



**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ
ANA BİLİM DALI**

**TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN
GENETİK ALGORİTMA VE ANFİS İLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve BİLGİN

OSMANIYE / 2018

T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANA BİLİM DALI

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN
GENETİK ALGORİTMA VE ANFİS İLE MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERVE BİLGİN

Danışman:Dr. Öğr. Üyesi Emre YAKUT

Jüri Üyesi:Doç. Dr. Alpaslan YAŞAR

Jüri Üyesi:Dr. Öğr. Üyesi E. Sertaç ARI

OSMANİYE / 2018

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jürimiz tarafından Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.



Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Emre YAKUT

(Danışman)



Üye: Doç. Dr. Alpaslan YAŞAR



Üye: Dr. Öğr. Üyesi E. Sertaç ARI

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylıyorum.

25/07/2018

Doç. Dr. Müjdat AVCI

Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 26.07.2018


Merve BİLGİN

ÖZET

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN GENETİK ALGORİTMA VE ANFİS İLE MODELLENMESİ

MERVE BİLGEN

Yüksek Lisans, Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Ü. Emre YAKUT

Temmuz 2018, 94 sayfa

Elektrik enerjisi toplumların ekonomik, sosyal ve kültürel yönlerden kalkınmasını sağlayan ve çağdaş uygarlığın en önemli araçlarından biri durumundadır. Elektrik enerjisi, rahat yaşam standartları açısından ve diğer enerji çeşitleri arasında en popüler olanıdır. Günümüzün vazgeçilmez enerji çeşidi olan elektrik enerjisine her geçen gün duyulan ihtiyaç artmaktadır. Elektrik arz güvenliğinin sağlanabilmesine yönelik verimli elektrik tüketimi için doğru, güvenilir ve anlamlı tahminlerin yapılması gerekmektedir.

Elektrik tahminini modellemek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada 1995-2017 yılları arasında Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimini modelleyebilmek için genetik algoritmadan lineer ve karesel formlar ve ANFİS için ise üçgen ve gauss üyelik fonksiyonları denenmiştir. Ardından GA ve ANFİS yöntemleri ile belirlenen tahmini değerler ile gerçek elektrik tüketim değerleri arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemek için hipotezi testi gerçekleştirilmiştir. GA için lineer model, ANFİS için üçgen üyelik fonksiyonlu model daha başarılı sonuç vermiştir.

GA yöntemi için lineer modelde R2 değeri %99,2 ve MAPE değeri %3,2; ANFİS yöntemi için üçgen üyelik fonksiyonlu modelde R2 değeri %95,5 ve MAPE değeri %3,9 olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak GA ve ANFİS'e ilişkin kurulan modellerin elektrik tüketim tahmini amacıyla kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Genetik algoritma, ANFİS, Tahminleme, Elektrik Enerjisi Tüketimi

ABSTRACT**MODELLING OF TURKISH ELECTRICITY CONSUMPTION
USING GENETIC ALGORITHM AND ANFIS****MERVE BILGEN****Master Thesis, Department of Management Information Systems****Supervisor: Asst. Prof. Dr. Emre YAKUT****July 2018, 94 pages**

Electric energy is one of the most important means of contemporary civilization that enables the development of societies from economic, social and cultural aspects. Electrical energy is the most popular in terms of comfortable living standards and other forms of energy. Electrical energy, which is indispensable to the type of energy today is an increasing need every day. The provision of electricity supply security requires accurate, reliable and meaningful estimations must be made for efficient electricity demand forecasts.

There are many methods to model electricity forecasting. In this study, between the years 1995-2017 in order to model the electrical energy consumption in Turkey genetic algorithm for linear and quadratic forms and has been tested Anfis triangles and Gaussian membership functions. A hypothesis test was then conducted to determine whether there was a significant difference between the predicted values determined by the GA and ANFIS methods and the actual electricity consumption values. Linear model for GA, triangular membership function for Anfis model yielded successful results.

In the linear model R2 value for the method GA %99,2 values and mape 3.2%; ANFIS method for triangular Membership function in the model the R2 value is %95,5 MAPE value and 3.9% have been identified as. As a result, GA and ANFIS established models can be used to estimate electricity consumption.

Keywords: Genetic algorithm, ANFIS, Forecasting, Electricity Consumption

ÖN SÖZ

Bu çalışmada, değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren ve her konuda yardımcı olan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Ü. Emre YAKUT'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca maddi manevi her türlü yardımını esirgemeyen idolum güçlü kadın annem Bircan BİLGEN'e, hayatımı anlamlandıran nefesim oğlum Yiğitalp'e ve tüm aileme burada teşekkür etmek istiyorum.

Bilgisayar Mühendisi

Merve BİLGEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖN SÖZ	vi
KISALTMALAR	ix
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1

BÖLÜM I

GENETİK ALGORİTMA

1.Genetik Algoritma	3
1.1. Genetik Algoritma Tanımı	4
1.2. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları	5
1.3. Genetik Algoritma Nasıl Çalışır?	6
1.4. Kodlama	9
1.4.1. İkili Kodlama	10
1.4.2. Permutasyon (Tam Sayı-Sıralı) Kodlama	11
1.4.3. Değer Kodlama	11
1.4.4. Ağaç Kodlama	12
1.5. Genetik Operatörler	12
1.5.1. Yeniden Üretim (Reproduction)	13
1.5.2. Çaprazlama (Crossover)	17
1.5.3. Mutasyon (Mutation)	22
1.6. Genetik Algotirma Veri Yapısı	25
1.7. Genetik Algoritma Parametre Seçimi	26
1.7.1. Gen Büyüklüğü	26
1.7.2. Popülasyon Büyüklüğü	27
1.7.3. Çoğalma Parametresi	27

1.7.4. Çaprazlama Olasılığı.....	28
1.7.5. Seçim Stratejisi.....	29
1.7.7. Genetik Algoritmanın Sonlandırma Koşulu.....	29
1.8. Genetik Algoritmanın Avantajları Ve Dezavantajları.....	30

BÖLÜM II

UYARLAMALI BULANIK YAPAY SİNİR AĞLARI (ANFIS)

2.Bulanık Mantık	32
2.1. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları	33
2.1.1. Üyelik Fonksiyon Çeşitleri	34
2.1.2. Bulanık Küme İşlemleri	35
2.1.3. Bulanık Kurallar Ve Bulanık Çıkarım	37
2.1.4. Durulaştırma İşlemi.....	42
2.2. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Sinirsel Yaklaşım (ANFIS Yöntemi)	46
2.2.1. ANFIS Nedir?	46
2.2.2 ANFIS Mimarisi.....	49

BÖLÜM III

LİTERATÜR TARAMASI

3.Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini Literatür Taraması	53
--	----

BÖLÜM IV

UYGULAMA SONUÇLARI

4.Uygulama.....	58
4.1.Genetik Algoritma Yöntemi ile Elektrik Enerjisi Tüketim Modellemesi .	60
4.2. ANFİS (Sinirsel Bulanık Mantık) Yöntemi ile Elektrik Enerjisi Tüketim Modellemesi	63
4.3. GA ve ANFİS Yöntemlerinden Elde Edilen Modellerin İstatistiksel Analizi	70

BÖLÜM V

SONUÇ VE TARTIŞMA

5.Sonuç Ve Tartışma.....	72
KAYNAKÇA	74
ÖZGEÇMİŞ.....	82

KISALTMALAR

GA: Genetik Algoritma

YSA: Yapay Sinir Ağları

MLP (Multi-Layered Perceptron) : Çok Katmanlı Perseptron

MRL: Çoklu Doğrusal Regresyon

PSO: Parçacık Sürü Optimizasyonu

ACO:Ant Koloni Optimizasyonu

ILS: Yinelene Yerel Arama

SVR: Destek Vektör Regresyon

GSYİH:Gayri Safi Yurtiçi Hasıla



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Çok Noktalı Çaprazlama	19
Tablo 2. Uniform Çaprazlama.....	20
Tablo 3. Sıraya Dayalı Çaprazlama	21
Tablo 4. Mutasyon Çeşitleri	24
Tablo 5. Çoğalma Operatörü / Seçim Basıncı	28
Tablo 6. Çaprazlama Operatörü / Arama Gücü	28
Tablo 7. 1995-2017 Yıllarına Ait Elektrik Enerjisi Net Tüketim Değerleri ve Diğer Ekonomik Gösterge Değerleri	59
Tablo 8. Modellere İlişkin Doğruluk Ölçütleri ve formülleri	60
Tablo 9. GA Modellerine ait Belirlilik Katsayısı Değeri ve Yüzde Doğruluk Ölçüt Değerleri.....	63
Tablo 10. ANFİS için Kullanılan Ağ Parametreleri.....	64
Tablo 11. ANFİS Modellerine ait Belirlilik Katsayısı Değeri ve Yüzde Doğruluk Ölçüt Değerleri.....	69
Tablo 12. Hipotez Testi için Kullanılacak Test İstatistiği.....	70
Tablo 13. GA ve ANFİS Yöntemlerine ait Ortalama ve Std. Sapma Değerleri.	70
Tablo 14. GA ve ANFİS Yöntemlerine ait Test İstatistiği Değerleri ve Hipotez Sonuçları	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Genetik Algoritmada Evrimleşme Döngüleri	8
Şekil 2. Genetik Algoritma Genel Akış Şeması	9
Şekil 3. Ağaç kodlama ile kodlanmış kromozom örnekleri	12
Şekil 4. Kısmi Planlı Çaprazlama	20
Şekil 5. Pozisyona Dayalı Çaprazlama	21
Şekil 6. İki Bulanık Kümenin Birleşimi	35
Şekil 7. İki Bulanık Kümenin Kesişimi	36
Şekil 8. İki Bulanık Kümenin Tümleyeni	37
Şekil 9. Bulanık Mantık Genel Yapısı	38
Şekil 10. Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi	40
Şekil 11. Sugeno yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması.....	41
Şekil 12. En Büyük Üyelik Derecesi ile Durulaştırma	43
Şekil 13. En Büyük Üyelik Derecesi ile Durulaştırma	43
Şekil 14. Ağırlık Merkezi Yöntemi ile Durulaştırma	44
Şekil 15. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi	45
Şekil 16. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi	46
Şekil 17. ANFİS Modelin Temel Akış Diyagramı	48
Şekil 18. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi	49
Şekil 19. Gauss Eğrisi Tipi Üyelik Fonksiyonu ve Parametre Tanımları	50
Şekil 20. GA Lineer ve Kuadartik Modele ait Tahmini Değerler ile Gerçek Elektrik Tüketim Verilerinin Karşılaştırılması	62
Şekil 21. Matlab Yazılımına ait ANFİS Arayüzü.....	64
Şekil 22. Elektrik Enerjisi Tüketimini Modeline ait ANFİS Yapısı.....	65
Şekil 23. ANFİS Modeline ait GSMH Değişkenine ait Üçgen Üyelik Fonksiyonu.....	66
Şekil 24. ANFİS'ten Elde Edilen Kurallar	67
Şekil 25. ANFİS Kural Tabanı	67
Şekil 26. ANFİS'e ilişkin Üç Boyutlu Değerlendirme Grafiği	68
Şekil 27. Üçgen ve Gauss Üyelik Fonksiyonlu ANFİS Modellerine ait Tahmini Değerler ile Gerçek Elektrik Tüketim Verilerinin Karşılaştırılması.....	69

GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüzde en çok harcanan ve yaşantımızın her alanına girmiş olan enerji çeşididir. Cisimlerin atom yapısındaki elektronların hareket etmesiyle meydana gelen kuvvete elektrik enerjisi denilmektedir. Elektrik enerjisini kullanışlı kılan, enerji dönüşümleridir. Bu enerji çeşidi mekanik, ısı ve ışık enerjisinin elektriğe dönüşmesiyle elde edilir.

Elektrik enerjisinin tarihçesine göre elektrik enerjisi, 1880'lerde Volta adındaki bilim adamının yapmış olduğu pil ile kullanılmaya başlanmıştır. Elektrik akımının oluşturmuş olduğu manyetik alan ile ilgili diğer bilim adamları da 1890 yıllarında çalışmalar yapmıştır. 1890 yılında Thomas Edison'un ampülü bulması sonrasında ise insanlar yavaş yavaş bu icadı kullanmaya başlamışlar ve dolayısıyla elektrik enerjisi de kullanılmıştır. Dinamolarla üretilen ilk elektrik, aydınlatmada kullanılmıştır. Sonrasında geliştirilerek buhar ve su türbinleri kullanılarak elektrik üretilmiştir. Günümüzde de ülkemizde jeneratörler, su türbinleri, rüzgar gülleri, güneş enerjisi elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır (<https://www.enerji.gen.tr/elektrik-enerjisi.html>, 2018).

Elektrik enerjisinin özelliklerinden biri olan depolanmaması nedeniyle üretilen enerjinin hizmete sunulması gereken bir enerji kaynağıdır. Bu durumda elektrik enerjisinde arzın ve talebin aynı anda olması gerekmektedir. 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun ilgili maddesinde en önemli hedefin kullanıcılara sürekli, güvenilir ve kaliteli elektrik enerjisi sağlamak olduğu belirtilmektedir. Bu durum dağıtım, üretim şirketlerinin çok disiplinli, planlı ve yüksek performanslı bir iş yönetiminin olması gerektiğini göstermektedir (Karaca ve Karacan, 2016, s. 183).

Ülkemizde 1960'lı yıllarda elektrik enerjisi talebi ve elektrik enerjisi tüketiminin tahmini konulu ilk çalışmalar ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte Devlet Planlama Teşkilatı elektrik enerjisi tahmini için basit regresyon tekniklerini kullanmıştır. Daha sonra Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı benzer çalışmalar yapmaya devam etmiştir (Ünler, 2008; Karaca ve Karacan, 2016, s. 184).

Türkiye'de elektrik enerjisi talebi, artan nüfus, şehirleşme, sanayileşme, teknolojinin yaygınlaşması ve refah artışına paralel olarak yükselmesini sürdürmektedir. Enerji tüketimi ile özellikle sosyo-ekonomik ve demografik göstergeler arasında

oldukça anlamlı bir ilişki vardır. Elektrik enerjisi tahminlerinde doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmek için kullanılan birçok parametreler mevcuttur. Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketim tahmini için nüfus, ihracat, ithalat, taşıt sayısı, bina yüzölçümü, internet kullanımı ve gayri safi yurtiçi hâsıla (GSYH) parametreleri kullanılmıştır.

Elektrik talep tahminlerinin belirlenmesinde kullanılacak tahmin tekniğinin seçimi önemli bir noktadır. Bu çalışmada genetik algoritma ve anfis yöntemleri kullanılmıştır. 1995-2017 yılları verileri kullanılarak Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketiminin modellenmesi amaçlanmıştır. Bulunan tahmin sonuçlarıyla model oluşturularak hangi yöntemle daha doğru tahmin sonucu elde edilebileceği belirlenmiştir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde genetik algoritmalar, ikinci bölümde anfis modeli, üçüncü bölümde elektrik enerjisi tüketimi literatür kısmı, dördüncü bölümde uygulama ve beşinci bölümde çalışma hakkında sonuç ve öneriler yer almıştır.

Birinci bölümde, genetik algoritma tanımı, kavramı, basit genetik algoritmaların çalışma prensipleri, kodlanması, genetik operatörler, genetik algoritmanın veri yapısı, parametre seçimi, genetik algoritmanın avantajlarına ve dezavantajlarına değinilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde uyarlamalı bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) kavramları, bulanık mantık, üyelik fonksiyon çeşitleri, bulanık küme işlemleri, bulanık çıkarım, durulaştırma işlemleri, anfis yöntemi tanımı ve anfis mimarisi konularına değinilmiştir.

Çalışmanın üçüncü kısmında, yapay sinir ağ modelleri, çoklu doğrusal regresyon, parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma, Box-Jenkins modeli, arı kolonisi, hibrit algoritma, varyans analizi tabanlı algoritma, e-SVR (destek vektör regresyon) yöntemi, bulanık mantık, doğrusal (LR) ve doğrusal olmayan (NLR) regresyon, DVR yöntemi ve gri tahmin yöntemi kullanılarak yapılan Türkiye ve diğer bazı ülkeler için elektrik enerjisi tüketim tahmini literatür çalışmalarına değinilmiştir.

Çalışmanın dördüncü kısmında ise Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketim tahmin sonuçları elde etmek için genetik algoritma (GA) ve uyarlamalı bulanık yapay sinir ağları (ANFIS) yöntemleri kullanılmıştır. 1995-2017 yıllarına ait verilere göre Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketim tahmin değerleri bulunmaktadır.

Çalışmanın beşinci kısmında Sonuçların değerlendirilmesine oluşturulan modeller arası karşılaştırmalara yer verilmiş ve tahmin sonuçları açıklanarak sonuç ve öneriler belirtilmiştir.

BÖLÜM I

GENETİK ALGORİTMA

1. Genetik Algoritma

Genetik Algoritma (GA), 1975 yılında psikolog ve bilgisayar bilimleri uzmanı Michigan Üniversitesi'nden J. H. Holland tarafından ilk olarak Darwin'in evrim teorisinden etkilenecek şekilde ortaya çıkmıştır. GA'nın tarihsel gelişimine bakıldığında, evrimsel yaklaşım ile makine öğrenim tekniğinin birleştirilmesi için ilk denemeler 1960 yıllarının başında yapılmaya başlamıştır. Genetik Algoritma kavramından ilk kez Bagley bir çalışmada bahsetmiştir (1967) ancak öğrencisi Holland tarafından canlıların genetik süreci örnek alınarak bilgisayar ortamında uygulanmıştır (Elmas, 2011, s. 379).

Rosenberg de benzer zamanlarda genetik algoritmaya biyolojik ve betimleme etmenlerini ilave etmiştir. De Jongs, matematiksel fonsiyonların minimizasyonu için altı çeşit problem inceleyerek genetik algoritma ile çözmeye çalışmıştır (Goldberg, 1989; Özkan, 2003, s.39).Yapılan çalışmaların sonucunda Holland 1975 yılında "Doğal ve Yapay Sistemlerde Uyarılma" adlı kitabının yayınlanmasıyla, GA bugünkü haliyle kullanılmaya devam etmektedir (Holland J.H., 1975; Özkan, 2003, s. 39).

Genetik Algoritma Hollanda tarafından başlangıçta adaptif davranışların incelenmesi için kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, o zamandan beri optimizasyon yöntemleri olarak düşünülmüştür (Xaviera, Santosc, Vieiraa ve Santos, 2013, s. 949).

Optimizasyon algoritmaları iki grupta inceleyebiliriz. Bunlardan birincisi, gradyan tabanlı yöntemlerle ilgilidir. Bu tür bir yöntem çoğunlukla yerel yöntem olarak adlandırılır ve yakınsama açısından iyi bir verimliliğe sahiptir. Ayrıca bu yerel yöntem sayesinde kolayca minimum değere ulaşılır. İkincisi yöntem ise küresel yöntemler olarak bilinir ve birinci yöntemden farklı olarak gradyanlara bağımlı değildir. Küresel

yöntemler genellikle arama alanını daha iyi keşfetmek ve evrensel minimum değeri bulma şansını artırmak için çeşitlendirme ve yoğunlaştırma stratejilerini birleştirirler. Genetik algoritma (GA), ikinci grupta yer almaktadır ve evrim teorisinden esinlenen sağlam bir optimizasyon yöntemidir. GA, çok çeşitli optimizasyon problemlerini çözebilen ve çözüm aşamasında problemlerde yapılan ufak değişikliklerle halledilebildiklerinden ötürü diğer yöntemlere göre daha esneklerdir (Maschio, Davolio, Correia ve Schiozer, 2015, s. 388).

1.1. Genetik Algoritma Tanımı

Genetik algoritma (GA) en iyi hedef ölçütünün en iyi değerini tespit eden kısıtlardaki değişkenlerin en iyi çözümü veya en yakın sonuç değerini bulmak olarak tanımlanır. Arama tekniği tabanlı genetik ve doğal seleksiyon ilkeleri üzerine kurulmuş sezgisel bir yöntemdir (Randy ve Sue, 2004, s. 22).

Genetik Algoritmalar, zor problemlerin doğrusal zamanda çözülmesi için geliştirilmiş, doğadaki evrimsel sürece benzer çalışan, arama ve çözümü optimal noktaya ulaştırmak için kullanılan uyarlanabilir yöntemlerdir. Belirli bir problemin olası çözümünü temsil eden bir grup bireyle çalışır. Her bireye ne kadar iyi bir çözüm olduğuna göre uygunluk puanı verilir ve puanı düşük olan seçilmez bu nedenle ölür. Yani en iyinin hayatta kalması prensibine göre çalışan eniyileme yöntemidir (Yiğit, 2011, s. 38).

