E.H., (1989), ” Osmanlı mimarisinde Fatih devri” Cilt III ve IV, TAÇ Vakfı, İstanbul.

Baltacıoğlu, A.K., Civalek, Ö., Akgöz, B. ve Korkmaz A., (2010), “Deprem hasarlarının hızlı tespitinde yapay sinir ağları yaklaşımı” Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi Cilt:1, Sayı: 1, pp: 22-27.

Bandemir, H. ve Gottwald, S., (1993), “Einführung in fuzzy methoden” Akademi Verlag, Berlin.

Barkan Ö.L., (Cilt 1, 1972), (Cilt 2, 1979), “ Süleymaniye Cami ve imareti inşası” Türk Tarih Kurumu, Ankara.

Baş, N., (2006), “Yapay sinir ağları yaklaşımı ve bir uygulama” Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Başgelen, N., (1993), “Çağlar boyunca Anadolu’da duvar” Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.

“Baukostengliderung” (1988), Ordnungssystem DIN 276/ BKB; Klassifikation von Bauausführungen, Stuttgart; Architektenkammer Baden-Württemberg.

Baykal, K., (1950), “Bursa ve anıtları” Aysan Matbaası, Bursa.

Baykan, U.N., (2007), “İnşaat projelerinde kaynak ihtiyacının yapay sinir ağları yaklaşımı ile tahmini” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Bayrakal, S., (2001), “Edirne’deki tek kubbeli camiler” T.C Kültür Bakanlığı Yayınları.

Bechtel, H., (1973), “Wirtschafts geschichte” Köln, Wien.

Beycioğlu, A., Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Emiroğlu, M. ve Akkurt, İ., (2008), “Yapay sinir ağları ile betonların basınç dayanımının tahmini” Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (4), pp: 609-616, Elazığ.

Bilge, A., (1973), “ Mimar Sinan hakkında araştırmalar II” İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Sanat Tarihi Enstitüsü, Sanat Tarihi Yıllığı V, İstanbul.

Binan, D.U., (1999), “Osmanlı’da beylikten imparatorluğa geçişte yapı üretim süreci ve ilişkileri üzerine bir deneme”, Osmanlı Mimarlığının 7 Yüzyılı Uluslararası Bir Miras, pp: 387-395, YEM Yayınevi, İstanbul.

Bohn, R., (1982), “Altgriechischer Bauvertrag, in Centralblatt der Bauverwaltung” jg. II, Berlin.

Bostancıoğlu, E., (2006), “Konut binalarının ön tasarımında bir maliyet tahmin modeli” DEÜ Mühendislik Fakültesi dergisi, Cilt:8, Sayı:3, pp: 27-49.

Bozkurt, İ., (2007), “İnşaat sektöründe Fizibilite Aşamasında Maliyet Tahmini Yapmakta Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Değerlendirme” Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Civalek, Ö. Ve Çatal, H.H., (2004), “Geriye yayılma yapay sinir ağı kullanarak elastik kirişlerin statik ve dinamik analizi” Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri dergisi, Cilt:6 (1), pp: 1-17, İzmir.

Çelik, S., (2009), “Süleymaniye külliyesi, malzeme teknik ve süreç” Atatürk Kültür Merkezi Yayınları, Ankara.

Çelik, O.C., (2007), “Hasar biçimleri ve gözlemler”, Tarihi Yapı Onarım ve Güçlendirme Rehberi, pp: 7-19, BASF, İstanbul.

Demirel, Y., (2007), “Toplu konut inşaat maliyetlerinin yapay sinir ağları ile tahmini” Süleyman Demirel Üniversitesi dergisi, Cilt:22, Sayı:4.

Dickenbrock, G., (1985), “Kostenermittlung in der Altbaumodernisierung” Springer verlag, Berlin.

Dikmen, S.Ü., Akbıyıklı, R., (2009), “A review of soft computing methods based cost estimation techniques”, Rics Cobra Research Conference, University of Cape Town, pp: 1776-1788, South Africa.

Dikmen, S.Ü., Ateş O., Akbıyıklı, R., Sönmez, M., (2009), “A review of utilization of soft computing methods in construction” Management Construction for Tomorrow, MC4T, İstanbul.