GA Modeli, canlıların kendilerine ait özelliklerinin belirlenmesi ve özellikler doğrultusunda içlerinde ve çevreye uyumundaki sorunlara çözüm bulunarak, geliştirilmeye çalışılmaktadır. Modelleme ve problem çözmede kullanılan GA'nın uygulama alanları genişlemektedir. Uygulama alanlarının bir kısmını şöyle sıralayabiliriz: Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri, Bilgisayar Çipleri Tasarımı, Ders Programı Hazırlanması, Yapay Sinir Ağları Tasarımı, Elektronik Devre Tasarımı, Optimizasyon, Uzman Sistemler, Sınıflama Sistemi, Makine ve Robot Öğrenmesi, İşletmelerdeki Uygulama Alanları gibi. (kaynak ayırmak, iş atölyesi listelemesi, makine parça kümeleme ve bilgisayar ağ temeli tasarımı) (Öznur ve Korukoğlu, 2003, s. 192).

GA'nın uygulama alanlarına göre diğer yöntemlerden farkı;

- GA, parametre ile değil, parametre setinin kodlarıyla ilgilenmektedir,

- GA, aramaya tek bir alanda değil, yığının tamamında başlarlar; bu sayede tek bir alana takılmadan çalışılabilirler,
- GA, amaç fonksiyonunu kullanır, ne olduğuyla ilgili bilgi içermez, nasıl olduğunu bilmektedir,
- GA'da belirli ve değişmez yöntemler değil, rastlantısal yöntemler kullanılır
(Elmas, 2011, s. 384).

1.2. Genetik Algoritmanın Temel Kavramları

Gen(Karakter Özelliği): Genetik algoritmalar, canlıların evrim sürecinden esinlenildiği için genetik terimleri kullanır. Popülasyondaki bireylerin karakter özelliklerini belirleyen kalıtsal birimlere 'gen' adı verilir. Her gen kendine ait bilgi taşıyan bit olarak da adlandırılan en küçük birimdir (Oraler, 1990; Özkan, 2003, s. 42).

Kromozom(Birey): GA ile ilk olarak optimizasyon hareketlerinde geniş bir birey topluluğu oluşturulur. Bu popülasyonda her bir satırına 'birey' denir. Birey sayısı (N) önemli bir kontrol değişkenidir. Bu değişken optimizasyona uygun bir değerde olmalıdır ve çoğunlukla 30 ile 200 arasında değişir. Birey sayısının büyüklüğü arama yapma alanının geniş olmasını sağlamasına karşın GA'nın çalışma hızına ters orantılı olarak yavaşlatır (Şenel,2006,s.6).

Genlerin birleşmesiyle oluşan bireyler genellikle diziler veya kromozomlar olarak isimlendirilir. Kromozomda belli bir konumda yer alan her bir gen kalıtsal bir ya da birkaç karakteristik özelliği kontrol eder. Bir genin kromozomdaki pozisyonuna 'lokus' denir. Genler, temsil ettikleri değişkenin değerini ifade eder ve aldığı değere göre bireylerin özelliği değişir. Örnek olarak saç rengini temsil eden bir gende sarı, siyah olması birer değerdir. Bir genin alabileceği bu değerlere 'allel' denilmektedir (Michalewicz, 1996, s. 28).

Genom(Bireyin gen yapısı): Genom, bir organizmanın içerdiği genetik bilginin tamamına verilen addır. Genomda bulunan genlerin bir bölümüne 'genotip' denilmektedir. Genotipin gelişim sürecinden sonra ortaya çıkan kalıtsal yapının dıştaki görünür ifadesine 'fenotip' denir. Örneğin zeka belirtileri gibi (Özkaya, 2002; Özkan, 2003, s. 42).

Popülasyon(Aday çözümler topluluğu): Popülasyon, kromozomların kaynaşmasıyla elde edilen çözüm yığını olarak tanımlanır. Yığındaki kromozom sayısı

(birey-dizi) genellikle algoritmada sabit tutulur ve çoğunlukla 10 ile 100 arasında değişir. GA'da popülasyon büyüklüğü hakkında bir kural olmadığından programcı tarafından problem tipine göre belirlenebilir. Popülasyon büyüklüğü, problemin çözüm kümesini etkiler bununla birlikte birey sayısı arttıkça çözüm hızı azalır (Ghedjati, 1990; Özkan, 2003, s. 42).

Uygunluk Fonksiyonu(Fitness Function): Popülasyonda bulunan bireylerin performanslarını göstermek için bir fonksiyon gerekmektedir. Popülasyondaki iyi nitelikli bireylerin sıradaki adımlar için kullanılacak yeni topluma iletilmesi, belirli bir kriterler üzerinde değerlendirme yapılır. Başka bir ifadeyle bu uygunluk fonksiyonu(fi) bir değerlendirme fonksiyonudur. Bunlar türev ve benzeri işlemler içermez, istenilen biçimde gerçekleştirilebilir. Uygunluk değeri, bireyin hayatta kalma durumunu göstermektedir. Değer ne kadar yüksek olursa bireyin hayatta kalma olasılığı o kadar yüksek olacaktır (Chen ve Zalzal, 1997; Bayata, 2012, s. 26).

1.3. Genetik Algoritma Nasıl Çalışır?

Basit bir “Genetik Algoritma Aşamaları” şöyle açıklanabilir: (Öznur ve Korukoğlu, 2003, s. 194; Nabiye, 2010, s. 587; Taşkın ve Emel, 2009, s. 31)

1. İlk adımda, bir çözüm grubu olan başlangıç popülasyonu oluşturulur. Tüm olası çözümlerden oluşturulan bir grup çözüm kromozom(dizi) olarak kodlanır. Değişik kodlama çeşitleri mevcuttur ve kromozomların kodlanmasında önce popülasyonda olacak birey sayısı belirlenmelidir. Bu belirlenen birey sayısı için bir ölçüt yoktur ancak çoğunlukla 100-300 aralığında bir ölçüt değeri belirlenir. Burada önemli olan işlemlerin komplikasyonu ve aramanın derinliğidir. Bu işlemden sonra rastsal bir çözüm grubu seçilerek ilk popülasyon oluşturulmuş olur.

2. Popülasyonda bulunan kromozomlar için uygunluk değeri elde edilmektedir. Uygunluk fonksiyonu, popülasyondaki kromozomun ne derecede iyi olduğunu bulmak amacıyla kullanılır. Kromozomların uyumlarının bulunmasına “evrimleşme” denir. GA'da soruna özgü çalışan tek bölüm olan bu uygunluk fonksiyonu genetik algoritmanın temelini oluşturmaktadır. Bu fonksiyon, kromozomları sorunun değişkenleri yaparak onların şifresini çözer ve daha sonra değişkenlere göre

kromozomların uyumluluğunu hesaplar. Fonksiyonun bulduğu uyum değerleri kromozomların çözüm kalitesini göstermekle beraber fonksiyonun verimli ve duyarlı olması GA'nın başarısıyla orantılıdır.

3. Kromozomların uyum değerlerine göre eşleme yapılarak tekrardan kopyalama ve yer değiştirme işlemleri yapılır. İşlem sonunda yeni bir popülasyon elde edilir ve eski popülasyon ile yer değiştirilir. Yer değiştirme (mutasyon) işleminin sadece bir çözüm üzerine etkisi bulunmaktadır. Kopyalamanın tekrarlanması işlemi bilinen adıyla çaprazlama, popülasyonda çeşitlik oluşturur.

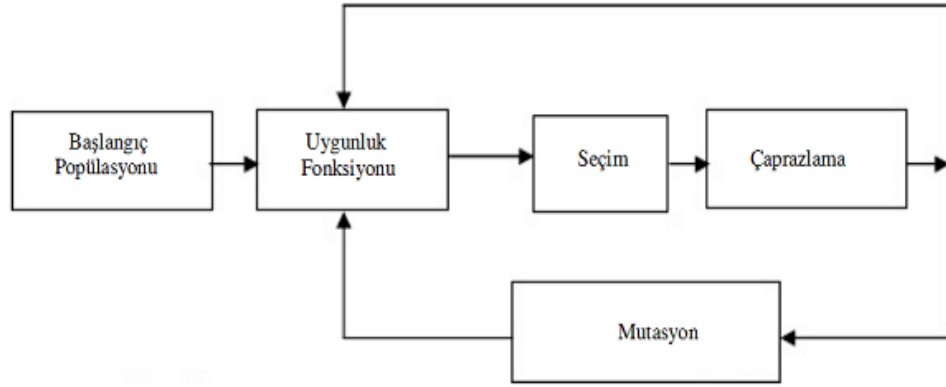
4. Yeni popülasyona oluşturulan yeni kromozomların eklenmesi için eski kromozomlar çıkartılır ve belli bir büyüklükte yeni popülasyon elde edilir.

5. Oluşturulan popülasyondaki kromozomların hepsinin uygunluk değerleri yeniden hesaplanarak kromozomların çözüm kalitesi belirlenir.

6. Algoritma istenilen durdurma kriteri elde edilene kadar birçok kez tekrarlanır. Belirli zamanda en iyi nesil elde edilmeye çalışılır, eğer zaman bitmemiş ise tekrar 3.adıma dönlür.

7. Sonuç olarak popülasyonların hesaplanmasında uygunluk fonksiyonlarına göre en iyi kromozomlar bulunduğu çözüme ulaşılmış olunacaktır.

Genetik Algoritma'nın yukarıdaki aşamalarına bakıldığında yöntemin tekrarlamalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu tekrarlama işlemine üretme (iterasyon) denilmektedir. Standart bir algortmada üretme değeri 50 ile 500 aralığında değişkenlik gösterir (Mitchell, 1996; Nabyev, 2010, s. 588). Genetik Algoritma'nın tekrarlı bir yapısı olduğu aşağıdaki şemada (Şekil-1) gösterilmiştir.



Şekil 1. Genetik Algoritmada Evrimleşme Döngüleri (Nabiyev, 2010, s. 588)

Genetik Algoritmada yer alan kodlar aşağıda açıklandığı şekildedir (Gen ve Cheng, 200, s. 2; Çankal, 2015, s. 7).

$P(t)$: t. kuşaktaki çözüm topluluğu

$C(t)$: t. kuşaktaki yeni kromozomlar

Genetik Algoritma yöntemi

begin

$t=0$;

$P(t)$; Başlangıç popülasyonunu belirler

$P(t)$; Bireylerin uygunluk değerlerini bulur

while (sonlanma şartı olmuyorsa) do

begin

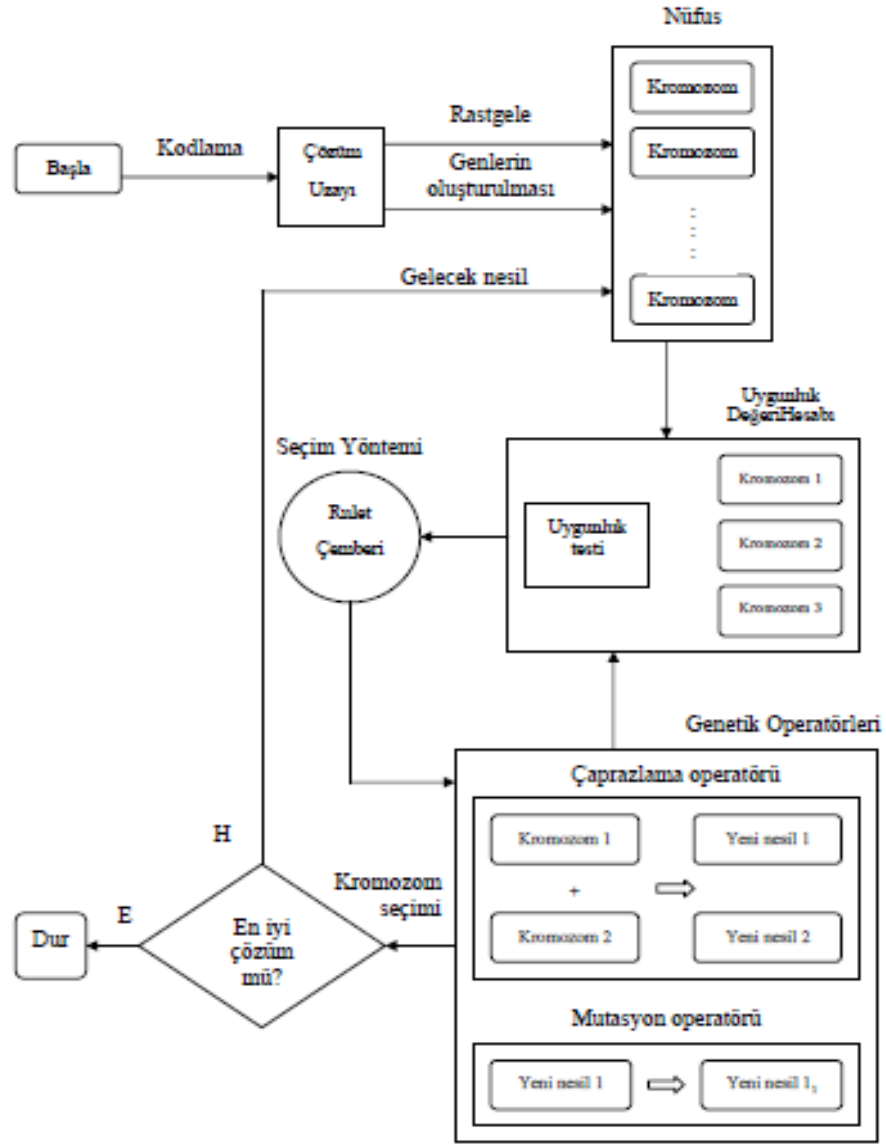
$C(t) = P(t)$ yi operatörleriyle değişim işlemi gerçekleştir.

$C(t)$ kuşaktaki bireylerin uygunluk değerlerini hesapla

$P(t+1)$ (yeni popülasyon) = $C(t)$ ve $P(t)$ den uyumlu olan en iyi bireyleri seç

$t=t+1$;

end; end;



Şekil 2. Genetik Algoritma Genel Akış Şeması (Bolat, 2006, s. 45; Çankal, 2015, s. 8)

1.4. Kodlama

GA'da bir problemin çözümünde bireylerin kodlaması problem türüne göre tasarlanmaktadır. Kodlama işleminde dört çeşit yöntem kullanılmaktadır. Bunlar: (Nabiyev, 2010, s. 589)

1. İkili kodlama
2. Permutasyon kodlama
3. Değer kodlama
4. Ağaç kodlama

Algoritmanın çalışması için probleme uygun kodlama yöntemlerinden biri seçilir (Buseti, 2000, s. 68). Ancak problemi benzer olan uygulamalarda kullanılan kodlama değişiklik gösterebilir. Daha problemlerin tamamı için uygulanacak kodlama türü keşfedilmemiştir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 33).

1.4.1. İkili Kodlama

İkili kodlama ilk olarak genetik algoritmalarda kullanılan en yaygın kodlama türüdür ve basit bir yöntemdir. Ancak belirli sınır noktalarına bağlı kalınarak oluşan kromozom uzunlukları çok fazla olacağından dolayı bu yöntem kısıtlı en iyileme algoritmalarında kullanılmamaktadır (Elmas, 2011, s. 391).

Her bir kromozom bit denilen 0 veya 1 sayılarından oluşur ve bitlerin her biri kromozomun bir özelliğini gösterir. Bit dizileri bir sayıya eşittir (Nabiyev, 2010, s. 589). Bu kodlama yöntemiyle küçük değerli aleller dahil olmak üzere çok türde kromozomlar meydana gelir. Fakat sorunların geneli için doğal bir yöntem olmamakla birlikte çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden sonra düzenlemeler gerektirir. İkili kodlanmış kromozom örnekleri; (Bayata, 2012, s. 21)

KROMOZOM A: 11001010010100100

KROMOZOM B: 10000111101010100

Bir kromozomu kodlamak için $0 \leq X \leq 1000$ gibi bir değer aralığı belirlenir. X değişkeni 10 bit uzunluğunda ise bu aralık $0000000000 \leq X \leq 1111111111$ şeklinde ifade edilir ve $2^{10} = 1024$ tane değer mevcuttur. Bit uzunluklarının toplamı kromozom uzunluğuna eşittir. Çok parametrelili bir genin değerleri birbirinin devamı şeklinde birleştirilir. Örneğin; 3 parametrelili bir değişken varsayalım ve parametre değerleri 10 bit olduğunda kromozom uzunluğu $3 \times 10 = 30$ bit olur. GA, parametre ile değil parametrelerin sınırlı noktadaki uzunluğun ikili kodlanmış haliyle çalışır. Parametre değeri değişkendir ve bu durum genetik algoritmanın geniş ve başarılı olmasını sağlamaktadır (Adeli ve Sarma, 2006, s. 40).

1.4.2. Permutasyon (Tam Sayı-Sıralı) Kodlama

Permutasyon kodlamanın kullanıldığı problemler; GSP (gezgin satıcı problemi) ve görev sıralama problemleri olarak sayılabilir. Her bir kromozom sıra belirten numaralar dizisinden oluşur (Nabiyev, 2010, s. 589).

Bu kodlama, sıralama problemleri için önemlidir ve çoğunlukla birleşimsel optimizasyon problemlerinde kullanılır. Kodlamaya göre kromozomun bir gen değeri bir şehri gösterdiğinden gen değerinin tekrarı önlenmektedir. Bununla birlikte uygunluk değeri genin değerine ve sırasına bağlı olduğundan uygunluk değeri kolaylıkla hesap edilmektedir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 34).

Örneğin; aşağıdaki kromozomlar 8 genden (8 şehirden) oluşmaktadır ve üç gen bir şehri temsil ettiğine göre kodlama sonucunda kromozom 24 genden oluşur.

Kromozom A: 3 5 1 2 7 6 0 4

Kromozom B: 0 1 5 6 2 3 4 7 (Nabiyev, 2010, s. 589-590)

1.4.3. Değer Kodlama

Kodlama çeşitlerinden değer kodlama, gerçel sayılar gibi kompleks sayıların olduğu problemlerde kullanılmaktadırlar. Benzer problemlerde ikili kodlama kullanmak oldukça güçtür. Her kromozom problem ile ilişkili bir takım değerlere denktir. Bu değerler, karmaşık sayılar, karakterler yada kompleks nesnelere olabilir. Bu kodlama, bir takım özel problemlerde kullanılması daha uygundur ve probleme mahsus çaprazlama ve mutasyon yöntemleri geliştirilir. Değer kodlama ile kodlanmış kromozom örnekleri; (Bayata, 2012, s. 22)

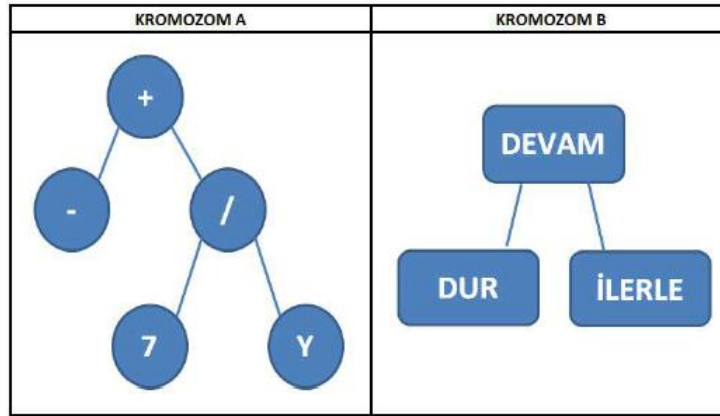
Kromozom A: 1,234 2,549 1,952 7,357

Kromozom B: SHJKLABGNHRKLLHGVC

Kromozom C: (GERİ),(İLERİ),(SAĞ),(SAĞ)

1.4.4. Ağaç Kodlama

Ağaç kodlama, program ifadeleri veya fonksiyonları oluşturmak için çoğunlukla genetik algoritma uygulamalarında kullanılır. Her dizi nesnelere oluşan bir ağaç şeklinde gösterilmektedir. Bu kodlama programı geliştirmek üzere tavsiye edilir. LIPS ve Prolog programlama dillerinde sıkça kullanılır; çünkü bu programların yapıları ağaç şekline uygundur. Bununla birlikte bu kodlama yönteminde çaprazlama ve mutasyon işlemleri kolayca yapılır. Ağaç kodlamada nesnelere; ifadeler, sayılar ve aritmetik (+, -, /, *) operatörlerden oluşur. Kodlamada bir sınır ve kural vardır. Giriş sayıları ilk dört tanesi 1 ile 10 arasından ve “25, 50, 75, 100” sayıları arasından da son iki sayı belirlenir. Örnek olarak; (2, 3, 5, 8, 25, 100) sayılarını kullanarak 467 sayısını bulan çözümlerden birisi $(5*100) - (25+8) = 467$ olarak gösterilebilir. Problemlerde çözümü bulmak için sayılar yalnızca bir defa kullanılmaktadır (Nabiyev, 2010, s. 590-591).