Doğan, Abdullah., (2002), “Yapay zeka” Kariyer Yayıncılık, İstanbul.

Duru, N., Kurtuluş, C. ve Canbay, M., (2008), “Gürültü etkilerinin bulanık mantık temelli bir yöntemle analizi” Uygulamalı yer bilimleri dergisi, Sayı:2, pp: 62-75.

Durmuş, A., (2005), “Yapay ve bulanık sinir ağları ile sistemlerin modellenmesi” Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Dünder, A., (2000), “Arşivlerdeki plan ve çizimler ışığı altında Osmanlı imar sistemi” (XVIII ve XIX Yüzyıl), T.C Kültür Bakanlığı Yayını.

Elmas, Ç., (2007), “Yapay zeka uygulamaları” Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Ersen, A., (2011), “Koruma mimarları için anıt bir anı” Restorasyon Konservasyon, pp: 3-11, İBB-KUDEP Yayını, Sayı: 9, FSF Matbaacılık, İstanbul.

Felix, R., (1993), “Fuzzy logik: Schrittmacher der zukunfft” Elektronik 2, pp: 92-97.

Fröhlich, P.J., (2002), “Baukosten-Flachen-Rauminhalte” Friedr.Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden,

Fuchsbichler, M., (1990), “Kostenschätzung Altbaumodernisierung” Springer verlag, Wien.

Goodwin, G., (1997), “History of Otoman architecture” Thames and Hudson, London.

Gootwald, S., (1993), “Fuzzy sets and fuzzy logic” seras: Artificical İntelligence. Vieweg Wiesbaden.

Göktürk, İ., (2007), “İnşaat sektöründe fizibilite aşamasında maliyet tahmini yapmakta karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri üzerine bir değerlendirme” İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Gurlitt, C., (1912), “Die baukunst Konstantinapoles” C.II, Berlin.

Gülbağ, A., (2006), “Yapay sinir ağı ve bulanık mantık tabanlı algoritmalar ile uçucu organik bileşiklerin miktarsal tayini” Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya.

Gültekin, A.T., (2007), “Proje yönetimi” (Yapım öncesi süreç), Palme Yayıncılık, Ankara.

Güner, M., İllez, A.A. ve Ünal, C., (2009), “İşletme fiziksel koşullarının bulanık mantık yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi, bir konfeksiyon işletmesi örneği” Tekstil Konfeksiyon Dergisi (3), pp, 206-211.

Güven, E.N., Onur, H. ve Sağıroğlu, Ş., (2008), “Yapay sinir ağları ile web içeriklerini sınıflandırma” Bilgi Dünyası, 9 (1), pp: 158-178, Ankara.

Hall, M., Tomkins, C., (2001), “A cost of quality analysis of a building projeckt towards a complete methodology for desing and building”, Construction management and ekonomics, pp: 331-727 Noverber.

Hızlı, M., (1991), “Bursa mahkeme sicillerine göre XIV-XVI. yüzyıllarda Bursa medreseleri” Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa.

Hızlı, M., (1993), “Osmanlı.vakıf eserlerinin inşa, tamir ve restorasyonları” Uludağ Üniversitesi İlahiyat Fak. Dergisi Sayı:5, Cilt: 5, pp: 219-232, Bursa.

Hiert, A., (1821), “Die geschichte der baukunst bei den alten” Berlin

Hopfield, J.J., (1982), “Neural Networks and pyhsical systems with emergent collektive computational abilities” In Procoeding of Nationel Academy of Sciences, USA, 79, pp: 2554-2558.

Hutzelmeyer, H. ve Greulich, M., (1983), “Baukostenplanung mit gebaeude-elementin” Köln.

Katipoğlu, C., (2007), “Osmanlı imparatorluğunda yapı pratiği içinde mimari çizimin yeri” Konya Ticaret Odası Dergisi, Aralık özel sayısı, Konya.

Keleşoğlu, Ö. ve Fırat, A., (2006), “Tuğla duvardaki ve tesisattaki ısı kaybının yapay sinir ağları ile belirlenmesi” Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bil.Dergisi, 18 (1), pp: 133-141.