Şekil 3. Ağaç kodlama ile kodlanmış kromozom örnekleri (Bayata, 2012, s. 22)

1.5. Genetik Operatörler

Genetik Algoritma’da çözüm topluluğu belirlenirken bir zaman sonra nesil çeşitliliği olmadığı için çözüme ulaşamama problemi ortaya çıkmaktadır. Nesil çeşitliliğini sağlamak ve uyumlu en iyi nitelikteki kromozomları oluşturulan yeni kuşaklara aktarmak için kromozomlara algoritmanın genetik operatörleri uygulanır. Bu sayede yöntemin çalışmasındaki çeşitlik sorunu giderilir (Elmas, 2011, s. 393). Bu operatörler algoritmanın başarısını etkileyen vazgeçilmez parçalarıdır (Nabiyev, 2010, s. 588).

Genetik operatörler, oluşturulan popülasyona uygulanan yöntemlerdir. Amacı en iyi özellikte yeni kuşaklar çoğaltmak ve arama işlemini geniş alanda yapabilmektir. Uygulamalara göre operatör seçimi farklılık göstermekle birlikte genetik algoritmanın tümünde 3 temel operatör kullanılır.

1. Yeniden Üretim (Reproduction)
2. Çaprazlama (Crossover)
3. Mutasyon (Mutation) (Öznur ve Korukoğlu, 2003, s. 195)

1.5.1. Yeniden Üretim (Reproduction)

Yeniden Üretimde, mevcut kuşak yerine yeniden kuşak oluşturma işlemine; Nesil Üretimi (Generational Reproduction), kuşakta bulunan bazı bireylerle yeni bireyleri takas etme işlemine de Kararlı Durum Üretimi (Steady-State Reproduction) denilmektedir (Öznur ve Korukloglu, 2003, s. 195).

Üretim, uyumlu bir bireyin karakteristik özelliklerinin, yeni kuşağa iletilmesi işlemini yapar. Seçilen uyumlu bir birey çiftinin, yeni kuşağın birden fazla bireyinin oluşumuna yardımcı olacaktır. Bu birey çiftine ebeveyn denilmektedir. Ebeveynin özellikleri, yeni kuşağa iletilmesi işleminde, oluşturulan yeni bireylere aynı işlemin tekrar yapılmaması ve bu bireylerin ebeveynlerin birer kopyasını oluşturmayı önlemek için diğer genetik operatörlerden çaprazlama veya mutasyon operatörleri kullanılır (Paksoy, 2007, s. 29).

1.5.1.1. Seçim(Selection)

Popülasyon içinden hayatta kalabilen bireylerin seçilmesi farklı yöntemlerle yapılabilir. Yöntemin uygun olması doğru orantılı olarak GA'nın çalışma hızını ve iyiye gidişini etkilemektedir. En basit ve sıklıkla kullanılan rulet tekerleği (çemberi) seçim yöntemi yanında orantılı, sabit durum, sıralama ve turnuva seçim yöntemleri de kullanılmaktadır (Nabiyev, 2010, s. 595; Elmas, 2011, s. 391).

1.5.1.1.1. Rulet Tekerleği Seçim Yöntemi

Bu yöntem ismini yuvarlak bir pastanın dilimlenmesine benzediğinden rulet tekerleği veya rulet çemberi olarak adlandırılır (Nabiyev, 2010, s. 596). Rulet seçim yönteminde, bir çember döndürülür ve rastgele bir dilimde durması beklenir. Çemberin dilimleri, bir sayının, sayılar topluluğundaki uygunluğuna göre belirlenir. Çemberin çevre uzunluğu U , seçilecek olan sayılar s_1, s_2, \dots, s_n olarak $s_1+s_2+s_3+\dots+s_n=U$ şeklinde ifade edilir ve eşitliğin ikisinin de U değerine bölünmesiyle $i_1+i_2+i_3+\dots+i_n=1$ sonucu elde edilir. Bu şekilde her bir sayının seçilme olasılığı belirlenir. Bu ifadelerle göre rulet çemberinin uzunluğu 1'dir ve çevre uzunluğu olasılık değerlerine göre n kadar dilime parçalanır. (Şen, 2004, s. 22).

Rulet tekerleği seçim yönteminde yığındaki bireylerin uygunluk değerlerine göre orantılı seçilme ihtimali fazladır. Yeni nesil için kullanılacak bireylerin seçimi için tekerlek döndürülür ve seçim yönteminin adımları:

1. Bireylerin uygunluk değeri F_i ve
2. Bireylerin seçilme şansı p_i (slot büyüklüğü) hesaplanır.
3. Bireylerin kendi seçilme şanslarının toplamı $q_i = \sum_{j=1}^n p_j$ hesaplanır.
4. $r \in (0,1]$ sayıları arasında herhangi bir değer üretilir.
5. Eğer $r < q_1$ ise ilk birey X_1 seçilir, eğer $q_{i-1} < r \leq q_i$ aralığında ise x_i şeklinde seçilir.
6. Kopya topluluğuna n tane birey üretmek için n kez 4.-5. adımlar yinelenir (Sastri vd., 2005, s. 100).

Yöntemin yukarıdaki adımlarına bakıldığında, kromozomların uygunluk değerlerine göre seçim yapılır ancak uygunluk değeri en büyük olanın seçimi kesin değildir, seçilme olasılığı yüksektir. Bireylerin uygunluk değeri, tüm bireylerin toplanan uygunluk değerine bölünür ve her bir bireyin $[0,1]$ değerleri arasındaki seçilme ihtimalleri belirlenir. Seçilme ihtimalleri ile tabloda tutulan sayıları toplayarak sıfırla toplam arasında rastgele bir sayıya dek ilerlenir. Bu sayı bulunduğu veya aşıldığında en son eklenen sayıya ait çözüm seçilerek işlem tamamlanabilir. Rulet tekerleği yönteminde değerlerin negatif değil pozitif olması gereklidir. Aksi durumda çözümün seçilme imkanı olmadığını gösterir. Kromozomların en iyi olması, seçilme şanslarını artırır. Başka bir ifadeyle en büyük uygunluğu sağlayan kromozom yüksek ihtimalle seçilecektir (Nabiyev, 2010, s. 596).

1.5.1.1.2. Turnuva Seçim Yöntemi

Kolaylık ve uygunluk yönünden en tercih edilen yöntemdir. Bu yöntem de popülasyonu oluşturan kromozomların bir kısmı bazı kriterlere göre seçim işlemi yapıldıktan sonra karşılaştırılır ve kromozomlardan uygunluk değeri büyük olan yeni popülasyona eklenmek için seçilmektedir. Yeni yığın oluşturulması, bir önceki yığında bulunan kötü bireyleri elemek amaçlıdır. Optimum çözüme ulaşım süresi yönünden önemli bir yöntemdir (Paksoy ve Uzun, 2008, s. 349).

Turnuva seçim yönteminde, alana bırakarak ya da bırakmayarak gelişigüzel belirlenen t adet diziden elde edilen gruba turnuva yönteminin genişliği denilmektedir (Bolat vd., 2004, s. 267; Paksoy, 2007, s. 25).

Grup içindeki en iyi kromozomun yeni yığına kopyalanması işlemi kullanıcının istediği kadar tekrarlanır. Bu seçim yönteminde uyumlu olanın seçilmesi ve uyumsuz olanın ölmesi prensibi esas alınmıştır (Paksoy, 2007, s. 25).

Bu seçim yönteminde, iki birey yığından gelişigüzel seçilerek turnuvaya katılır ve uygunluk değerlerine göre karşılaştırılır. En iyi olan birey turnuvaya ikinci kez girmeyi hak eder. Diğer bireyin (en kötü) iki turnuvayı kaybetmesinin yanında seçilme olasılığı da kalmamıştır. Orta değerdeki uyumlu bireyler ise seçilen en iyi bireylerin yarısı kadar bir frekansta seçilmiş olurlar. Bu seçim işleminin, bir düzen içinde devam etmesiyle yığındaki en iyi bireylerin bir diğer nesilde ikişer kopyasıyla devam etmesi sağlanmaktadır. Bununla birlikte yığının ortalama uygunluk değeri de gitgide artar (Taşkın ve Emel, 2009, s. 47).

1.5.1.1.3. Orantılı Seçim Yöntemi

Rasgele artan ve rasgele evrensel seçimlerdir. Rasgele artan seçim yönteminde; ilk olarak yığındaki bireylerin muhtemel kopyası bulunur. Bireylerin bulunan kopya sayısının tamsayı kısmı miktarında kopyası yeni yığına aktarılır. Bunun yanında yığın genişliği elde edilmediyse muhtemel sayının kesirli bölümleri olasılık namına kullanılır. Bir bireyin muhtemel kopya sayısı 1.25 olduğunu varsayalım bu bireyin bir kopyası alınırken ikinci kez kopyasının alınması ihtimali %25 dir. Rasgele evrensel seçim yöntemi, rulet tekerleği seçim mantığını anımsatmaktadır. Ancak rasgele evrensel seçimde tekerleğin dış tarafı da eşit şekilde bölünmektedir ve yığının genişliği kaç

parçaya bölüneceğini belirler. Bu seçimde tekerlek bir defa çevrilir ve bir bireyin kopya sayısı tekerin dış bölümündeki parça sayısı ile tespit edilir (Elmas, 2011, s. 393).

1.5.1.1.4. Sabit Durum Seçim Yöntemi

Bu yönteme göre bir birey diğer birçok nesil yaşama devam edebilir. Başka bir ifadeyle hem seçim hem de yer değiştirme işlemleri yapan bir yöntemdir. Seçim işleminde hangi bireylerin çoğalacağını belirler ve elde edilen yavru bireyler yığına eklenir. Yığın genişliği değişmeyeceğinden yavru bireyler ile diğer bireyler yer değiştirirler. Yer değiştirecek bireyler, yöntemin yer değiştirme işlemiyle belirlenmektedir.

GA'da evrimde olanın tersine, bir yığında bulunan bireyler arasındaki mücadele seviyesini düzenleme ihtimali bulunmaktadır. Algoritma performansının istenilen sonuca ulaşması için yapılmalıdır. Bu düzenlemeye “uyum ölçeklemesi” adı verilmektedir. Yığın genişliği küçük olan genetik algoritma uygulamalarında genellikle kopya sayısının düzenlenmesi önemlidir. Bazı GA uygulamalarında başlarda ilginç çözümler bulunabilir ve bu olağan bir durumdur. Bulunan çözümde bahsedilen seçim yöntemleri kullanılabilse, bireyler yığının büyük bir bölümüne ulaşabilirler ve bu da “erken yakınsamaya (premature convergence)” neden olabilir.

Bunun yanında ileriki nesillerde de farklı sorunlar ortaya çıkabilir. Başka bir ifadeyle yığının ortalama uygunluk değeri ile yığının en iyi çözümün uygunluk değerinin yakın olması ve bunun devam etmesi durumunda ortalama bireylerle en iyi bireyler ileriki nesilde eşit sayıda kopyaya sahip olmalarına neden olur. Arama rastgele bir aramaya dönüşür. Uyum ölçeklemesi bu iki sorunun çözümü için kullanılır. Doğrusal ölçekleme, sigma ölçekleme ve üst kuralı ölçekleme yöntemleri kullanılmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009, s. 47-48)

1.5.1.1.5. Sıralı Seçim Yöntemi

Yığında bulunan bireylerin hepsi uygunluk değerlerine göre 1'den N sayısına kadar artan olarak sıralanır. Sıralanan bireylerin tamamı için doğrusal bir uygunluk fonksiyonu belirlenir. Üreme işlemi sonuncunda en kötü bireylerin kopyası oluşmazken en iyi bireylerden ikişer kopya oluşturulur. Bu yöntemde ölçeklendirme kullanılmaz. Bu

sayede oluşacak sorunlar engellenerek arama hızını artırır. Sıralı seçim yönteminin bu özelliği diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğunu gösterir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 48).

Sıralı seçim yöntemine göre, var olan yığındaki bir birey, sıralı yığındaki sırasıyla orantılı olarak seçilme ihtimaline sahiptir. Böylece, en iyi bireyin, örneğin rulet seçiminde seçilme olasılığı daha fazlaysen, en kötü bireyin bu yöntemde seçilme olasılığı rulet seçiminden daha fazladır. Bu yaklaşımdaki amaç, yakınsamayı yerel minimuma ertelemektir (Xaviera, Santos, Vieira ve Santos, 2013, s. 950).

1.5.2. Çaprazlama (Crossover)

İki dizinin gen yapıları kullanılarak yeni bir dizi oluşturulması esas alınan bu operatöre “Crossover” denilmektedir. Evrenin “crossing over” olayının benzeridir ve bu işlem çoğunlukla dizilerin yapılarındaki özelliklerin takası şeklinde yapılmaktadır (Özkan, 2003, s. 53).

Çaprazlama işleminde ilk olarak dizilerin çaprazlamaya geçiş şansı belirlenir. Daha sonra ikinci adım ise ne çeşit bir çaprazlama işleminin yapılacağıdır. Bir popülasyonda çaprazlama oranı P_c ile ifade edilir ve %50 - %95 aralığında uygulanmaktadır. Bu oran, çaprazlama operatörünün kullanım aralığını gösterir. Her bir popülasyonda, çaprazlama $p_c \cdot N$ tane diziyeye uygulanır (Elmas, 2011, s. 394). Her kuşakta oluşturulan yeni dizinin popülasyon büyüklüğü (pop_b) ve çaprazlama yapılacak dizi sayısı da ($p_c \cdot pop_b$) olarak belirlenmektedir. Çaprazlama oranının büyük olması, ortaya çıkan uygunluk değerinin yanlış olma şansını azaltırken çözüm süresini ise fazlasıyla artırır. Bu oran çözüm alanının kapsamlı şekilde aranmasını etkiler (Aytaç, 2003, s. 11).

Çözüm topluluğunu aramak ve arama işlemini ata dizilerin gen yapılarını mümkün olduğunca koruyarak gerçekleştirmeyi çaprazlama operatörünün amaçları olarak gösterebiliriz. Bunun sebebi, belirtilen ata dizilerin üreme operatörü ile seçilmiş uygunluk değeri güçlü dizi modelleri olmalarıdır. Bu operatör sayesinde uygunluk değeri güçlü diziler elde edilirse oluşturulacak diğer yeni kuşaklar için çaprazlamada dizilerin daha çok kopyası bulunacaktır. Uygunluk değeri güçlü diziler elde edilmediği takdir ise bu dizilerin sonraki kuşağa kadar yaşamları sona erecektir ve dolayısıyla bu diziler üreme operatörü ile seçilmeyecektir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 50).

Çaprazlama işlemi, bireylerin karşılıklı birtakım genlerinin değişimi ile yeni bireyler oluşturulmasıdır. Algoritma uygulamalarına göre kullanılan kodlama yöntemleri değişiklik gösterdiği için farklı çaprazlama yöntemleri vardır (Özkan, 2003, s. 53).

1.5.2.1. Tek Noktalı Çaprazlama Operatörü

Bu operatörde, oluşturulan yeni popülasyondan rastgele iki adet dizi seçilir ve çaprazlama işlemine aktarılır. Dizi uzunluğu L olarak gösterilir ve çaprazlama noktası k tamsayısı rastgele 1 ile L-1 arasından seçilir. Rastgele bir tamsayının seçilmesi, rastgele bir arama yapıldığını ifade etmez. Uzunluğu L olan iki ata diziye, çaprazlama yöntemlerinden en basit olan tek noktalı çaprazlama uyarlandığında, bu diziler aynı gen uzunluğuna sahip olmalıdır. Bu dizi çiftinde çaprazlama noktasından sonra gelen kısımlar yer değiştirir ve yeni iki dizi oluşur. Böylece iki ebeveynden iki yavru dizi elde edilmektedir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 50).

$A1 = 0\ 1\ 1\ 0\ 1$ ve $A2 = 1\ 1\ 0\ 0\ 0$ iki ebeveyn dizi çaprazlama işlemine tabi tutulduğunda;

Rastgele bir çaprazlama noktası belirlenir ve k tamsayısı 4 olarak alınır.

$A1 = 0\ 1\ 1\ 0 / 1$ ve $A2 = 1\ 1\ 0\ 0 / 0$ belirlenen noktaya göre beşinci genler yer değiştirilerek yeni iki yavru dizi oluşturulur.

$A1$ (yeni) = $0\ 1\ 1\ 0\ 0$ ve $A2$ (yeni) = $1\ 1\ 0\ 0\ 1$ çaprazlama sonucu elde edilen yeni dizilerdir.

1.5.2.2. İki Noktalı Çaprazlama Operatörü

Tek noktalı çaprazlama yöntemine benzer olarak ancak çaprazlama noktası iki tane olarak seçilir. Rastgele belirlenen bu noktalar arasındaki genlerin yerleri değiştirilir. Bu operatör 0-1 ikili kodlanmış kromozomlarda kullanılır (Altay, 2007, s. 16).

	1	2	Çaprazlama Noktaları
Dizi 1	0 1 0	1 0 1	1 1
Dizi 2	0 0 1	0 1 0	1 1

Çaprazlama işleminden sonra oluşan yeni diziler;

Dizi 1: 0 1 0 1 1 0 1 1 ve **Dizi 2:** 0 0 1 0 0 1 1 1

1.5.2.3. Çok Noktalı Çaprazlama Operatörü

Çaprazlama noktası rastgele çoklu bölge seçildiğinde iki noktalı çaprazlama operatörün genişletilmiş durumuna çok noktalı çaprazlama operatörü denir. Çaprazlanan iki kromozomun belirlenen 1 ile L-1 aralığındaki çoklu noktalar yer değiştirir ve böylece yeni iki kromozom oluşmaktadır (Taşkın ve Emel, 2009, s. 51; Elmas, 2011, s. 394).

Tablo 1

Çok Noktalı Çaprazlama

1.Ebeveyn 1 0 / 1 1 0 / 0 1 / 0 0 1	1.Yavru 1 0 0 0 0 1 0 1 0
2.Ebeveyn 1 1 / 0 0 0 / 1 1 / 0 1 0	2.Yavru 1 1 1 1 0 1 1 0 0 1

1.5.2.4. Uniform Çaprazlama

Uniform (düzgün) çaprazlama n noktalı çaprazlama operatörlerinin özel uygulaması olarak bilinmektedir. Bu çaprazlama yönteminde bir diziden gen $\frac{1}{2}$ ihtimalle seçilir. Mesela; bir çaprazlama maskesi oluşturulur. (Tablo 2) Çaprazlama maskesindeki değer 1 ise Ebeveyn 1'den, değer 0 olduğunda ise Ebeveyn 2'den alınarak Yavru 1 dizisinin genleri meydana gelir. Diğer dizinin (Yavru 2) genleri tersi durumla oluşturulur; maskede değer 1 ise gen Ebeveyn 2 'den, 0 ise Ebeveyn 1 'den gelmektedir (Sakawa, 2002; Altay, 2007, s. 17).

Tablo 2*Uniform Çaprazlama*

1.Ebeveyn 110000001	Maske 101101101	1.Yavru 100010001
2.Ebeveyn 101110100		2.Yavru 111000100

Eniyileme problemlerinde kullanmak amacıyla, problemin tipine göre n noktalı çaprazlama yöntemlerinden farklı çaprazlama işlemleri de bulunmaktadır. Kısmi planlı, dairesel, pozisyona ve sıraya dayalı çaprazlama yöntemleri olarak gösterilir (Elmas, 2011, s. 394).