Kişi. Ö., Karahan, M.E. ve Şen Z., (2003), “Nehirlerdeki askı maddesi miktarının bulanık mantık ile modellenmesi” İTÜ Dergisi/d mühendislik, C:2, S:3, pp: 43-54, İstanbul.

Kochendörfer, B., Liebchen H.J., Viering, G.M., (2007), “Bau projekt management” Teubner Verlag, Wiesbaden.

Kosko, B., (1992), “Neural Networks and fuzzy systems” Prentice Hall, Englewood cliffs, NJ.

“Kosten von Altbauerneuerungsmaßnahmen” (1988), Hrsg: Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), Aachen

“Kosten im hochbau” (1990), Hrsg: Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), Aachen

Kömür, M. ve Altan, M., (2005), “Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık yaklaşımı” İTÜ Dergisi, C:4, S:2, pp: 43-52, İstanbul.

Kömür, M. ve Demir, C., (1996), “Yapı mühendisliğinde bulanık mantık” GAP 1. Mühendislik kongresi, Harran Üniversitesi, pp: 704-710, Şanlıurfa.

Kuban, D., (1992), “Mimarlık kavramları” YEM Yayınları, İstanbul.

Kuban, D., (1998), “Kent ve mimarlık üzerine İstanbul yazıları” YEM Yayınları, İstanbul.

Kuban, D., (2000), “Tarihi çevre korumanın mimarlık boyutu” YEM Yayınları, İstanbul.

Kuban, D., (2007), “Osmanlı mimarisi” YEM Yayınları, İstanbul.

Kuran, A., (1964), “İlk devir Osmanlı mimarisinde cami” ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, (2004), “Project management body of knowledge” Project Management Institute.inc, Pennsylvania.

Macaulay, D., (2003), “MOSQUE” Walter Lorraine Books, Newyork.

Madran, E., (1999), “Osmanlı imparatorluğuda onarım esnafı” (16.-18. Yüzyıllar), Osmanlı Mimarlığının 7 Yüzyılı Uluslararası Bir Miras, pp: 327-335, Mimarlar Odası, YEM Yayınevi, İstanbul.

Mersin Bildirgesi, (2009), “Taşınmaz kültür varlıklarını tespit ve belgeleme yöntemleri sempozyumu”, Mersin Üniversitesi, Restorasyon ve Koruma Merkezi, Mersin.

Minsky, M., (1969), “Perceptrons” MIT Press, Cambridge, pp, 231-232

Möller, D.A., (2007), “Planunus- und bauökonomie” Band 1, Band 2, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.

Mungan, İ., (2007), “Strüktür çözümü”, Bir Şaheser Süleymaniye Külliyesi, pp: 75-84, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayını, Sanat Eserleri Dizisi 467, Ankara.

Murat, Y.Ş., (2006), “Sinyalize kavşaklardaki taşıt gecikmelerinin bulanık mantık ile modellenmesi” İMO Teknik Dergi, pp: 3903-3916, Yazı: 258, İstanbul.

Muşmal, H. ve Çetinaslan M., (2009), “Bir Keşif Defteri Işığı Altında Konya Kapı Camii'nin İnşa Süreci ve Mimari Özellikleri” Selçuk Üniversitesi Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, pp: 447-480, Konya.

Mühendislerin vazgeçilmezi, “Matlab Nedir, Nasıl Kullanılır” 09/Temmuz/2012, <<http://endmuhendisi.com/egitim/muhendislerin-vazgecilmezi-matlab-nedir-nasil-kullanilir>>.

Nauck, D., Klawon, F., Kruse, R., (1994), “Neronale netz- und fuzzy systeme” Vieweg, Germany.

Nedderman, R., (1994), Kostenermittlung von Altbauerneuerungsmassnahmen, an der Fakultü Architektur und Stadplanung der Universität Stuttgart, Institut für Bauökonomie, Doktorand Dissertation, Stuttgart.

Öztemel, Ercan., (2006), “Yapay sinir ağları” Papatya Yayıncılık, İstanbul.

Palalı, E., (1992), “Neyi korumak isteriz”, Peyzaj Mimarlığı Dergisi, Peyzaj Mimarları Odası, İstanbul Şube Yayını, İstanbul.

Pamuk, Ş., (2007), “Osmanlı İmparatorluğu'nda paranın tarihi” Tarih Vakfı Yurt Yayınları, İstanbul.

Pancarçı, A. ve Öcal, M.E., (2009), “Yapı işletmesi ve maloluş hesapları” Birsen Yayınevi, İstanbul.

Pastor, W., (1992), “Der bauprozess” 7. Auflage, Werner, Düsseldorf.

Petersen, A., (1996), “Dictionary of İslamic architecture” Roudledge, London and Newyork.

Pfarr, K., (1983), “Geschichte der bauwirtschaft” Karlheinz, Deutscher Consulting verlag, Essen.

Phaobunjong, K., (2002), “Parametric kost estimating model for conceptual estimating of building construction projeckts, Fakulty of Graduate School of Texas at Austin, USA.

Pieper, H., (1989), “Kosten neuer Wohnungsnutzung in alten Gebauden” Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB), Aachen.

Polat, D.A., (2005), “Türkiye’de tasarım öncesi evrede inşaat maliyet tahmini için bir yöntem önerisi” İMO- Bülten/ Sayı:77, İstanbul.

Polat, D.A., Çıracı, M., (2005), “Türkiye’de tasarım öncesinde maliyet tahmini için veri tabanı modeli” İTÜ Dergisi/a mimarlık, planlama, tasarım, Cilt:4, Sayı:2, pp: 59-69 İstanbul.

Rojas, R., (1996), “Neural Networks - A systematic introduction” Springer Verlag, Germany.

Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M., (2003), “Mühendislikte yapay zeka uygulamaları” Ufuk Yayıncılık, Kayseri.

Schmitz, H., (1989), “Altbaumodernisierung, Konstruktions- und Kostenvergleiche” R.Müller verlag, Köln.

Schmitz, H., Böhning, J., Krings, E., (1989), “Altbaumodernisierung im detail” R.Müller verlag, Köln.

Sommer, H., (2009), “Projekt management im hochbau” Springer Verlag, Stuttgart.

Sönmez, M., (2009), “Yapay sinir ağları metodu ile kalıp işlerinde bir verimlilik ve adam-saat tahmin modeli” Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Subaşı, S., Beycioğlu, A. ve Emiroğlu, M., (2008), “Hafif betonlarda donatı aderansı dayanımının bulanık mantık yöntemiyle modellenmesi” Akıllı sistemler ve uygulamaları sempozyumu, Isparta.

Subaşı, S., Beycioğlu, A. ve Emiroğlu, M., (2009), “Mineral katkı içeren betonların sertleşme sürelerinin belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımı” 5. Uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu, Karabük.

Şen, Z., (2001), “Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri” Bilge Yayıncılık, İstanbul.

Şen, Z., (2004), “Yapay sinir ağları ilkeleri” Su Vakfı Yayınları, 183.s.

Tayla, H., (2007), “Geleneksel Türk mimarisinde yapı sistem ve elemanları” Cilt: I ve II, Mas Matbaacılık AŞ. İstanbul.

Topçu, İ.B., (2006), “Puzolanların beton basınç dayanımına etkisinin yapay sinir ağlarıyla incelenmesi” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2), pp, 1-10.

Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., (1997), “Fuzzy and neural approaches in engineering” John Willey& Sons Inc. 587 p.

Uğur, L.O., (2007), “Yapı maliyetinin yapay sinir ağları ile analizi” Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Uluengin, M.B., (2005), “Rölöve”, YEM Yayınevi, İstanbul.

Uluengin, F., Uluengin, B. ve Uluengin M.B., (2001), “Osmanlı anıt mimarisinde klasik yapı detayları” YEM Yayınevi, İstanbul.

Uygunoğlu, T., Ünal, O., Yücel, K.Y., (2005), “Uçucu külün beton basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı” 4.Uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu, Konya.

Ünsal, B., (1963), “Topkapı Sarayı arşivinde bulunan mimari planlar üzerine”, Türk Sanatı Tarihi Araştırma ve İncelemeleri” pp: 168- 197, Berksoy matbaası, İstanbul.