1.5.2.4. Kısmi Planlı Çaprazlama (PMX: Partially Matched Crossover)

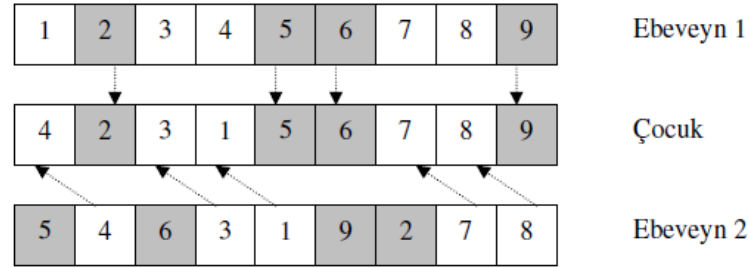
Bu çaprazlama 0-1 ikili kodlanmış kromozomlar dışındaki kodlamalarda uygulanmak üzere, ilk olarak Goldberg ve Lingle tarafından önerilmiştir (Altay, 2007, s. 17). İki kromozomdan rastsal bir bölge seçilir ve bu kısımdaki değerler yer değiştirilir. Daha sonra kromozomda aynı olan değerler seçilen bölgedeki değerler ile doldurulur. İşlem sonunda iki yeni kromozom oluşur (Elmas, 2011, s. 395).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ebeveyn 1	3	5	6	9	2	1	7	8	4	Çocuk 1
5	4	6	9	2	1	7	8	3	Ebeveyn 2	2	9	3	4	5	6	7	8	1	Çocuk 2

Şekil 4. Kısmi Planlı Çaprazlama

1.5.2.5. Pozisyona Dayalı Çaprazlama (Position – Based Crossover - PBX)

İlk kez Syswerda 'nın önerdiği bu çaprazlama yöntemi sıralı tabanlı çaprazlama yöntemine benzemektedir. PMX çaprazlamada, ilk olarak genlerin hangi bireyden alınacağını belirlemek için Ebeveyn 1'den rastgele genler rastgele lokuslardan alınır ve yeni oluşturulacak bireyin aynı lokuslarına yerleştirilir. Ebeveyn 1'den alınarak yeni bireye aktarılan karakter özellikleri Ebeveyn 2 'den silinir. Daha sonra Ebeveyn 2 'deki diğer gen özellikleri sırayla yeni bireye aktarılır. Çaprazlama işlemi sonucunda iki ata bireyden yeni çocuk birey elde edilmiştir (Gen ve Cheng, 1997; Altay, 2007, s. 19).



Şekil 5. Pozisyona Dayalı Çaprazlama

1.5.2.6. Sıraya Dayalı Çaprazlama (Order Crossover - OX)

1980'lerde gezgin satıcı sorunların çözümü için ilk kez Davis tarafından keşfedilmesiyle Oliver ve arkadaşları bu yöntemi geliştirmiştir. OX çaprazlamada, ebeveyn kromozomlarından seçilen çaprazlama noktaları sabit tutularak yavru kromozom oluşturulması amaçlanmıştır. Örneğin; iki ebeveyn bireyden aynı lokuslarda çaprazlama noktaları belirlenir. Ebeveyn 1'in çaprazlama noktasının ikinci kısmından sırayla yerleştirildiğinde; 4 6 8 1 3 5 7 9 2 şeklinde oluşur. Daha sonra Ebeveyn 2'deki çaprazlama noktasındaki gen değerleri (2 6 3) çıkartılır ve bu noktanın ikinci kısmından sonra eklenerek aşağıda gösterilen ikinci yavru birey oluşturulur. Diğer ebeveynin gen yapısına da aynı yöntem uygulanarak birinci yavru birey elde edilir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 53).

Tablo 3

Sıraya Dayalı Çaprazlama

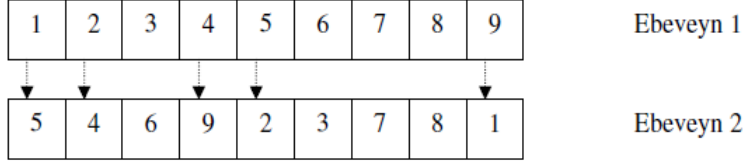
1.Ebeveyn	1 3 5 / 7 9 2 / 4 6 8	1.Yavru	5 6 3 7 9 2 4 8 1
2.Ebeveyn	1 5 9 / 2 6 3 / 7 4 8	2.Yavru	5 7 9 2 6 3 4 8 1

1.5.2.7. Dairesel Çaprazlama (Cycle Crossover - CX)

Sıra temelli olup, dairesel çaprazlama Oliver, Smith ve Holland tarafından ilk kez önerilen bir yöntem olarak bilinmektedir. Yeni yavru bireyin oluşmasında ilk ebeveyn kromozomdan başlayarak seçilen gen değerlerinin diğer ebeveynde aynı geni

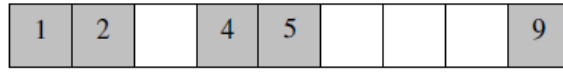
bularak bir döngü oluşturulur. Döngüdeki genler ikinci ebeveynden silinir ve kalan genler sırayla yavru kromozoma aktarılır. Aşağıdaki işlemler adım adım yapılarak yavru kromozom elde edilir (Gen ve Cheng, 1997; Altay, 2007, s. 21).

Adım1: İki ebeveyn arasındaki döngünün oluşturulması

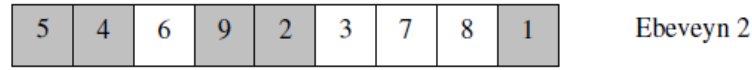


Döngü: 1 ↔ 5 ↔ 2 ↔ 4 ↔ 9 ↔ 1

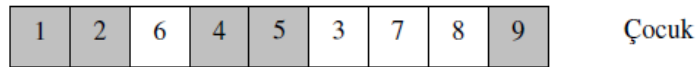
Adım2: Döngüdeki genlerin yerleştirilmesi



Adım3: Döngüdeki genlerin ebeveynden silinmesi



Adım4: Kalan genlerin aktarılmasıyla çocuk kromozom oluşur.



1.5.3. Mutasyon (Mutation)

Genetik algoritma uygulamalarında, mutasyon bir arka plan operatörü olarak bilinir. Mutasyon, alellerin veya yanlışlıkla kaybolan gen değerlerinin tekrardan yüklenmesi işlemini yapmaktadır. Böylelikle genetik kaymayı engeller ve popülasyonda oluşacak yakınsama için rassal bir arama unsuru sağlar (Busetti, 2000, s. 80).

Yeni nesil oluşumu sadece çaprazlama bazında tanımlandığında, popülasyondaki bireyler zamanla birbirinin aynısı olarak meydana gelir. Birey türlerinin çoğalması için benzer kullanımda gen mutasyonu mevcuttur. Popülasyonda çeşitlilik sağlanır ve bir Einstein ya da aptal birey oluşturulabilir (Yeo ve Agyei, 1998, s. 272).

Mutasyon operatörünün yöntemi, popülasyondaki bireylerin gen yapılarında bir veya daha fazlasında rastgele değişiklikler yaparak yeni bireyler oluşturmaktır. Üretim ve Çaprazlama operatörlerinin performansının yüksek olmasının yanında, önemli genetik niteliklerin kaybolma ihtimali yüksek olan bir durum vardır. Bununla birlikte bireyler zamanla birbirlerinin aynısı olma durumuna gelebilir. Yeni bireyler çoğalamaz ve çeşitlilik azalır. Popülasyondaki bireyin çeşitliliğini arttırmak ve kaybolan genetik niteliklerini tekrar oluşturarak küresel uygun olanın elde edilmesi ihtimalini arttırmak, bu operatörün amaçlarındandır. Bu operatörde, gelişigüzel belirlenen bireylerin genlerinin değiştirilmesi işlevi, mutasyon oranına göre yapılmaktadır. Algoritmalarda mutasyonun ikinci dereceden rol oynaması sebebiyle mutasyon oranı olabildiğince düşüktür. Bu oran çok az ise yararlı birçok gen test edilmemiş olur. Ancak bu oran fazla olduğunda yavru bireyin ata bireyelerine benzerliği kaybolur. Bu durum gen nitelikleri güçlü olan kromozomların kaybedilmesi sorununa sebep olur. Kromozomlar mutasyona uğratarak bu sorunlar ortadan kaldırılır (Artaç, 2003, s. 11-12; Öznur ve Korukoğlu, 2003, s. 196).

Mutasyon işlemi tek bir birey üzerinde yapılır. Algoritmada en iyi çözümün bulunması olayında bu operatör bir aşama sonraki çözüm bulma alanının uzağında olabilecek çözümün en iyisini yada kötü olanı da dener. Kötüyü denemesi, bir gen değişimiyle algoritmanın düzelerek hızla iyiye dönmesine neden olabilir. Bu durum sadece mutasyona özgüdür ve böyle hamlelerde her an iyi sonuç elde edilmeyebilir. Zaman kaybı yaşanmaz. Kromozomun bir lokusundaki 0 değerini 1 veya 1 değerini 0 yapar ve bu küçük değişimle bile yeni kromozom ortaya çıkabilir (Şen, 2004, s. 90).

Mutasyonun probleme göre; ters çevirme, yer değişikliği, ekleme ve karşılıklı değişim gibi yöntemleri kullanılmaktadır (Bolat vd., 2004, s. 268; Paksoy, 2007, s. 33).

Mutasyon çeşitlerinden ters çevirme yönteminde, rassal bir nokta belirlenir. Bu nokta aralığında gen değerleri ters çevrilerek anyı lokusa tekrar yerleştirilir. Ancak yer değişikliği yönteminde, belirlenen rassal nokta aralığında değiştirilen değerler rassal olarak yerleştirilir. Diğer iki yöneme bakıldığında; sadece iki gen değerinde değişiklik yapılmaktadır. Karşılıklı değişim işleminde rassal belirlenen iki gen değerleri birbirlerinin yerlerine geçerek değişim gerçekleşir. Ekleme yönteminde değerler rassal yerleştirilir (Bolat vd., 2004, s. 268; Paksoy, 2007, s. 33).

Tablo 4*Mutasyon Çeşitleri*

Mutasyon öncesi seçilen kromozom: [0111000101]			
Mutasyon sonrası oluşan kromozom:			
Ters çevirme	Yer değişikliği	Ekleme	Karşılıklı değişim
[01 001 10101]	[010101 1100]	[01 0 1000101]	[001101 0101]

Yukarıdaki Tablo.4’de mutasyona uğrayacak kromozom ve mutasyon çeşitlerinden sonra oluşan kromozom gösterilmektedir. Mutasyon operatörü, dolayısıyla ikili sayı sisteminde işlenen kodlamalarda sıklıkla kullanılan bir yöntem çeşididir. Bu yöntemde gelişigüzel bir nokta belirlenir ve ikilik sayı sistemindeki 1’ler yerine 0, 0’lar yerine 1 eklenerek değişim gerçekleştirilir (Buckles ve Petry, 1992, s. 2; Paksoy, 2007, s. 33).

Çaprazlama operatörünün devamı mutasyon işlemidir. Belirlenen mutasyon oranına göre bireylerde yapılan gen değişiklikleridir. Mutasyon oranı P_m ve kromozom uzunluğu ℓ olduğuna göre mutasyonun hangi nokta aralığında gen değişimi yapacağı $\ell \cdot P_m$ tamsayı formülü ile açıklanmaktadır. Algoritmanın mutasyon işleminin başında yani her gen değişiminden önce mutasyon oranı belirlenmelidir. N popülasyon büyüklüğü ise popülasyonda kaç tane gende mutasyon işleminin yapıldığını $(P_m \cdot N \cdot \ell)$ formülü gösterir. Bu operatörde, önemli hususlardan birisi mutasyon oranının çok yüksek seçilmemesidir. Aksi durumda algoritmanın arama işleminin rassal olmasını ve toplumdaki farklılaşma oranını istenilmeyecek ölçüde arttıracaktır. Bununla birlikte mutasyon oranının düşük olması da bir problem olacaktır (Şen, 2004, s. 93; Paksoy, 2007, s. 34). Bu problemlerin önlenmesi ve en uygun mutasyon oranı için $1/N \leq P_m$ ve $P_m \geq 1/\ell$ bazı uygulamacılar tarafından önerilir (Yeo ve Agyei, s. 273; Paksoy, 2007, s. 34).

Mutasyon operatöründe iki önemli nokta değişim çeşitleri ve oranıdır. Bir kromozomun genindeki bir değer değiştirilmesi değişecek karşı değer %50 değişimidir. Gen uzunluğu λ olan bir kromozomun mutasyon sonucu değişimi aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$E(G) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{1}{2^i}$$

Bu formüle göre hesaplama yaptığımızda mesela (gen uzunluğu) $\lambda = 4$ olan bir kromozomun 0.25 oranının kullanılmasıyla mutasyon sonucu değişim; $E(G) = 1/4(0.5+0.25+0.125+0.0675) = 0.23563$ olarak belirlenir. Mutasyonda iki gen değeri değişim sonucu; gen uzunluğu 8 bit olan bir kromozomda $E(G) = 1/8(0.5+0.25+0.125+0.0675+\dots+0.00390625)=0.24902$ olur. Mutasyon örneklerine göre; bir genin uzunluğuna bağlı kalınarak değer değiştirmesi değişim sonucunda büyük bir değişiklik oluşturmaz ve mutasyon oranının seçimine dikkat edilmelidir. Bu oranın 0.01 ile 0.001 aralığında belirlendiği görülmektedir (Şen, 2004, s. 91).

Çaprazlama ve mutasyon operatörlerinden sonra tamir operatörü diğer adıyla düzenleyici algoritma sorunların tipine göre özel geliştirilmiş bir algoritmadır. Düzenleyici – tamir adından anlaşıldığı üzere uygun olmayan kromozomları uygun hale getirir. Bu operatörün amacı, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra kromozomdaki değerlerin kaybolması veya değerlerin fazla olması sorunlarını önlemektir. Elitizm (en iyinin saklanması) yöntemi, popülasyondaki en iyi kromozomun alınarak gen yapılarını değiştirmeden yeni popülasyonuna aktarır. Popülasyonda çözümü en iyi olan kromozom yeni kuşağa eklenir (Elmas, 2011, s. 398).

1.6. Genetik Algotirma Veri Yapısı

GA ile bir problem çözmek için adımların belirlenmesi gerekmektedir. Uygulama öncesi hazırlık olan adımlar şunlardır:

1. Problemin ne olduğu ve onunla ilgili detaylı ön veriler, sözel ve sayısal değerler toplanmalıdır,
2. Genetik Algoritma ile çözülmeye çalışılan probleme ait parametrelerin dizi yapılarını belirlemek ve verileri hazırlamak,
3. Karar parametrelerinden dizilere geçebilmek için gerekli hazırlıkları yapmak,
4. Problemlerle ilgili amaç fonksiyonunun karar parametrelerine ait çözümü bulmak ve
5. Amaç fonksiyonundan her bir dizi grubuna denk gelen derecelerin hesaplanmasında kullanılan döngünün belirlenmesidir.

Bu hazırlık aşamalarında seri ya da paralel biçimde çalışmalar yapılır. Bu çalışmalarda bulunabilen ne kadar çok veri varsa toplanır. Eldeki verilerin birbirleri ile ilişkileri akıl, mantık ve kolay yerel yöntemlerle belirlenmeye çalışılır.

GA uygulamalarında kullanılan ikilik sayı sisteminin algoritmayı kullanan kişi tarafından anlaşılan ondalık sayı sistemine çevirmek için sayısal dönüştürücü kullanılır.

Algoritmadaki aynı parametreler için olmasına rağmen hedef fonksiyon ile dinçlik fonksiyon değerleri farklıdır. Uygunluk değeri, amaç fonksiyonundan ölçekleme ya da artan-azalan işlemleriyle hesaplanır. Amaç fonksiyonunda değerler negatif sayılar olduğu zaman dinçlik fonksiyonu değerleri daima pozitif sayılara eşittir. Ancak amaç fonksiyonu değerleri pozitif ise dinçlik fonksiyonuna gerek yoktur (Şen, 2004, s. 29-30).

1.7. Genetik Algoritma Parametre Seçimi

GA'larda mutasyon oranı ve toplum büyüklüğü seçimi rassal olmakla birlikte birçok seçenek mevcuttur. Çaprazlama ve mutasyon operatör çeşitleri, kromozomların yaşlanması, gri kodlama seçeneklerini tek tek denemek zor olduğundan 1975 yıllarında De Jong'un yaptığı denemeler sonrasında en iyi parametre seçimi için iki tane kriter belirlemiştir. Birincisi, ilk nesil ile son nesil arasındaki zamanda tüm neslin uygunluk değeridir. İkincisi, rastgele bir çözüm neslindeki en iyi uygunluk değerini belirlemektir (Şen, 2004, s. 100).

Parametre seçimi, GA'nın performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bunlara, kontrol parametreleri de denilmektedir. Algoritmanın parametre kuralları şunlardır (Taşkın ve Emel, 2009, s. 71):

- Problemin türüne göre bir kodlama yapılmalıdır.
- Popülasyon, en uyumlu gen değerlerinin kullanılmasını sağlayacak genişlikte olmalıdır.
- Üreme operatörü, gen değerlerinin artmasına yönelik belirlenmelidir.
- Arama operatörleri, gen değerlerinin uyumlu birleşimine göre yapılmalıdır.

1.7.1. Gen Büyüklüğü

Bir GA'da çözüme ulaşma süresi ve çözüm başarısı genlerin büyüklüğüne bağlıdır. Ondalık sayılarda herbir desimal basamak, gende 3,3 değerine karşılık gelirse 8 basamaklı bir doğruluk istenirse bir değişken genin $8 \times 3,3 = 26,4$ yani 27 basamak olması

gerekir. Değişken genin 10 adet olduğunu varsayarsak kromozomun uzunluğu $27 \times 10 = 270$ basamak olacaktır. Sonuç olarak önemli olan ilk önce problemin çözümünde elde edilecek doğruluk derecesinin ne ölçüde olmasıdır (Şen, 2004, s. 100-101).

1.7.2. Popülasyon Büyüklüğü

Genetik alırtmada soruna çözüm bulmak için yapılması gereken önemli adımlardan biri de popülasyon büyüklüğünün belirlenmesidir. 1985 yıllarında David E. Goldberg, sadece kromozom uzunluğuna bağılı bir yöntem sunmuştur. Daha sonrasında Schaffer ve arkadaşlarının yaptığı araştırmalar sonucunda toplum büyüklüğünün kromozom uzunluğuna yakın bir değer olması kararına ulaşılmıştır. Buna örnek olarak; kromozom uzunluğu 30 olan bir topluluğun büyüklüğü 30-50 değerler aralığında olması tercih edilmektedir. Eğer kromozom uzunluğu 200 ise toplum büyüklüğü 100-200 aralığında olmalıdır (Taşkın ve Emel, 2009, s. 72).

Popülasyon büyüklüğü bir kuşaktaki kromozom sayısıdır. Kromozom sayısının artması, gen özelliklerinin çeşitliğinin artırır ve birçok yeni kromozomların meydana gelmesini sağlar. Kromozom sayısındaki artış olması gereken sınırı geçtiğinde genetik özelliklerde benzerlik meydana gelecektir. Çözüm süresini uzatarak yöntemi yavaşlatacaktır (Akca, 2005, s. 15). Popülasyon büyüklüğü küçük olan bir algoritma olması gereken çözüm alanına ulaşamadığı için kısa sürede sonuçlanır. Ancak popülasyonu büyük olan alırtmada en iyi çözüm için çok zaman harcar. Bu duruma bakıldığında popülasyon büyüklüğü fazla olan alırtmaların daha iyi çözüme ulaşılacağı görülmektedir. Popülasyon büyüklüğü problemin çözümlenmesine göre tasarlanmalıdır (Şen, 2004, s. 101).

1.7.3. Çoğalma Parametresi

Üretim operatörü ile en iyi uygunluk değeri olan çözümlerin bir kopyası alınarak, uygunluk değeri düşük olanlar silinir. Yapılan işlemler seçim basıncı (selection pressure) adında bir parametre ile ifade edilir. Seçim basıncı, üreme sonunda en iyi çözüme ait kopya sayısını göstermektedir. Eğer üreme operatörünün seçim basıncı

büyük ise, bulunan en iyi çözümün fazla kopyası olacaktır. Bu durumda topluluğun çeşitliliğinin kaybolmasına neden olacaktır (Taşkın ve Emel, 2009, s. 73).

Tablo 5

Çoğalma Operatörü / Seçim Basıncı

Çoğalma Operatörü	Seçim Basıncı
Oransal Operatör (rulet tekerleği yöntemi)	$F_{\max} / f_{\text{ort}}$
Turnuva Seçimi	2

1.7.4. Çaprazlama Olasılığı

Popülasyonda bulunan uygunluk değeri en iyi kromozomların niteliklerinin birleşimiyle uygunluk değeri daha iyi kromozomlar elde etmek için çaprazlama yöntemi kullanılır. Bu işlem için ata kromozomlar çaprazlama olasılığına göre belirlenir. Çaprazlama operatör çeşitlerinin bir arama gücü vardır ve arama gücü (search power) ile ifade edilir. Arama gücü, kromozom uzunluğu L olan bir ata kromozoma çaprazlama işlemi yapıldığında elde edilen arama uzayı oranıdır. Aşağıdaki tabloya bakıldığında düzgün çaprazlama operatörünün arama gücü daha yüksektir ve bu operatör ile elde edilen gen yapılarının korunması ihtimali olabildiğince azdır. Bu arama gücü çaprazlama olasılığı adında bir parametre ile denetlenir. GA'nın performansının yüksek olması için arama gücü ile seçim basıncı değerlerinin arasında bir denge olması gerekmektedir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 74).