Vakıflar Genel Müdürlüğü, (1982), “Rölöve ve Restorasyon” I. Restorasyon semineri, Özel sayı-4, Önder Matbaası, Ankara.

Waren, S.S., (1994), “Neurol network and statisticalmodels” Proseedings of the Nienteenty Annual SAS Users Group Int. Conf.

Weber H., (1977), “Neue verfahren zur erhaltung alter bauwerke” In; Baugewerbe, H:12, pp: 25-27.

Wilde, H., (1909), “Brussa eine entwicklungsstatte Türkischer architektur in kleinasien unter den ersten Osmanen” Eines Doktor-İngenieurs Genehmigte Dissertation, Verlag von Ernst Wasmuth A-G., Berlin.

Yakupoğlu, T., Özdemir, N. ve Ekberli, İ., (2008), “Toprak erozyonu çalışmalarında bulanık mantık uygulamaları” Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 23(2): pp:121-130, Samsun.

Yavaş, D., (2009), “Bursa’nın Kalbi Ulucami” Bursa İl Özel İdaresi, pp: 133-142, Bursa.

Yazıcı, A.C., Ögüş, E., Ankaralı, S. ve Canan, S., (2007), “Yapay sinir ağlarına genel bakış” Türkiye Klinikleri Med sci, 27, pp: 65-71.

Yılmaz, İ. ve Dikmen, S.Ü., (2011), “Osmanlı Döneminde Yapıların Onarım ve Restorasyonunda Tasarım ve Onay Süreci” 23. Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi, Mimarlar Odası Bursa Şubesi, pp: 169-173, Bursa.

Yılmaz, İ. ve Dikmen, S.Ü., (2011), “Osmanlı Döneminde kullanılan maliyet tahmin yöntemleri” 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi, Bursa.

Yılmaz, M. ve Arslan, E., (2005), “Bulanık mantığın jeodizik problemlerin çözümünde kullanılması” Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul.

Yurtçu, Ş. ve Uygunoğlu, T., (2006), “Yapay zeka tekniklerinin inşaat mühendisliği problemlerinde kullanımı” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (1), pp: 61-70

EKLER

EK -1 A Proje numaraları ve kubbe modüllerine göre yapı isimleri

PROJE NO	KUBBE MODÜLÜ	KUBBE MODÜL SAYISI	YAPI İSMİ
1	1	1	SÖĞÜT ERTUGRULGAZİ CAMİSİ
2	1	1	İZNİK ŞEYH KUTBEDDİN CAMİSİ
3	1	1	LALA ŞAHİN PAŞA TÜRBESİ
4	1	1	HACI ÖZBEK CAMİSİ
5	1	1	BEDRETTİN CAMİSİ
6	1	1	ŞEHZADE MAHMUT TÜRBESİ
7	1	15	MAHKEME HAMAMI
8	2	15	MAHKEME HAMAMI
9	3	15	MAHKEME HAMAMI
10	4	15	MAHKEME HAMAMI
11	5	15	MAHKEME HAMAMI
12	6	15	MAHKEME HAMAMI
13	7	15	MAHKEME HAMAMI
14	8	15	MAHKEME HAMAMI
15	9	15	MAHKEME HAMAMI
16	10	15	MAHKEME HAMAMI
17	11	15	MAHKEME HAMAMI
18	12	15	MAHKEME HAMAMI
19	13	15	MAHKEME HAMAMI
20	14	15	MAHKEME HAMAMI
21	15	15	MAHKEME HAMAMI
22	1	10	İNCİRLİ HAMAMI
23	2	10	İNCİRLİ HAMAMI
24	3	10	İNCİRLİ HAMAMI
25	4	10	İNCİRLİ HAMAMI
26	5	10	İNCİRLİ HAMAMI
27	6	10	İNCİRLİ HAMAMI
28	7	10	İNCİRLİ HAMAMI
29	8	10	İNCİRLİ HAMAMI
30	9	10	İNCİRLİ HAMAMI
31	10	10	İNCİRLİ HAMAMI
32	1	1	HOCAALİZADE CAMİSİ
33	1	1	BİLECİK ORHANGAZİ CAMİSİ
34	1	9	HAMZABEY CAMİSİ
35	2	9	HAMZABEY CAMİSİ
36	3	9	HAMZABEY CAMİSİ
37	4	9	HAMZABEY CAMİSİ