Tablo 6

Çaprazlama Operatörü / Arama Gücü

Çaprazlama Operatörü	Arama Gücü
Tek noktalı çaprazlama operatörü	$(1-1) / 2^{L-1}$
İki noktalı çaprazlama operatörü	$((1-1)/2) / 2^{L-1}$
Düzgün noktalı çaprazlama operatörü	1,00

1.7.5. Seçim Stratejisi

GA'da yeni nesil oluşturmak için birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden birisi nesilsel stratejidir. Aktif popülasyonda bulunan kromozomlar ile çocuk kromozomlar yer değiştirir ve en iyi kromozomda yer değiştirdiği için sonraki oluşan yeni nesile aktarılmaz. Böylelikle nesilsel strateji elitist stratejiyle birlikte kullanılır. Elitist stratejisinde en iyi kromozom yeni nesle aktarılır ve kromozom asla yenilenmez. Diğer yöntemlerden birisi de denge durumu stratejisidir. Bu stratejide, yeni kromozomlar popülasyona eklenir ve her nesilde en kötü kromozomlardan birkaç tanesi yenilenir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 79-80).

1.7.6. Uyum Ölçeklemesi

Doğrusal ölçekleme ve üstsel ölçekleme yöntemleri vardır. Problem türüne göre ölçekleme yöntemlerinin seçilmesi algoritmanın aktif işlemesi bakımından önemlidir. Genetik algoritmanın aktif olması, algoritmanın parametrelerine ve aralarındaki etkileşime bağlıdır. Problemlerin çözümünde uyumlu parametre değerlerinin bilinmesi algoritma performansını etkilemektedir (Taşkın ve Emel, 2009, s. 80-81).

1.7.7. Genetik Algoritmanın Sonlandırma Koşulu

GA'nın çalışması evrim sürecine benzediği için yineleme sayısı ve çözüme ulaşma kesin bilinmemektedir. Algoritmada iterasyon (jenerasyon) sayısı hedeflenen en iyi çözüme yaklaşıncaya kadar devam eder. Sonlandırma koşullarından birisi iterasyon sayısıdır. Bu sayı, problemin tipine ve çözüm alanına göre belirlenir. Jenerasyonlarda sonuçların aynı olmaya başladığı durum, dizilerin uygunluk değerlerinin (i ve j 'ler için, $f_i = f_j$ ise) birbirinin benzeri olduğu anlamına gelmektedir. Başka bir ifadeyle uygunluk değerleri yeni ve önceki nesillerde aynı olmaktadır (Paksoy, 2007, s. 35).

GA'nın sonlandırma koşulları;

- seçilen en iyi dizi, istenilen en iyi çözüm elde edildiğinde,
- iterasyon yinelenildiğinde, en iyi dizi aynı kaldığında,
- istenilen sayımlama değerlere ulaşıldığında,
- hedef iterasyon sayısı uygulandığında,
- jenerasyonda herhangi bir değişiklik olmadığında,

- optimum değere yaklaşıldığında gibi durumlar sayılabilir. (Haupt ve Haupt, 2004, s. 109; Paksoy, 2007, s. 36).

GA'da kullanılan sonlandırmalardan biri de, arka arkaya çoğalan nesillerin en iyi hedef fonksiyonu sayıları arasında göreceli olarak bir farkın olmamasıdır. Hedef fonksiyon verileri H_1 ve H_2 olan bir neslin bağıl hata değeri (α) şu şekilde hesaplanır:

$$\alpha = 100 \frac{|H_1 - H_2|}{H_2}$$

Örneğin, α değerinin 5'den küçük olması istendiği durumda $\alpha < 5$ ise GA'nın işlevi biter. Aksi durumda algoritmanın parametrelerinde değişiklikler yapılarak farklı çözüm yolları elde edilmeye çalışılır (Şen, 2004, s. 93).

1.8. Genetik Algoritmanın Avantajları Ve Dezavantajları

Basit yöntemlerle çözülmesi zor olan problemlerde tercih edilen GA'ya ait bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Çözüm alanının çok geniş olması
- Birden fazla optimum değerleri
- Hedef fonksiyon değerinin türevinin alınamaması
- Hedef fonksiyondaki devamsızlık
- Dataların lineer olmaması
- Datalardaki hata payı
- Dataların kararsız olması

Bu özellikler ve genetik operatörlerin (üretim, çaprazlama, mutasyon) kullanılması GA'nın güçlü bir uygulama olduğunu göstermektedir. Bunun yanında genetik operatörlerin rassal olarak işlenmesi çözümün minimum değerde olma olasılığını azaltmaktadır. Genetik operatörler doğrudan ve dolaylı paralellik içerir. Bu işlemlerin aynı zamanda tüm topluma uygulanmasına doğrudan paralellik denilmektedir. Hedef fonksiyonda dizinin niteliklerinin tamamının aynı zamanda değerlendirilmesine de dolaylı paralellik denilmektedir. GA paralellik özelliği sayesinde çözüme ulaşmada uzayın her bölümüne uygulanır ve performans artar. Böylece problemin en iyi çözümüne daha hızlı ulaşılmaktadır (Genel, 2004, s. 33).

Genetik algoritmanın verimli ve başarılı olmasında genetik operatörler gibi kodlama yöntemleri, parametre seçimleri de önemli yere sahiptirler. Uygulamalarda genetik algoritmanın avantajları; devamlı ya da fazla sayıda değişkeni olan problemlere uygulanabilmesi, ikinci bir veriye ihtiyacın olmaması, aynı anda çözüm alanındaki her bölgeye ulaşabilmesi, kodlanan kromozomların optimizasyon edilmesi, üretilen çözümlerle fonksiyonlar ile çalışması vb olarak sayılabilir (Paksoy, 2007, s. 41).

Genetik algoritmanın avantajlarının yanında dezavantajları da mevcuttur. Dezavantajlarından birisi, tekrarlamalı veya karmaşık değişkenler içeren problemlerde optimuma yaklaşık bir sonucun bulunmasıdır. Devamlı değişkenin yakın değerine kodlanması neden olarak gösterilebilir. Algoritmada fonksiyonların tekrarlamalı hesaplanması ve belirlenen çözümlerin içinden en iyi çözümün seçilmesi yani bağlı olması GA'nın dezavantajları arasındadır (Şen, 2004, s. 63; Paksoy, 2007, s. 42).

BÖLÜM II

UYARLAMALI BULANIK YAPAY SİNİR AĞLARI (ANFIS)

2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, matematiğin gerçek dünyaya uyarlanması olarak tanımlanabilir. Makinelere, insanlara özgü bilgileri ekleyebilme ve onların tecrübelerini kullanarak çalışabilme özelliği sağlar. Bu işlem için sayısal değil sözel ifadeler kullanılmaktadır ve bunların makinelere eklenmesi matematiksel bir yapıya bağlıdır. Bu yapı bulanık küme teorisi olan bulanık mantıktır. Bulanık mantık, klasik mantıkta olduğu gibi (0,1) iki derece yerine, [0,1] aralığında çok dereceli işlemleri göstermektedir (Elmas, 2011, s. 185-186).

Klasik mantık teorisine göre, hayatta her olay belirsizlik ve varsayımlar kümesinden oluşmaktadır. Bir varsayımın sonucu evet ya da hayır olarak tanımlanır. Üçüncü bir varsayımın olmaması temeline dayanan bu mantık, aristoteles mantığı, ikili mantık, klasik mantık, siyah ve beyaz mantığı isimleriyle de adlandırılmaktadır. Varsayımlar doğruysa 1, yanlışsa 0 değerleri ile gösterilmektedir. Klasik mantığa seçenek olarak ortaya çıkan bulanık mantığa göre varsayımların doğruluk veya yanlışlık dereceleri bulunmaktadır (Zadeh, 1968; Rençber, 2017, s. 70; Elmas, 2011, s. 186).

Bulanık mantık, 1965 yılında California Berkeley'de Lotfi Aliasker Zadeh tarafından önerilmiştir. Başarılı uygulamalarıyla, başta Uzak Doğu olmak üzere tüm dünyada kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Bulanık kümeler, bir varlığın kümeye ait olmasında gereken niteliklerin olmadığı, eksik açıklanmış varlıklar topluluğudur. Bulanık Küme Teorisi, belirsizliğin giderilmesinde ihtimallerle basit ve sanal yapıların geliştirilmesiyle kompleks düzeneklerin çözümlenmesi için kullanılmaktadır. Belirlenen kısıtlamalara göre seçeneklerin değerlendirilerek sistemin eniyileme işleminin yanında, yeni seçeneklerin gelişmesine de katkı sağlamaktadır. Bulanık mantık, değişmez noktaları olmayan sorunlara açıklama ve çözüm getirmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Uygulama alanları kapsamlı olan, her durumun derecelendirme sorunu olduğunu

gösteren bulanık küme teorisi temelli matematiksel bir yöntemdir (Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 5; Elmas, 2011, s. 186). Günümüzde yaşantımızda etkisi olan teknolojik ve bilimsel konularda kullanılmaktadır (Türksen, 2015, s. 19; Rençber, 2017, s. 70).

Zadeh, insan düşüncesinin kesinlik değil az açık, az kapalı, ılık gibi bulanık ifadeler içerdiğini belirtmiştir. Bulanık mantık kesinliği bilinmeyen veya yetersiz girilen verilere göre işlem yapabilme özelliğine sahiptir (Elmas, 2011, s. 186).

Zadeh'e göre bir üyenin bir topluluğa ait olup olmadığı en az üç değişik varsayımlarla belirtilir (Zadeh, 1965; Rençber, 2017, s. 70). Örnek olarak, bir kişinin kısa veya uzun olması durumunda çok kısa, kısa, orta, uzun ve çok uzun gibi beş farklı değerlendirme yapılabilir. Bulanık mantık çok değerli kümeyi (0,1) arasındaki sayılar ile ifade etmektedir. Bir üyenin bir topluma ait olma derecesi 0 ile 1 aralığında belirlenir. Üyelik fonksiyonları ile üyelik dereceleri bulunur (Rençber, 2017, s. 70-71; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 5).

2.1. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

Bir kümede üyelik seviyeleri arasındaki geçiş hafif ve devamlı bir biçimde olur. Klasik mantıkta seviye değeri $\mu_A = E \rightarrow \{0,1\}$ iken, bulanık mantıkta $\mu_A = E \rightarrow [0,1]$ değerleri aralığında gösterilir. Genellikle kümedeki üyelik seviyelerinin değişim eğrisine üyelik fonksiyonu denilir (Baykal ve Beyan, 2004, s. 76; Kalaycı, 2015, s. 41; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 24).

Üyeleri x olan A kümesinin evrensel kümesinin U olduğunu düşünelim. Bu kümenin μ_A fonksiyonu şu şekildedir.

$$A: X \rightarrow [0,1]$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } x \in A \text{ ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Eğer kümenin üyelik seviyesi $[0,1]$ aralığında sayı olursa, A_1 kümesi Bulanık Küme olur. $\mu_A(x)$ 1 değerine yaklaştıkça x 'in A_1 kümesindeki üyelik seviyesi yükselirken, 0 değerine yaklaştıkça üyelik seviyesi düşecektir.

$$A^1 \text{ bulanık kümesi; } A^1 = \{x, \mu_{A^1}(x) / x \in A\} \text{ şeklindedir.}$$

Zadeh (1972) göre bulanık küme;

$$A^1 = \mu_{A^1}(x_1)/x_1 + \mu_{A^1}(x_2)/x_2 + \dots + \mu_{A^1}(x_n)/x_n \text{ şeklinde tanımlanmaktadır}$$

(Boz Eravcı, 2016, s. 9; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 24-25).

Mesela, 0 değerine yakın gerçel sayılardan oluşan bir bulanık A kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_A(x) = 1 / (1+x^3)$ şeklinde olduğunda, $\mu(0)=1$ olur ve sonuç olarak 0 değerinin üyelik seviyesine 1 denir. Başka örneklerde; $\mu(1)=0,5$ olduğunda 1 değerinin bulanık kümedeki seviyesi 0,5 olur. $\mu(2)=0,2$ ise 2 değerinin kümedeki üyelik seviyesi 0,2 olur. Bu üyelik seviyesi 1 olan üyeye “öz”, bir alt kümedeyse “dayanak”, 1 veya 0 değerlerinden farklı olan yerlere “geçiş bölgesi” denir (Rençber, 2017, s. 72).

2.1.1. Üyelik Fonksiyon Çeşitleri

Bulanık mantıkta çoğunlukla kullanılan üçgen, yamuk, gaussian ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları olmak üzere 4 çeşittir. Üyelik fonksiyon çeşitleri matematiksel ifadeler içermektedir (Kalaycı, 2015, s. 44-45).

Üçgen Üyelik Fonksiyonu: Bu fonksiyon tipi üç parametre içerir ve

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } (a_3 - x)/(a_3 - a_2) \\ x > a_3 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad \text{şeklinde tanımlanır.}$$

Yamuk (trapezoidal) Üyelik Fonksiyonu: Bu fonksiyon tipi a_1, a_2, a_3 ve a_4 olan dört çeşit parametre içermektedir ve fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} a_1 \leq x \leq a_2 \text{ ise } (x - a_1)/(a_2 - a_1) \\ a_2 \leq x \leq a_3 \text{ ise } 1 \\ a_3 \leq x \leq a_4 \text{ ise } (a_4 - x)/(a_4 - a_3) \\ x > a_4 \text{ veya } x < a_1 \text{ ise } 0 \end{cases}$$

Gaussian Üyelik Fonksiyonu: Bu fonksiyonda m ve σ parametrelerini kullanmaktadır. Fonksiyonun merkezi m ile, fonksiyon genişliği ise σ ifadeleri ile gösterilir. Fonksiyonun değeri, σ parametresinin değişimine göre farklılık gösterir. Gaussian üyelik fonksiyonu

$$\mu_A(x; m, \sigma) = \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \text{şeklinde tanımlanır.}$$

Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonu: Bu fonksiyon tipi a_1 , a_2 ve a_3 olmak üzere üç çeşit değişkenler içermektedir. Bu fonksiyon

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \left\{ \frac{1}{1 + \left| \frac{x-a_3}{a_1} \right|^{a_2}} \right\}$$

şeklinde tanımlanır.

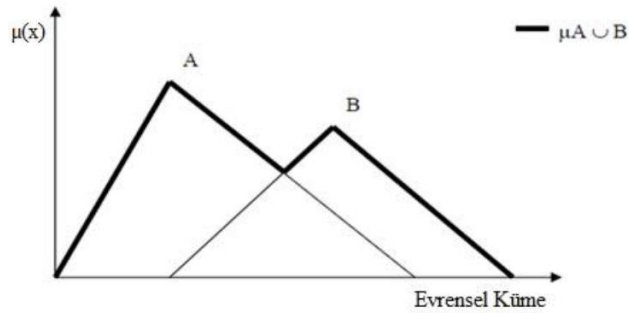
2.1.2. Bulanık Küme İşlemleri

Klasik küme mantığı, üyenin kesin kümeye ait olması veya olmamasına göre gerçekleşmektedir. Klasik kümelerde yapılan birleşim, kesişim, tümlene, kartezyen işlemlerinin aynısı bulanık kümelerde de yapılır (Rençber, 2017, s. 75). A^1 ve B^1 bulanık kümelere göre;

2.1.2.1. Birleşim (Veya'lama) İşlemi

Bulanık iki kümenin üyelik fonksiyonları $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ olduğunda, birleşimi üyelik fonksiyonlarının en büyük olanını ifade etmektedir (Kasabov, 1998; Boz Eravcı, 2016, s. 11; Elmas, 2011, s. 215-216; Paksoy, Yarıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 37).

$$\mu_{A^1 \cup B^1}(x) = \max(\mu_A^1(x), \mu_B^1(x)), \forall x \in U$$

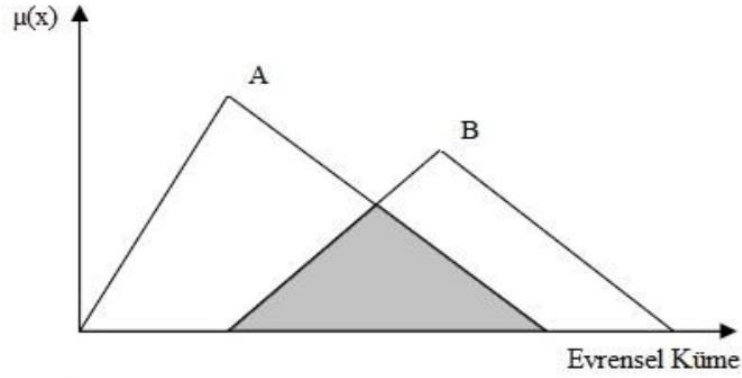


Şekil 6. İki Bulanık Kümenin Birleşimi (Boz Eravcı, 2016, s. 11)

2.1.2.2. Kesişim (Ve'leme)

Bulanık iki kümenin üyelik fonksiyonları $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ olduğunda, kümelerin kesişimi üyelik fonksiyonların en küçük olanını ifade etmektedir (Boz Eravcı, 2016, s. 12; Elmas, 2011, s. 216; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 38).

$$\mu_{A^1 \cap B^1}(x) = \min(\mu_A^1(x), \mu_B^1(x)), \forall x \in U$$



Şekil 7. İki Bulanık Kümenin Kesişimi (Boz Eravcı, 2016, s. 12)

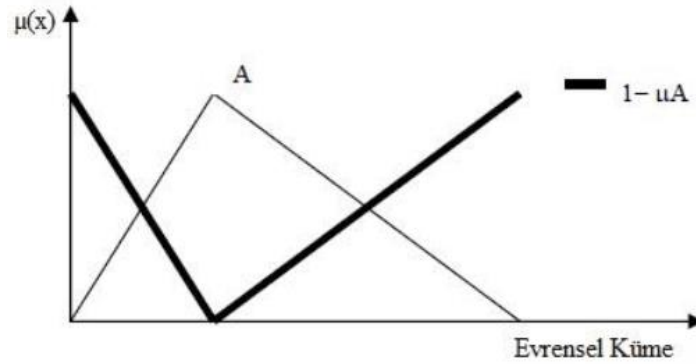
2.1.2.3. Tümlleme (Değilleme) İşlemi

Tümlleme işlemi, klasik mantığa benzemektedir. Bulanık mantıkta ise tümlleyen bir varlığın ya da bir kümenin dışındaki elemanları göstermektedir.

A^1 ve B^1 kümelerin tümlleme işleminin fonksiyonu;

$$\mu_{A^1}(x) = 1 - \mu_B^1(x), \forall x \in U$$

Bu matematiksel ifadeye göre, A^1 ve B^1 bulanık kümeleri tümlleyen olarak adlandırılır ve $B^1 = \hat{A}^c$ ve $\hat{A} = B^{1c}$ simgesel biçimde gösterilir (Boz Eravcı, 2016, s. 12; Elmas, 2011, s. 217; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 39).



Şekil 8. İki Bulanık Kümenin Tümleneni (Boz Eravcı, 2016, s. 12)

Örneğin, rasgele bir elemanın A^1 bulanık kümesindeki üyelik seviyesi 0,8 olsun. Tümleme işlemi yapıldığında üyelik seviyesi 0,2 bulunur (Elmas, 2011, s. 217).

2.1.3. Bulanık Kurallar Ve Bulanık Çıkarım

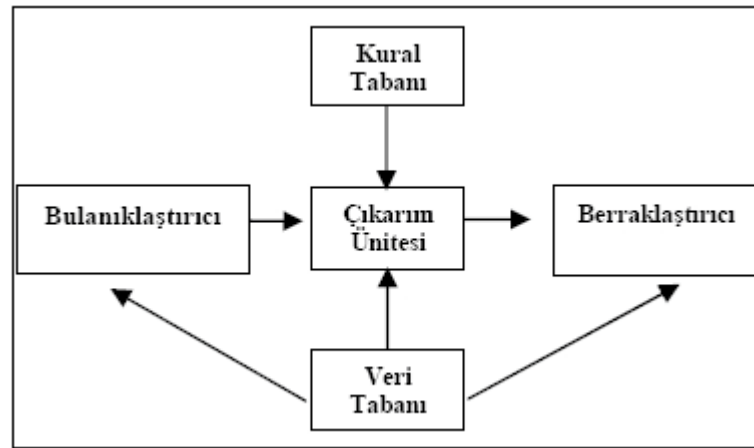
Bulanık kurallar, giriş ve çıkış birimlerinin bağlantısına denilmektedir ve birimlerin dilsel ifadeleri ile gösterilir (Fırat, 2007; Yazar, 2010, s. 45). Dilsel ifadelerin gösterdiği parametrelerin çözümü için dilsel bir kural bulunmaktadır. Problem çözümünde “eğer...ise..” kural kalıbı kullanılmaktadır. Uzmanların belirlediği doğru kural tabanı ile birçok giriş değerler ile tek bir sonuç elde edilir. Karar verme aşamasında denetim birimleri uzmanların belirlediği kurallardan oluşur (Yılmaz ve Ocak, 2008; Boz Eravcı, 2016, s. 30).

Bulanık kurallar için örneğin; bir şahsın araba kullanmasını öğrenmesi durumdaki dilsel ifadelerde; arabayı kullanan şahsa hızın kaç km olduğuna karşın gaza ne kadar basacağı gibi ifadeler yerine, eğitim esnasında;

“EĞER hız düşük İSE gaza fazla bas” ya da “EĞER hız yüksek İSE gaza az bas” gibi ifadelerle kurallar belirlenir.

Bulanık kurallarda yer alan düşük, yüksek, fazla ve az sözcükleri kişilere göre belirli bir sayısal verileri gösterir. Bu sayısal veriler topluluğuna, o sözcüğü temsil eden küme denilmektedir. Bu kümenin bazı verileri diğerlerine göre önemlidir. EĞER ile İSE ifadeleri arasındaki bölüme “öncül kısım” ve İSE’den sonraki bölüme “soncul kısım” denilmektedir (Şen, 2004; Yazar, 2010, s. 46).

Bir bulanık mantık yapısında bulanıklaştırma, kural tabanı oluşturma-değerlendirme ve durulaştırılması işlemleri bulunur (Rençber, 2017, s. 76).



Şekil 9. Bulanık Mantık Genel Yapısı

Bulanık mantıkta ilk olarak kullanılacak parametreler programa tanımlanır ve kesinleşen parametrelerin bulanık sayıya çevrildiği, bulanık mantığın ilk aşaması olan bulanıklaştırma birimine gönderilir. Veri tabanına göre kural tabanı belirlenir. Bu kısımda bulanık mantığın üyelik fonksiyonları ile eğer-ise kuralı oluşturulur ve kişinin düşüncesine benzer biçimde çıkarım birimine gönderilir. Daha sonra berraklaştırıcı (durulaştırma) biriminde kurallara göre oluşan sonuçlar ile gerçek sonuçlar karşılaştırılır ve gerektiği kadar bu döngü devam edebilir. Birçok çeşit berraklaştırma yöntemleri bulunmaktadır ve genellikle en büyük üyelik ilkesi ve kitle merkezi metotları kullanılmaktadır (Alfonso, Sassi ve Barreiros, 2015; Rençber, 2017, s. 77).

Mamdani ve Takagi-Sugeno sıklıkla kullanılan bulanık çıkarım metotlarındandır. Ayrıca bulanık mantık ile yapay sinir ağları bütünleşmesinde çıkarım metotlarından Takagi-Sugeno kullanılır (Rençber, 2017, s. 77).

2.1.3.1.Mamdani Yöntemi

Mamdani yöntemi, insan davranışlarına uyumlu ve kolayca meydana geldiği için çok sık kullanılır. Bulanık mantık yöntemleri, Mamdani yönteminden esinlenilerek meydana gelmiştir (Mamdani and Assilian, 1975; Yazar, 2010, s. 48). Bu yöntemi 1975 de Mamdani ilk kez bir buhar makinesinin denetiminde kullanmıştır. Bu denetimde ortaya çıkan bulanık mantık metodu Mamdani tipi bulanık mantık olarak adlandırılır (Rençber, 2017, s. 78).

Mamdani yöntemi 5 aşamada meydana gelir. Bunlar (Yılmaz ve Arslan, 2005, s. 516; Kalaycı, 2015, s. 54):

- Bulanıklaştırma; öncül kısımda bulunan tüm bulanık sözcükler ile girdi parametrelerin (0,1) aralığında değişebilen üyelik derecelerinin bulunması
- Bulanık mantık fonksiyonları ile kural yapısının oluşturulması
- Bulanık ve-veya işlemleri kullanılarak kuralların değerlendirilmesi
- Kuralların toplanması; her bir kuralın sonucunu gösteren bulanık kümelerin birleşimi
- Durulaştırma; bulanık olan tüm çıktıların kesin çıktılara çevrilmesi işlemi

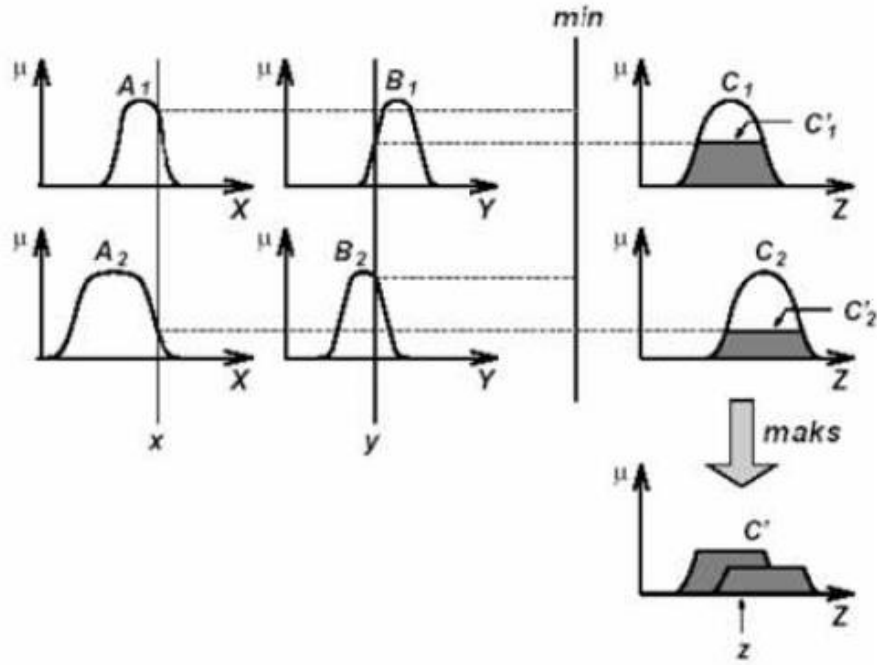
Mamdani yönteminde kural “Eğer $x=a$ ve $y=b$ ise $z=c$ 'dir” şeklindeki ifade ile hesaplanır (Mamdani, 1976; Rençber, 2017, s. 78).

Örneğin bu yöntemine göre, iki kurallı bir modelde girdi değerleri x ve y olan, z sonuç değerinin c_i bulanık küme fonksiyonları ile hesaplanması (Yılmaz ve Arslan, 2005, s. 516; Kalaycı, 2015, s. 54);

Kural 1: Eğer $x = A_1$ VE $y = B_1$ İse $z = C_1$

Kural 2: Eğer $x = A_1$ VE $y = B_1$ İse $z = C_2$

Mamdani tipi bulanık mantıkta bulanıklaştırılan girdi değerlerine daha önce belirlenen kurallar uygulanır. Bu işlemlerde, şartlara göre [ve] olduğunda girdi üyelik değerlerinin en küçüğü [veya] olduğunda ise en büyük değer alınıp, sonuç üyelik fonksiyonunda bu değer altındaki bölüm hesaplanır (Güler, 2006; Yarar, 2010, s. 49).



Şekil 10. Mamdani tipi bulanık çıkarım sistemi (Akyılmaz, 2005; Yazar, 2010, s. 50)

Mamdani yönteminin avantajları;

- Modelin oluşturulması kolaydır.
- Diğer çıkarım yöntemleri bu modelden esinlenerek oluşturulmuştur.
- İnsan davranışlarına ve duygularına uyumludur (Kalaycı, 2015, s. 55).

2.1.3.2. Takagi-Sugeno Yöntemi

İlk defa 1985 yılında kullanılan Takagi-Sugeno yöntemine sadece Sugeno bulanık mantık yöntemi de denilmektedir. Bu yöntem Mamdani yönteminden esinlenilerek üretilmiştir. Bu iki yöntemin işlem yapısı birbirinin aynısıdır, ancak yöntemde elde edilen sonuçlar farklıdır (Yazar, 2010, s. 53).

Sugeno yönteminde sonuç değeri sabit bir sayı veya polinom fonksiyonu olarak tanımlanır. Sonuç değeri sabitse sıfıncı derece, polinom fonksiyonu ise birinci derece Takagi-Sugeno bulanık model denilmektedir. İki modele bakıldığında, Sugeno yöntemi, Mamdani yöntemine göre komplike ve uygulama bakımından daha uygundur (Yılmaz, 2005; Kalaycı, 2015, s. 55). Bu sebeple, Sugeno model uyarlanabilir yöntemlerle kullanılır. Bir birinci (sıfıncı) Sugeno yöntemi;

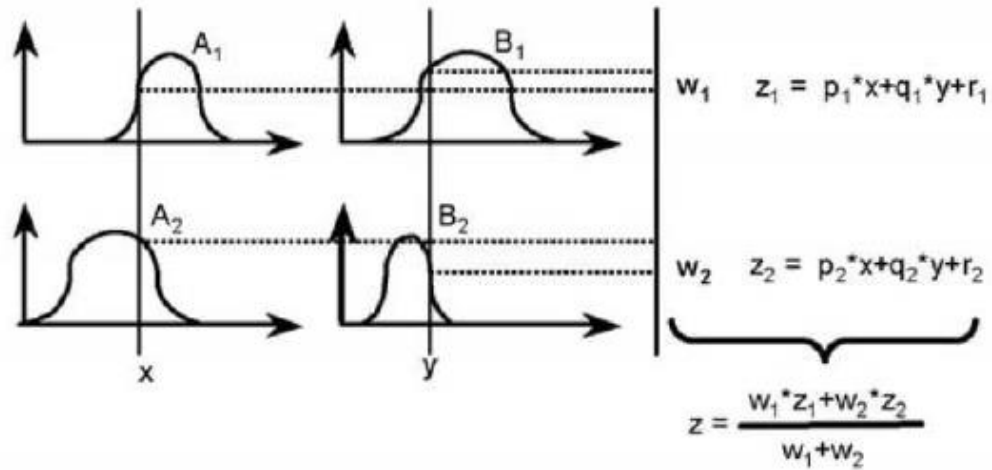
Eğer $x=A$ ve $y=B$, İse $z=f(x,y) = px+qy+r$ (c) şeklindedir.

Modelde x ve y üyelik fonksiyonlarının öncü kısmındaki bulanık kümeleri A ve B olarak tanımlanır. p , q ve $r(c)$ değerleri, soncul değişkenleridir. Bu şekilde oluşturulan her kuralın kendi için bir sonuç sayısı hesaplanır. Bulanık küme mantıksal operatörleri olan 've, veya' kolay toplama ve çarpma işlemidir. Sugeno çıkarım yönteminde, modelin ağırlıklı ortalama sonuç değeri

$$O = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}$$

denklemleri ile elde edilir.

Bu denklemde N kural sayısı ve w_i , i .kuralın ağırlık birimidir. Sugeno çıkarım sisteminde, kural sonuçlarının bulunması aşağıdaki grafikte gösterilir (Yarar, 2010, s. 54).



Şekil 11. Sugeno yöntemiyle kural sonuçlarının bulunması

Takagi-Sugeno yönteminin avantajları;

- Hesaplama işlemi için elverişlidir.
- Lineer teknikler kullanılır.
- Çıktı alanında sürekliliği sağlar.

- Optimizasyon ve uyarlanabilir fonksiyonlar ile çalışır ve çıktı değerlerini optimize edip iyileştirir.
- Matematiksel çözümlere için uyumludur (Anonymous 2010a; Kalaycı, 2015, s. 56).

Sugeno yönteminin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Bunlar:

- Yüksek seviyeli modelleme kullanıldığı zaman model yapısı fazlaca komplike olur.
- Giriş birimlerinin fazla olması verilerin eğitilmesini güçleştirir. Bununla birlikte çıktı değerlerinin bulunması için gerekli olan soncul değişkenlerin miktarı artar.
- İnsan duygularına çok elverişli değildir (Anonymous 2010a; Kalaycı, 2015, s. 56).

2.1.4. Durulaştırma İşlemi

Bulanık kümenin sistemde kullanılması için girdi değeri gibi sayısal değere çevrilmesi işlemine durulaştırma denilir. Durulaştırma ünitesinde, karar verme ünitesindeki bulanık olmayan ve uygulama için gerekli gerçek değerler bulunmaktadır (Elmas, 2011, s. 247). Başka bir ifadeyle, bulanık mantıkta bulanık olan bilgilerin gerçek sonuçlara dönüştürülmesi işlemine durulaştırma denilmektedir (Boz Eravcı, 2016, s. 31).

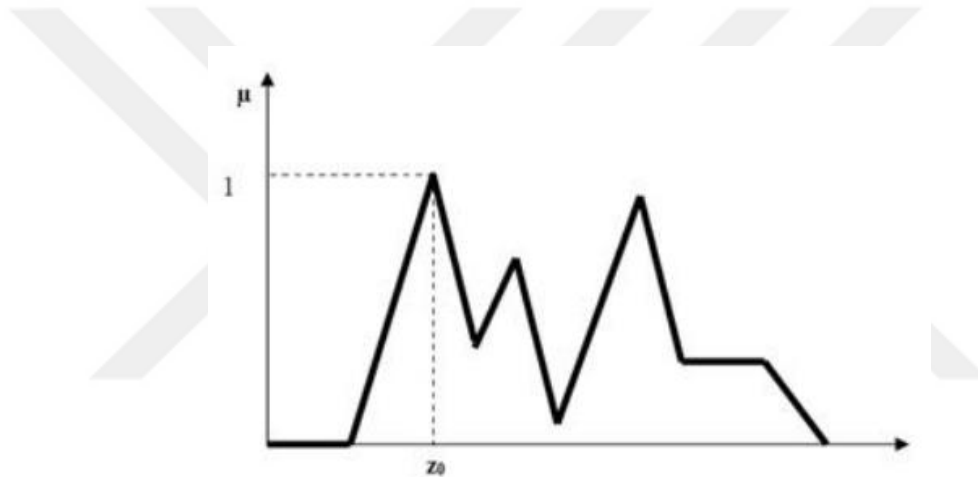
Durulaştırma işleminde birçok çeşit yöntem bulunmaktadır. İlk olarak her bir kural için üyelik fonksiyon değeri ve çıktı kural tabanı saptanır. Sonrasında yöntemlerden uygun olanı seçilip, durulaştırma işlemi yapılır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanlar;

- Maksimum üyelik yöntemi
- Ağırlık merkezi yöntemi,
- Ağırlık ortalaması yöntemi,
- Mean-Max üyelik yöntemi (Elmas, 2011, s. 247-248; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 66).

2.1.4.1. Maksimum Üyelik Yöntemi

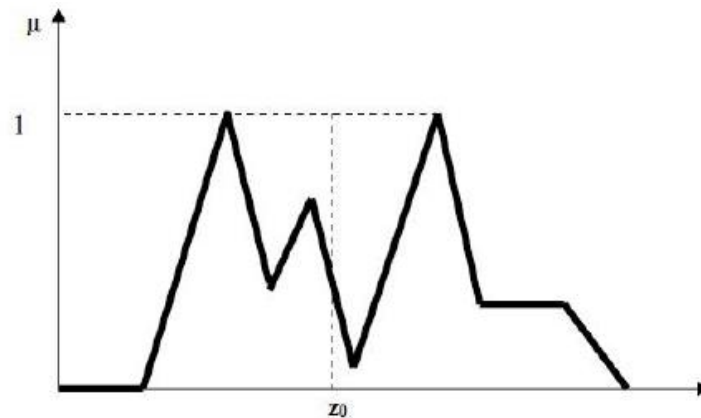
Maksimum üyelik yönteminde, bulanık kümedeki en yüksek üyelik derecesi olan değişkenle işlem yapılmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için tepeleri olan bir bulanık çıkarım kümesi gerekmektedir. Tepeli üyelik fonksiyonu tek olan bulanık çıkarım kümesinde durulaştırma yöntemi, maksimum üyelik yöntemi sayesinde daha kısa zamanda yapılabilir (Paksoy, Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 67). Maksimum üyelik yöntemine, yükseklik yöntemi de denilmektedir. Üyelik derecesi en büyük olan değişkendir. Matematiksel olarak;

$\mu_c(z^*) \geq \mu_c(z) \quad z \in Z$ şeklinde tanımlanır. z üyelik değeri olup, z^* sonuç değerini göstermektedir (Elmas, 2011, s. 248).



Şekil 12. En Büyük Üyelik Derecesi ile Durulaştırma (Boz Eravcı, 2016, s. 31)

Bulanık çıkarım kümesinde üyelik derecesi büyük olan iki ve ikiden fazla olduğu zaman en büyük iki değer in ortalaması uygulamanın üyelik derecesini belirler.



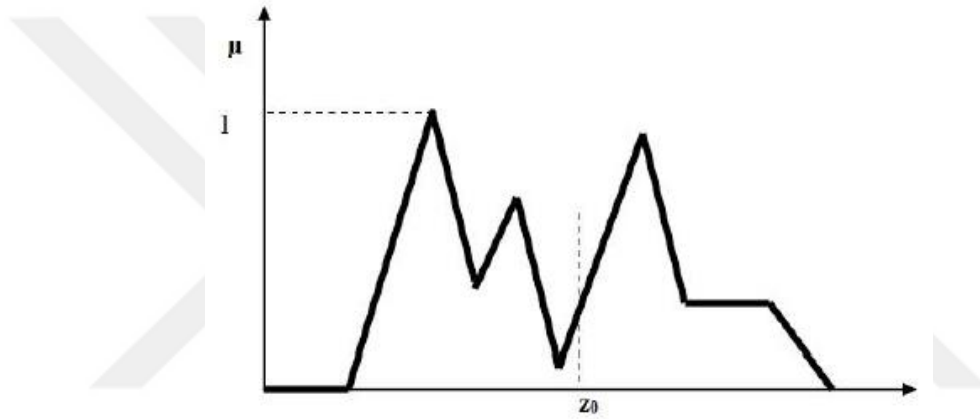
Şekil 13. En Büyük Üyelik Derecesi ile Durulaştırma (İki En Büyük) (Boz Eravcı, 2016, s. 32)

Sugeno tarafından 1985 de geliştirilen ağırlık merkezi yöntemine sentroid yöntemi de denilmektedir. Bu günümüze kadar en çok kullanılan durulaştırma yöntemidir (Paksoy, Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 67).

Ağırlık merkezine dayalı yöntemin formülü;

$$z_0 = \frac{\int \mu(z).zdz}{\int \mu(z)dz}$$

biçiminde ifade edilir (Jager, 1995; M.Mizumoto, 2007; Boz Eravcı, 2016, s. 32).



Şekil 14. Ağırlık Merkezi Yöntemi ile Durulaştırma

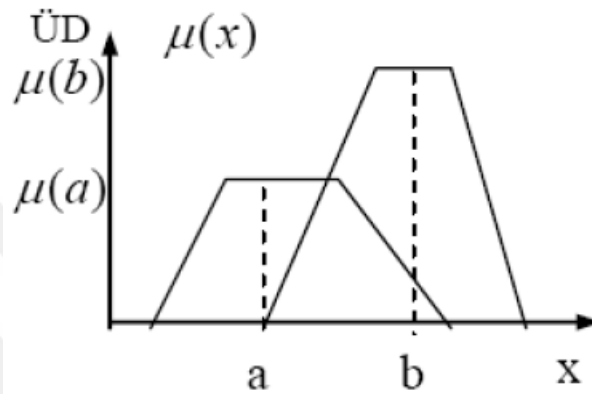
2.1.4.2. Ağırlık Ortalaması Yöntemi

Sonuç değerinin hesaplanabilmesi için birden fazla üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezlerinin ortalamasının bulunması temeline göre çalışır. İki tane yamuk türünde üyelik fonksiyonu varsayalım, bu yöntemle göre iki yamuğun ağırlık merkezinin ortalaması alınıp sonuç değeri elde edilir (Rençber, 2017, s. 79; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 68).