38	5	9	HAMZABEY CAMİSİ
39	6	9	HAMZABEY CAMİSİ
40	7	9	HAMZABEY CAMİSİ
41	8	9	HAMZABEY CAMİSİ
42	9	9	HAMZABEY CAMİSİ
43	1	1	HERSEKZADE AHMET PAŞA CAMİ
44	1	1	NİLÜFER HATUN CAMİSİ
45	1	1	ALAADDİN CAMİSİ
46	1	5	BAŞÇI İBRAHİM PAŞA CAMİSİ
47	2	5	BAŞÇI İBRAHİM PAŞA CAMİSİ
48	3	5	BAŞÇI İBRAHİM PAŞA CAMİSİ
49	4	5	BAŞÇI İBRAHİM PAŞA CAMİSİ
50	5	5	BAŞÇI İBRAHİM PAŞA CAMİSİ
51	1	1	KARIŞTIRAN SÜLEYMAN TÜRBESİ
52	1	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
53	2	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
54	3	12	ÖRDEKLİ HAMAM
55	4	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
56	5	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
57	6	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
58	7	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
59	8	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
60	9	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
61	10	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
62	11	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
63	12	12	ÖRDEKLİ HAMAMI
64	1	10	KAYIHAN HAMAMI
65	2	10	KAYIHAN HAMAMI
66	3	10	KAYIHAN HAMAMI
67	4	10	KAYIHAN HAMAMI
68	5	10	KAYIHAN HAMAMI
69	6	10	KAYIHAN HAMAMI
70	7	10	KAYIHAN HAMAMI
71	8	10	KAYIHAN HAMAMI
72	9	10	KAYIHAN HAMAMI
73	10	10	KAYIHAN HAMAMI
74	1	1	GAZİ HAMZABEY TÜRBESİ
75	1	1	HAMZABEY AİLE TÜRBESİ
76	1	4	ORHANGAZİ GÜRLE HAMAMI
77	2	4	ORHANGAZİ GÜRLE HAMAMI
78	3	4	ORHANGAZİ GÜRLE HAMAMI
79	4	4	ORHANGAZİ GÜRLE HAMAMI
80	1	1	YILDIRIM MÜCELLİDDİN CAMİSİ
81	1	1	İSABEY FENARİ CAMİ
82	1	4	II. MURATHAN HAMAMI
83	2	4	II. MURATHAN HAMAMI
84	3	4	II. MURATHAN HAMAMI
85	4	4	II. MURATHAN HAMAMI
86	1	1	İBNİ BEZZAZ CAMİSİ

87	1	1	KARA MUSTAFA PAŞA TÜRBESİ
88	1	2	II. MURAT TÜRBESİ
89	2	2	II. MURAT TÜRBESİ (ALAADDİN)
90	1	1	ŞEHZADE MUSTAFA TÜRBESİ
91	1	1	EBE KADIN TÜRBESİ
92	1	1	HÜMA HATUN TÜRBESİ
93	1	1	MÜKRİME HATUN TÜRBESİ
94	1	1	GÜLŞAH HATUN TÜRBESİ
95	1	1	ŞİRİN HATUN TÜRBESİ
96	1	1	ŞEHZADE AHMET TÜRBESİ
97	1	1	CEM SULTAN TÜRBESİ
98	1	1	GÜLRUH HATUN TÜRBESİ
99	1	9	MUALLİMZADE HAMAMI
100	2	9	MUALLİMZADE HAMAMI
101	3	9	MUALLİMZADE HAMAMI
102	4	9	MUALLİMZADE HAMAMI
103	5	9	MUALLİMZADE HAMAMI
104	6	9	MUALLİMZADE HAMAMI
105	7	9	MUALLİMZADE HAMAMI
106	8	9	MUALLİMZADE HAMAMI
107	9	9	MUALLİMZADE HAMAMI
108	1	4	HANÇERLİ HAMAMI
109	2	4	HANÇERLİ HAMAMI
110	3	4	HANÇERLİ HAMAMI
111	4	4	HANÇERLİ HAMAMI
112	1	8	NASUHPAŞA HAMAMI
113	2	8	NASUHPAŞA HAMAMI
114	3	8	NASUHPAŞA HAMAMI
115	4	8	NASUHPAŞA HAMAMI
116	5	8	NASUHPAŞA HAMAMI
117	6	8	NASUHPAŞA HAMAMI
118	7	8	NASUHPAŞA HAMAMI
119	8	8	NASUHPAŞA HAMAMI
120	1	6	HASANBEY HAMAMI
121	2	6	HASANBEY HAMAMI
122	3	6	HASANBEY HAMAMI
123	4	6	HASANBEY HAMAMI
124	5	6	HASANBEY HAMAMI
125	6	6	HASANBEY HAMAMI
126	1	4	YARHİSAR HAMAMI
127	2	4	YARHİSAR HAMAMI
128	3	4	YARHİSAR HAMAMI
129	4	4	YARHİSAR HAMAMI
130	1	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
131	2	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
132	3	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
133	4	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
134	5	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
135	6	12	DAVUTPAŞA HAMAMI