Bu yöntemin uygulanması için simetrik üyelik fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Matematiksel formül aşağıdaki gibidir.

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\zeta}(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_{\zeta}(\bar{z})}$$

Denkleme göre; \sum cebirsel toplam, $\mu_{\zeta}(z)$ üyelik derecesi ve z^* durulaştırılmış sonuç değerini ifade etmektedir (Şen, 2004; Yazar, 2010, s. 51-52; Paksoy, Yapıcı Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 68).



Şekil 15. Ağırlıklı Ortalama Yöntemi (Fırat, 2007; Yazar, 2010, s. 52)

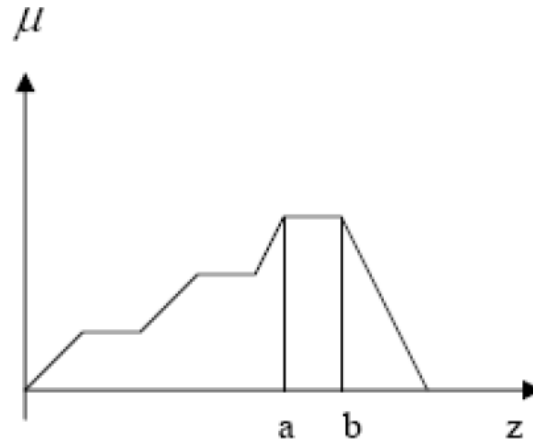
2.1.4.3. Mean-Max Üyelik Yöntemi

Bulanık çıkarım kümesinde tek tepeli üyelik fonksiyon olmayıp birden fazla tepeli üyelik fonksiyonunun bulunduğu düz bölümler için bu yöntem kullanılmaktadır. Mean-max üyelik yönteminde durulama işlemi, en büyük üyelik fonksiyonlarının ortalamasının hesaplanmasıdır. a ve b değişkenleri üyelik fonksiyonu değeri 1'e eşit uç değerleri ifade eder. Mean-max üyelik yönteminin denklemi;

$$z^* = \frac{a+b}{2}$$

şeklindedir (Paksoy, Pehlivan ve Özceylan, 2013, s. 68-69;

Elmas, 2011, s. 250).



Şekil 16. Ortalama En Büyük Üyelik Yöntemi (Şen, 2004; Yazar, 2010, s. 53)

2.2. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Sinirsel Yaklaşım (ANFIS Yöntemi)

Bulanık yöntemler, genellikle giriş birimlerin çıkış birimlerine çevrilmesi için bulanık kümeleri kullanan işlemlerdir. Bulanık mantık sayesinde sayısal değeri olmayan veriler uzman görüşüne göre modele uyarlanabilir, anlaşılması basittir ve yeterli olmayan değişkenlerle çözüme ulaşılabilmektedir. Bulanık mantık kişilerin günlük yaşamlarındaki dili kullanırken, uyarlanabilir bulanık çıkarım yöntemi olan ANFIS yapısı ile giriş ve çıkış değişkenleri kullanılarak model elde edilir (Zadeh, 1995; İşler, 2014, s. 23). Bulanık sinirsel yaklaşımlar, YSA paralel hesaplama ve öğrenme kabiliyetiyle bulanık mantığın uzman görüşünün birleşimiyle sonuçların elde edilmesidir. Sinirsel bulanık yöntemler, yapay sinir ağlarının kolayca anlaşılabilmesine yardımcı olur (Çakıt, 2008, s. 52).

2.2.1. ANFIS Nedir?

ANFIS, bulanık mantık ve sinir ağlarının birleşmesiyle oluşan ve amacı akıllı sistemlerin geliştirilmesi olan özel bir yapıdır. Yapay sinir ağları, düşük dereceli kesin çözümler üreten bir sistemdir. Bulanık mantıkta yüksek dereceli ve dilsel veriler ile çözümler elde edilir. Bulanık sistemlerin öğrenme kabiliyeti yokken, yapay sinir ağlarının vardır ancak anlaşılır değildir (Özçalık ve Uygur, 2003; Çakıt, 2008, s. 51-52; Elmas, 2011, s. 341).

Bu yöntem, uyarlamalı ağların işlevsel olarak bulanık çıkarım sistemidir ve diğer bir adıyla Adaptif (uyarlamalı) Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi olarak

bilinmektedir. Adaptive Networkbased Fuzzy Inference System veya Adaptive Neuro Fuzzy Inference System isimlerindeki kelimelerin ilk harflerinin birleşiminden ANFIS adı elde edilmiştir (Tsoukalas ve Uhrig, 1996; Çakıt, 2008, s. 52).

ANFIS yöntemi, 1993 yılında Jang tarafından geliştirilmiştir. Bu model bulanık çıkarım yapan Sugeno çıkarım yöntemini ve öğrenme algoritması Melez(Hybrid learning) kullanan bir yapıdır (Jang, 1993; Demirel v.d., 2010, s. 602).

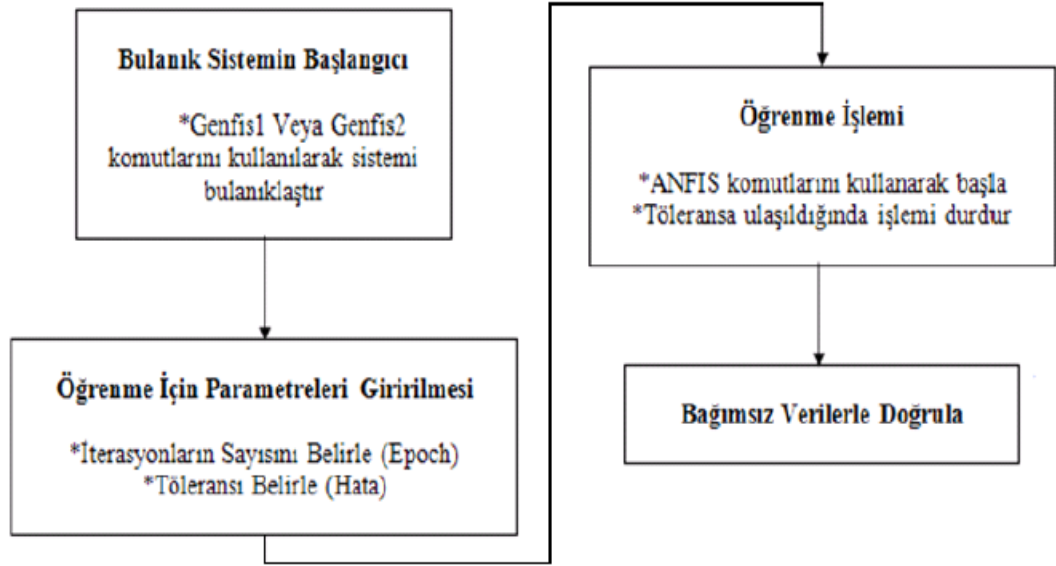
ANFIS yönteminin benzersiz özellikleri mevcuttur; gelişmiş öğrenme kabiliyeti, paralel yönde işlem yapabilmesi, yapılandırılmış bilginin simgesi ve başka denetim dizayn metotlarıyla hızlıca bütünleşmesi gibi özelliklerinden dolayı kullanımı fazlaca tercih edilir (Elmas, 2011, s. 342). Yöntemin temeli, girdi-çıkı birimlerinin bulunduğu veri kümesini kullanarak uygun olan bulanık kural kümesi elde edilir ve sonrasında adaptif nitelikte bir ağ yapısı tarafından uygulama değişkenlerin sistematik şekilde ayarlanması işlemine dayanır (Morova vd., 2014, s. 3).

Bulanık mantık ve YSA metotlarının birlikte kullanıldığı yöntemlerden ANFIS'in dışında FALCON, FuNe, Rulenet, GARIC, NEFCLASS, NEFCON ve NEFPROX gibi uygulamalar bulunmaktadır (Doğan, 2012; Rençber, 2017, s. 81).

ANFIS yalnızca Sugeno bulanık modellere uygulanmaktadır. Mamdani bulanık modellerin ise değişkesi şeklindedir, ancak girdi birimlere aynı işlemler uygulanmaktadır. Farkları ise sonuç değişkenleridir. ANFIS, Matlab yazılımında Fuzzy Logic Toolbox'ın içerisinde bulunan, kullanıcı ara yüzü olan bir fonksiyon dosyasıdır. Diğer bulanık yöntemlerdeki gibi bu yöntemde de değişkenler üyelik fonksiyonlarını belirlemektedir. Değişkenlerdeki değişim ile üyelik fonksiyonları da değişir ve ANFIS kendisi üyelik fonksiyonlarını belirler (Öztürk vd., 2010; Kalaycı, 2015, s. 67; Elmas, 2011, s. 342).

Bu yöntem sadece görev tahmini veya tek sonucu olan doğrusal olmayan fonksiyonların tahmin işlemlerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte modellemede uzman görüşünden yararlanıldığından dolayı hata oranı azalmakta ve en iyi sonuçların ortaya çıkarılması sağlanmaktadır. ANFIS yöntemine giriş ve çıkış verileri aktarılır, bulanık çıkarım modeli oluşturmak için geri yayımlı öğrenme algoritmasını veya en küçük kareler metodunu uygular (Zadeh, 1975; Kalaycı, 2015, s. 67-68). ANFIS yönteminin en önemli özelliklerinden öğrenme algoritması, geri yayımlı öğrenme algoritmasıyla kareler metodunun beraber kullanılmasıyla meydana gelen melez öğrenme algoritması olarak adlandırılır (Çakıt, 2008, s. 53). Kuralların çıktı verileri girdi verilerin doğrusal bir işlevi biçiminde gösterilir. Bu model kontrol, zaman serisi

tahmini, sınıflama, tanıma ve eğri uydurma gibi çeşitli alanlarda uygulandığında başarılı sonuçlar alınmıştır (Kırış, 2008; Kalaycı, 2015, s. 68).



Şekil 17. ANFIS Modelin Temel Akış Diyagramı (Demirel vd., 2010, s. 603)

ANFIS modelin yapısında bulunan bulanık çıkarım yönteminin işlevinin kolayca anlaşılması için iki giriş değişkenleri x ve y , tek çıkış değişkeni f olsun. Sugeno modeli için iki bulanık eğer-ise kural tabanı aşağıdaki gibi gösterilir (Jang, 1993; Kalaycı, 2015, s. 68; Elmas, 2011, s. 342).

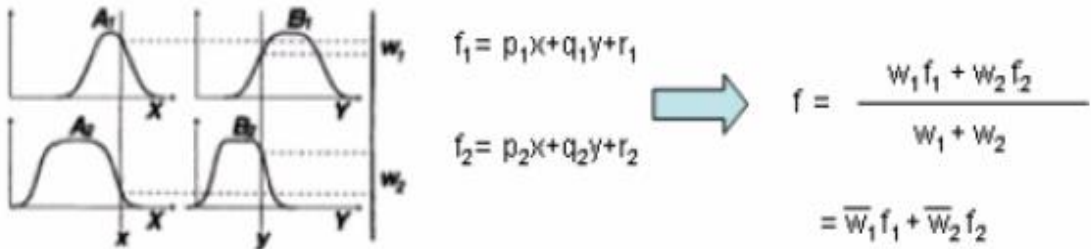
Kural 1: Eğer x , A_1 ve y , B_1 ise $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Kural 2: Eğer x , A_2 ve y , B_2 ise $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

.....

Kural n : Eğer x , A_n ve y , B_n ise $f_n = p_nx + q_ny + r_n$

Kural 1 ve Kural 2 de; x ve y giriş değişkenleri, f_1 ve f_2 çıkış değişkeni, A_i ve B_i bulanık kümeleri, p_i , q_i , r_i sonuç parametreleridir.



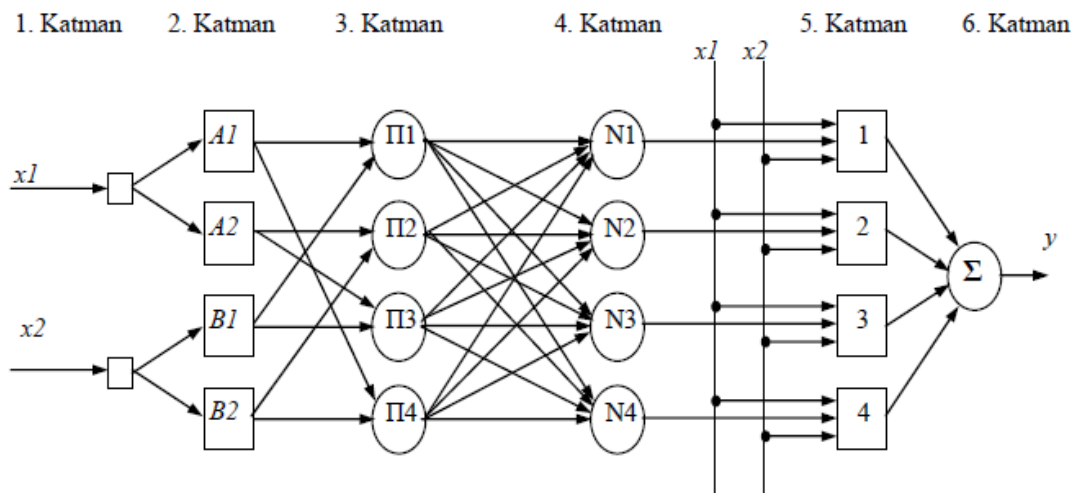
2.2.2 ANFIS Mimarisi

ANFIS ağ yapısı, her biri bir işlem yapmak üzere, katmanlar şeklinde sıralanmış düğümlerin birleşiminden oluşmaktadır. Her katmana ait düğüm işlevi mevcuttur (Tsoukalas ve Uhrig, 1996; Çakıt, 2008, s. 52).

“Eğer-ise” bulanık kural tabanına göre ağ yapısı, girdi olarak bulanık üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma çarpımı, normalleştirme, toplama ve Sugeno tipinde doğrusal çıktı fonksiyonu katmanlarını içermektedir.

Her katmandaki sinirler aynı işlevleri yaparken düğüm şekilleri farklı olanlar değişik işlemler gerçekleştirir. Kare biçimindeki düğümlere adaptif düğümler denilir. Bu düğümlerin değişkenleri ağın eğitimi esnasında belirlenir. Daire düğümleri de sabit düğümler olarak bilinir (Kalaycı, 2015, s. 68-69).

ANFIS mimarisi altı katmandan oluşur.



Şekil 18. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Çakıt, 2008, s. 52)

ANFIS mimarisindeki katmanlara ait düğüm işlevleri ve işleyişi sırasıyla şu şekildedir:

1. Katman (Giriş Katmanı):

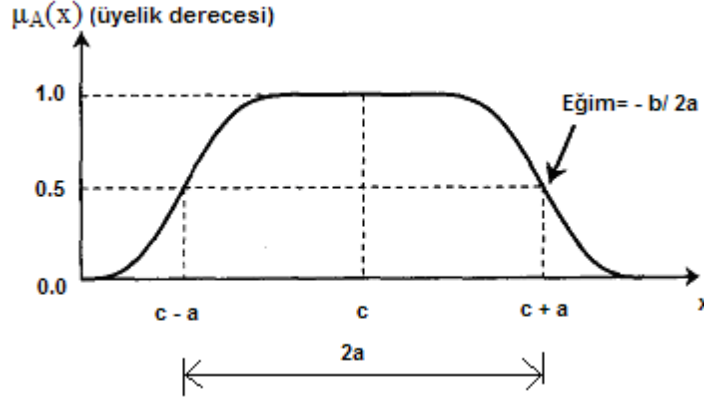
Bu kısım, her düğümden gelen girdi sinyallerinin sırayla sonraki katmanlara aktarıldığı giriş katmanı olarak bilinmektedir. Bu katmanda toplam veya başka bir işlem bulunmamaktadır (Elmas, 2011, s. 343). ANFIS mimarisinin 1.katmanında giriş değişkenleri x_1 , x_2 veya x , y olarak adlandırılabilir.

2. Katman (Bulanıklaştırma Katmanı):

ANFIS mimarisinin ikinci katmanına, bulanıklaştırma katmanı da denilmektedir. Bu katman, giriş değişkenlerini bulanıklaştırma için kümelere aktarmada, üyelik fonksiyonu şeklinde bulunan genelleştirilmiş Gauss aktivasyon fonksiyonunu kullanır (Demirel vd., 2010, s. 603).

Bu kısımda, her bir düğümün oluşumu, girdi değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonlarına dayalı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır. Her bir düğüm A_i ve B_i olarak bulanık kümeleri temsil eder (Elmas, 2011, s. 343). Birinci katmandan gelen her iki giriş değişkeni için A_1 , A_2 , B_1 ve B_2 olmak üzere 4 adet kare düğüm vardır. Düğümün çıkışı,

$O_{i1} = \mu_{A_i}(x)$ $i=1,2..$ fonksiyonu ile ifade edilir. Düğümün giriş değeri x ve bulanık kümesi A_i ile gösterilirken, bir üyelik fonksiyonu $\mu(x)$ seçilerek sözel değişkenlerin üyelik dereceleri $\mu_{A_i}(x)$ şeklindedir. Bu değer max 1 ile min 0 aralığında Gauss eğrisi aşağıdaki gibi gösterilir (Demirel vd., 2010, s. 604; Yarar, 2010, s. 57).



Şekil 19. Gauss Eğrisi Tipi Üyelik Fonksiyonu ve Parametre Tanımları (Gauss Curve Type Membership Function and Parameter Definition)

Üyelik fonksiyonunda olan, a_i , b_i , c_i değişkenlerin düğüm çıkışları olan $\mu_{A_i}(x)$ ve $\mu_{B_i}(y)$ üyelik dereceleri formülleri;

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{bi}}$$

$$\mu_{B_i}(y) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{y - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{bi}}$$

şeklinde tanımlanır (Jang, 1997; Demirel vd., 2010, s. 604).

Bu değişkenlere göre (a,b,c), Gauss eğrisi fonksiyonu da değişim gösterir. Bu durum, A_i sözel kimlikli kümenin üyelik fonksiyonlarının çeşitli şekillerde olduğunu ifade etmektedir. Bu katmandaki değişkenler öncül değişkenler olarak adlandırılır (Taş, 2009; Demirel vd., 2010, s. 604).

3. Katman (Kural Katmanı):

Kural katmanı diye adlandırılan üçüncü katman kısımdaki, her bir düğüm Sugeno çıkarım yönteminde belirlenen kuralları ve sayı değerlerini göstermektedir. Kural düğümünün çıktısı μ_i ile ifade edilirken, üyelik derecelerinin çarpılmasıyla hesaplanır. (j=1,2) ve (i=1,...,n) olmak üzere,

$$y_i^3 = \Pi_i = \mu_{A_j}(x) \times \mu_{B_j}(y) = \mu_i \quad \text{formülü ile 3.katmanın çıkış değeri hesaplanır.}$$

Her düğümdeki Π işareti değerlerin çarpımını ifade etmektedir (Çakıt, 2008, s. 53).

4. Katman (Normalleştirme Katmanı):

Normalizasyon katmanı olarak adlandırılır. Kural katmanından gelen değerleri, giriş değişkeni olarak alır ve kuralın normalleştirilmiş sonucunu bulmaktadır. Çıkış değerlerine normalize edilmiş ateşleme seviyesi ismi verilmektedir. Katmandaki her bir düğüm N ile etiketlenmiştir (Demirel vd., 2010, s. 604).

Normalleştirilmiş ateşleme seviyesinin hesaplanması,

$$y_i^4 = Ni = \frac{\mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \bar{\mu}_i, (i=1,n)$$

şeklindedir (Çakıt, 2008, s. 54).

5. Katman (Arındırma Katmanı):

Arındırma katmanıdır. Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemine göre belirlenen kuralların sonuç ağırlıkları değeri bulunmaktadır. Formüldeki (p_i, q_i, r_i) parametreleri, i.kuralın sonuç değişkenlerine karşılık gelir (Gedik, 2011; Kalaycı, 2015, s. 70).

$$y_i^5 = \bar{\mu}_i [p_i x_1 + q_i x_2 + r_i], (i=1, n)$$

formülü ile düğümün çıkış değeri bulunur (Çakıt, 2008, s. 54).

Arındırma katmanında bulunan değişkenler, sonuç parametreleri olarak adlandırılır. Katmandaki düğümler kare düğümdür (Demirel vd., 2010, s. 604).

6. Katman (Toplam Katmanı):

Toplam katmanı olan altıncı katman kısımda, yalnızca bir düğüm bulunur ve Σ ile işaretlenmiştir. Bu katmanda ANFIS modelin gerçek sonuç değeri hesaplanır. 5. katmandan gelen değerler toplanarak y sonuç değeri elde edilir (Elmas, 2011, s. 344).