136	7	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
137	8	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
138	9	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
139	10	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
140	11	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
141	12	12	DAVUTPAŞA HAMAMI
142	1	12	EMİRSULTAN HAMAMI
143	2	12	EMİRSULTAN HAMAMI
144	3	12	EMİRSULTAN HAMAMI
145	4	12	EMİRSULTAN HAMAMI
146	5	12	EMİRSULTAN HAMAMI
147	6	12	EMİRSULTAN HAMAMI
148	7	12	EMİRSULTAN HAMAMI
149	8	12	EMİRSULTAN HAMAMI
150	9	12	EMİRSULTAN HAMAMI
151	10	12	EMİRSULTAN HAMAMI
152	11	12	EMİRSULTAN HAMAMI
153	12	12	EMİRSULTAN HAMAMI

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim Yılmaz 1961 yılında Bursa'nın Osmangazi ilçesinde doğdu. İlk öğrenimini Bursa Süleyman Çelebi İlkokulunda, orta öğrenimini Bursa Erkek Lisesinde tamamladı. 1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık bölümünü tamamlayarak mimar ünvanına sahip oldu. 2006 yılında Maltepe Üniversitesi'nde Restorasyon dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2004 - 2009 yılları arasında Bursa'da belediye meclis üyesi, Tarihi Kentler birliği meclis üyesi, Marmara ve Boğazları belediyeler birliği meclis üyesi ile, bu birliğin meclis başkan vekilliği görevlerinde bulundu. Ayrıca, 2005- 2011 yılları arasında Uludağ Üniversitesi İznik MYO. Mimari Restorasyon bölümünde rolöve, restitüsyon ve restorasyon dersleri ile geleneksel yapım teknikleri ve malzemeleri dersleri verdi. 2006 - 2012 yılları arasında İstanbul Kültür Üniversitesi Proje Yönetimi alanında doktora çalışmalarına devam etmektedir.

Halen, Bursa'da restorasyon proje ve uygulamaları yapan bürosunda serbest mimar olarak çalışmaktadır. Son 5 yıl içerisinde yaptığı restorasyon çalışmalarından, Saltanat Kapısı rekonstrüksiyon uygulamasının açılışı, Sn. Cumhurbaşkanı tarafından, yine kuleler ve hamamlarla ilgili yaptığı restorasyon çalışmalarının açılışları ise, Sn. Başbakan ve Sn. Kültür Bakanı tarafından yapılmıştır.

İbrahim Yılmaz, İstanbul Boğaziçi'nde bulunan Rumeli Hisar'ı ve Bebek'te, restitüsyon ve rekonstrüksiyona yönelik proje çalışmaları yapmıştır. Halen, 19.Yüzyıl sonu Bebek yöresel konut mimarisinin önemli öğelerinden biri olan, ancak günümüzde ayakta olmayan Osmanlı dönemine ait önemli bir köşk yapısının, elde var olan belgelere dayalı olarak restitüsyon ve rekonstrüksiyon projelerini hazırlamaktadır.