Sistemin çıkışdeğeri olan y'nin hesaplanması,

$$y = \sum_{i=1}^n \bar{\mu}_i [p_i x_1 + q_i x_2 + r_i]$$

formülü ile gerçekleştirilir (Jang, 1993; Çakıt, 2008, s. 54).

BÖLÜM III

LİTERATÜR TARAMASI

3. Elektrik Enerjisi Tüketim Tahmini Literatür Taraması

Bu tez çalışmasının konusu olan elektrik enerjisinin tüketim tahmini konusunda hangi modellerin kullanıldığı ve ne sonuçlar elde edildiği literatür incelemesinde açıklanmıştır.

Kaya (2010) çalışmasında yapay sinir ağı olan MLP ile gelecek on yıla ait elektrik enerjisi tüketim tahmini gerçekleştirmiştir. Türk Telekomünikasyon A.Ş. İstanbul II.Bölge Müdürlüğü Enerji ve Soğutma Sistemleri Müdürlüğü'nün kayıtlarından alınan 2000-2009 yıllarına ait aylık fatura bilgilerini kullanarak 2010-2019 yıllarındaki elektrik tüketimi tahmini yapılmıştır. Elektrik tüketimine adsl abone sayısı ve sıcaklık değerlerinin etkisi gözlenmiş ve sonuç olarak yaz aylarında sıcaklık artması ve abone sayılarındaki artış yıllık elektrik tüketiminin arttığını göstermiştir. Yeni teknolojinin kullanılması ve kurum çalışanlarının enerji kullanımında bilinçlendirilmesi elektrik tüketimini düşürebileceği sonucuna varılmıştır.

Birim ve Tümtürk (2016) çalışmalarında bağımsız değişken seçiminde çoklu doğrusal regresyon (MRL) ve elektrik tüketim tahmini modellemede ise yapay sinir ağları (YSA) kullanmışlardır. GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat, istihdam ve doğal gaz değişkenlerinin 1992-2014 verileri kullanılarak dört model oluşturulup 2023 yılına kadar elektrik tüketimi tahmini yapılmıştır. Dört modelin tahmin sonuçlarına göre, elektrik tüketimi 337087.4 ve 385006.6 Gwh arasında değişeceği ortaya konulmuştur. 2009 yılında elektrik tüketimindeki ani düşüşün sebebi küresel ekonomik kriz olduğu söylenmiştir.

Boğar ve Özsüt Boğar (2017) Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılarak oluşturulan modellemede lineer, karesel, polinomsal, Chebyshev polinomsal, sigmoid, trigonometrik, tanjant hiperbolik ve radyal tabanlı bazı fonksiyonları kullanılmıştır. 1970-2015 yıllarına ait verilere göre yapılan tahminde en iyi sonucu Chebyshev

polinomsal regresyon modelinin verdiği, parçacık sürü optimizasyonunun da bu fonksiyonların katsayılarını optimize etmede etkin bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

Yiğit (2011) Genetik Algoritma (GA) ile 2020 yılına kadar Türkiye elektrik tüketimi tahmini yapmıştır. Bu çalışmada, ekonomik göstergeler (GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat) kullanılarak 1979 ile 2009 yıllarına ait verilere göre GAETM_Lineer ve GAETM_Karesel modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller diğer modeller ile karşılaştırıldığında; tüketim ihtiyacını tahmin etmek için uygun, güvenilir ve geçerli olduğu ortaya konulmuştur. Modellemeler sonucunda GAETM_Lineer modeli ile GAETM_Karesel modeline göre; Türkiye'nin 2020 yılındaki elektrik enerjisi talebinin sonuçları 452,47 TWh ve 354,29 TWh olacağı tahmin edilmiştir.

Hamzaçebi ve Kutay (2004) çalışmalarında yapay sinir ağları teknikleri kullanılarak elde edilenelektrik enerjisi tüketimi tahmin sonuçlarını Box-Jenkins modelleri ve regresyon tekniği ile karşılaştırmışlardır. Uygulamalar sonunda YSA iyi bir tahmin edici olduğu ve en iyi sonuç elde edildiği saptanmıştır. Regresyon tekniğinin ve Box-Jenkins modellerinin en iyi sonuç vermesinin gözlem sayısına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. YSA az veri ile çalışabilmenin yanında bazen kara kutu (black) özelliğiyle olumsuz sonuçlar verebileceği gözlenmiştir ve bu sebeple tahmin aracı görevini yaparken geleneksel metotlar YSA tekniklerini desteklemede yardımcı olarak kullanılması fikrine ulaşılmıştır. Uygulamalar sonucunun iyi neticelenmesi için problemin yapısına göre uygun ağ seçiminin yapılması gerektiği gözlenmiştir.

Duran Toksari (2016) Türkiye'nin elektrik iç tüketimi tahminleri için Ant Koloni Optimizasyonu (ACO) ve Yinelene Yerel Arama (ILS) algoritmalarına dayanan hibrit algoritmayı kullanmıştır. Her iki teknik de basit ve güçlü oldukları için birleştirme amaçlanarak performansı yüksek uygulama gerçekleştirmek istenmiştir. Nüfus, ithalat, ihracat ve GSYİH gibi temel ekonomik göstergeler kullanılarak hibrit algoritmanın performansı gözlemlendi. Hibrit Elektrik Yerli Tüketim Tahmini (HEDCE) modelini oluştururken 1990-2013 verileri kullanılarak iki adet form önerilerek 2014-2030 yıllarındaki elektrik iç tüketim tahminleri elde edilmiştir. Sonuç olarak quadratic_HEDCE'nin öngörülen değerinin linear_HEDCE değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Hibrit algoritmanın uygulamada çok iyi performans sağladığı görülmüştür.

Azadeh, Ghaderi ve Sohrabkhani (2008) çalışmalarında yüksek enerji tüketen endüstriyel sektörlerde nöral ağ ile yıllık elektrik tüketimi tahmini yapılmıştır. 1979-2003 yıllarının İran'da yüksek enerji tüketen endüstrinin verileri ile varyans analizi

(ANOVA) yoluyla YSA yaklaşımının tahmin aracı olarak kullanımındaki avantajları gözlenmiştir. Bu uygulamada ilk kez uzun zamanlı elektrik tüketimi tahmininde ANN ve ANOVA tabanlı algoritma oluşturulmuştur.

Sözen, Arcaklıoğlu ve Özkaymak (2005) Türkiye’de enerji tüketiminin tahmini için ANN tekniğini kullanmışlardır. Sınır ağını eğitmek için 1975-2003 yıllarının verilerini alarak iki çeşit model oluşturulmuştur. Uygulama sonucu olarak ANN tekniği net tüketimi doğru tahmin etmiştir ve yüksek düzeyde uygulanabilir enerji politikalarının geliştirilmesinde yardımcı olacağı kanısına varılmıştır.

Kavaklıoğlu vd.(2009) Türkiye’nin elektrik tüketimini 2027 yılına kadar tahmini elde edilmiştir. Bu uygulamada geri yayılım eğitim algoritmasına sahip çok katmanlı perceptron, nöral ağ topolojisi olarak kullanmıştır ve sonuçta testlerde en iyi performansı nöral ağların sağladığı saptanmıştır. 1975-2006 yıllarına ait ekonomik göstergelere göre 2027 yılına kadar Türkiye’nin elektrik üretimi 279kW saate ulaşacağı tahmin edilmiştir ve tüketimin gelecek yıllarda iki katına çıkacağı gözlenmiştir.

Kavaklıoğlu (2011) çalışmasında Türkiye’nin elektrik tüketimini modellenmesi ve tahmini için destek vektör regresyon (SVR) metodolojisi kullanmıştır. Eğitim modeli seti olarak e-SVR yöntemiyle elektrik tüketimi, nüfus, gayri safi milli hasıla, ithalat ve ihracat gibi sosyo-ekonomik göstergelerin bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. 1926-2006 yılları verileri kullanılarak 2026 yılına kadar tahmin yapılmıştır. SVR modeline göre 20 yılda 2006 değerinin iki katı olan 284,9 TWh'ye ulaşması sonucuna varılmıştır. Sonuçlar, e-SVR yönteminin tahmin aracı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Öztürk vd. (2005) çalışmalarında genetik algoritma yaklaşımı kullanarak iki farklı doğrusal olmayan model geliştirerek elektrik tüketim tahmini yapmışlardır. 1996-2001 yılları verilerine göre 2025’e kadar yapılan tahmin sonuçlarında GA’nın gelecekteki tahminler için uygulanabileceği saptanmıştır.

Kocadayı, Erkanmaz ve Uzun (2017) elektrik tüketimi tahmini için oluşturulan yapay sinir ağ modelinin uygunluğu ortalama karesel ve mutlak hata, beraberinde korelasyon katsayısı hesaplanarak saptanmıştır. YSA modelinin geçerli ve yüksek doğruluğu sayesinde 2016-2020 yıllarındaki TR81 bölgesinin (Zonguldak, Karabük, Bartın) elektrik tüketim tahmin sonuçları elde edilmiştir.

Bilgili (2009), Türkiye'nin 2012 yılına kadar elektrik tüketiminin doğrusal (LR) ve doğrusal olmayan regresyon (NLR) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemlerine dayalı olarak tahmin etmeye çalışmıştır. Kurulu kapasite, elektrik üretimi (brüt), nüfus ve toplam abone değerleri bağımsız değişken seçilerek yüksek ve düşük iki tahmin

senaryosu önerilmiştir. Sonuç olarak, LR ve NLR yöntemlerine göre YSA yönteminin uygunluğu ve başarısı daha iyi olduğu saptanmıştır.

Karaca ve Karacan (2016) çalışmalarında elektrik tüketiminde etkili olan faktörlerden gayri safi yurt içi milli hasıla, ortalama yaşam beklentisi ve internet kullanım verilerini kullanarak Çoklu Regresyon metoduyla Türkiye'nin elektrik tüketiminin tahminini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda elektrik tüketiminde, gayri safi yurt içi hasılanın önemli olduğu ve elektrik tüketimini olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. Çoklu regresyon yöntemiyle elde edilen sonuçların geçerliliği ve doğruluğu gözlenmiştir.

Kaynar, Yüksek ve Demirkoparan (2016) Türkiye'nin 1975-2014 yılları arası elektrik tüketimi, nüfusu, ithalat, ihracat ve GSYH verilerini kullanarak bir tahmin uygulaması yapmışlardır. Genetik algoritma yöntemi yardımıyla destek vektör regresyonu uygulanmıştır. DVR yöntemi kullanılarak yapılan tahmin sonuçlarında %3.66 hata performansı bu metodun başarılı bir tahmin yöntemi olduğunu ve çoğunlukla kullanılan klasik regresyon ve yapay sinir ağları yöntemlerine alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Akay ve Atak (2007) uygulamalarında Türkiye'nin endüstriyel ve elektrik tüketimini tahmin etmek için kullandığı yuvarlama mekanizması (GPRM) yaklaşımı ile çekme mekanizmalı Gri tahmin metodu (GPRM) etkin olmaktadır. Yuvarlama mekanizması yaklaşımı, tahmin doğruluğu yüksek, verinin sınırlı olduğu ve hesaplama çabasının az olduğu uygulamalarda tercih edildiği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, kullanılan yöntemin, Enerji Talebinin Analizi Modeli'nin (MAED) sonuçlarına göre daha net tahminler elde ettiği ve uygulamalarda avantajları olduğu saptanmıştır.

Küçükali ve Barış (2010) Türkiye'nin brüt elektrik talebinin (yıllık) kısa dönem tahminini yapmak için bulanık mantık yönteminden yararlanmışlardır. GSYİH (gayri safi yurtiçi hasıla) modelde tek parametre olarak kullanılmış ve 1970-2014 yılları verilerine göre model ortalama %3,9'luk mutlak görelî hata vermiştir. Bununla birlikte 2009 yılında Türkiye'nin elektrik talebinde % 4,5'lik bir düşüş gözlenmiş ve elektrik talebi artış oranlarının 2010 ve 2014 yılları arasında yaklaşık % 4 olacağı tahmin edilmiştir. Sonuç olarak bulanık mantık yöntemi kullanılarak oluşturulan modelin avantajı, insan düşüncesini ve akıl yürütmeyi taklit etme yeteneği olduğu ortaya konmuştur.

Gürbüz vd. (2013) çalışmalarında Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi yapay arı kolonisi algoritması (ABC) yaklaşımlarıyla tahmin edilmiştir. Bu uygulamada,

Türkiye'nin elektrik tüketiminin, GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat gibi sosyo-ekonomik değişkenlerin kullanılarak, klasik ve nöral ağ yaklaşımlarıyla meta-sezgisel bir algoritmaya dayalı olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. 1979-2009 yılları verileri alınarak 2022 yılına kadar olan elektrik tüketimi tahmini için üç senaryo önerilmiştir. Yapay arı kolonisi algoritma modelinin başarılı bir enerji tahmin aracı olduğu kanıtlanmıştır.

Es ve arkadaşları (2014) uygulamalarında 2011-2025 yılları arası Türkiye net enerji talebi tahmin etmekte YSA (yapay sinir ağları) modelini tercih etmişlerdir. Bu uygulama için Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla (GSYH) , nüfus, ithalat, ihracat, bina yüz ölçümü ve taşıt sayısının 1970-2010 yılları arasında bulunan veriler YSA modelinin girdisi olarak kullanılmıştır. YSA modelinin doğruluğu ve geçerliliği çoklu doğrusal regresyon yöntemi yardımıyla ortaya konmuştur ve karşılaştırma sonucunda yapay sinir ağ modelinin performansının yüksek olduğu saptanmıştır.

Ekonomou (2010) çalışmasında Yunanistan'ın uzun dönem enerji tüketimini tahmin etmek için YSA yöntemini kullanmıştır. Uzun süreli enerji tüketimini etkileyen 2005-2008 yılları gerçek kayıtlı girdi ve çıktı verileri eğitim, doğrulama ve test sürecinde geçerek çok katmanlı algılayıcı modeli (MLP) ile tahmin sonuçları elde edilmiştir. YSA sonuçları, doğrusal bir regresyon yöntemi, bir destek vektörü makinesi yöntemi ve büyük bir doğruluk gösteren gerçek enerji tüketim kayıtları ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak Yunanistan'ın uzun vadeli enerji tüketimi tahmin problemi için doğru bir yöntem seçildiği saptanmıştır.

Tso ve Yau (2007) farklı üç model oluşturarak Hong Kong'un elektrik tüketim tahmini uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Uygulamalarında klasik regresyon analizinin yanında YSA ve karar ağaçları kullanmışlardır ve yöntemlerin klasik regresyon analizi için doğru bir seçenek olduğu gözlenmiştir.

Kermanshahi ve Iwamiya (2002) çalışmalarında geri yayılım sinir ağlarını ve Jordan geri beslemeli ağını kullanarak Japonya'nın 2020 yılına kadar elektrik enerjisi tüketiminin tahmin sonuçlarını elde etmişlerdir ve sonuç olarak kullanılan ağ modellerinin iyi bir tahmin aracı olduğu kanısına varılmıştır.

Pao (2006) uygulamasında; milli gelir, GSYH, tüketici fiyat endeksi değişkenleri ile Ocak 1990- Aralık 2002 yılları verileri kullanılarak model oluşturulmuştur. Tayvan'ın elektrik enerji tüketimi tahmini YSA yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Gelecek yılların elektrik tüketim tahmini için kullanılan yöntem uygun görülmüştür.

BÖLÜM IV

UYGULAMA SONUÇLARI

4. Uygulama

Enerji gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ekonomik gelişmişlik açıdan önem arz etmektedir. En yaygın enerji çeşitlerinden olan elektrik enerjisi sanayileşme ve ülkelerin yaşam standartlarının yükseltilmesi bakımından vazgeçilmez enerji kaynaklarından biridir. Türkiye’de enerji tüketimine bağlı olarak elektrik enerjisinin tüketimi gittikçe artmaktadır.

Tezin uygulama kısmında gittikçe artan elektrik enerjisinin tüketimine ilişkin iki farklı analiz yöntemi incelenmiştir. Bu çalışmadaki amaç genetik algoritma ve sinirsel bulanık mantık yöntemleriyle Türkiye’deki elektrik enerjisinin tüketiminin modellenebileceğinin ortaya konmasıdır. Her iki yöntemde karşılaştırılarak hangisinin daha iyi sonuç vereceği belirlenmeye çalışılmıştır.

Elektrik enerjisi tüketimine ilişkin çalışmalar incelendiğinde genelde GSYH, nüfus, ithalat, ihracat değişkenlerinin kullandığı tespit edilmiştir (Ceylan ve Öztürk, 2004; Kavaklıoğlu, vd., 2009; Geem ve Roper, 2009; Toksarı, 2007; Toksarı, 2009; Yiğit, 2011; Kaynar, vd., 2016). Kalender ve Hamzaçebi (2014) yılındaki yapay sinir ağları tekniklerini kullanarak Türkiye Net Enerji Talep Tahmini ile yaptıkları çalışmada bina yüzölçümü ve taşıt sayısı değişkenlerini kullanmışlardır. Bunun dışında kurulacak modellerde güvenilir ve doğru bir şekilde tahmin işlemi gerçekleştirilmek için internet kullanımı değişkeni de modellere dahil edilmiştir.

Elektrik enerjisi tüketimine ilişkin değişkenlerin belirlenmesine yönelik yukarıda bahsedilen çalışmalardan hareketle yedi adet bağımsız değişken ve bağımlı değişken olarak yıllar itibari ile elektrik enerjisi tüketimi değerleri incelemeye alınmıştır. Çalışmada 1995-2017 yılları arasındaki verilere ilişkin bağımlı ve bağımsız değişkenler aşağıda verilmiştir.

Y: Elektrik enerjisi net tüketim

X1: GSYİH (Gayri safi yurt içi hasıla)

X2: Nüfus

X3: İthalat

X4: İhracat

X5: Kullanılan taşıt sayısı

X6: Bina yüzölçümü

X7: İnternet kullanımı

Modellerde kullanılacak veri kümesi TÜİK'in internet sitesinden 1995-2017 yılları arasındaki 23 seneye ilişkin veri değerlerinden elde edilmiştir. Tablo 7'de 1995-2017 yıllarına ilişkin Elektrik enerjisi net tüketim değerleri ve diğer ekonomik göstergelere ilişkin gösterilmiştir.

Tablo 7

1995-2017 Yıllarına Ait Elektrik Enerjisi Net Tüketim Değerleri ve Diğer Ekonomik Göstergeler

Yıllar	Net Tüketim Elek. (kwsaat 10 ⁹)	GSYH (\$ 10 ⁹)	Nüfus (10 ⁶)	İthalat (\$ 10 ⁹)	İhracat (\$ 10 ⁹)	Taşıt Sayısı * (100000)	Bina Yüzölçümü (100000)	İnternet Kullanımı
1995	67,39	168	61,64	35,71	21,64	59	84	0,10
1996	74,16	181	62,70	43,63	23,22	63	78	0,20
1997	81,89	189	62,48	48,56	26,26	69	83	0,50
1998	87,70	207	63,46	45,92	26,97	74	79	0,70
1999	91,20	187	64,35	40,67	26,59	78	63	2,30
2000	98,30	200	67,46	54,5	27,78	83	62	3,80
2001	97,07	146	68,62	41,4	31,33	85	57	5,20
2002	102,95	181	69,63	51,55	36,06	87	36	11,40
2003	111,77	239	70,71	69,34	47,25	89	46	12,33
2004	121,14	299	71,79	97,54	63,17	102	70	14,58
2005	130,26	361	72,07	116,77	73,48	111	106	15,46
2006	143,07	400	72,97	139,58	85,53	122	123	18,24
2007	155,14	648	70,59	169,99	107,15	130	125	28,63
2008	161,95	742	71,52	201,96	132,02	138	104	34,37
2009	156,89	616	72,56	140,78	102,17	143	101	36,40
2010	172,05	731	73,72	185,49	113,93	153	176	41,60
2011	186,10	772	74,72	240,84	134,91	161	124	45,00
2012	194,92	786	75,63	236,55	152,46	170	159	47,40
2013	198,05	820	76,67	251,65	151,87	179	176	48,90
2014	207,38	780	77,70	242,18	157,61	188	221	53,80
2015	217,31	720	78,74	207,20	143,94	200	189	55,90
2016	231,20	862,74	79,51	198,60	142,6	211	205	61,20
2017	242,76	851,05	80,81	234,16	157,94	219	222	66,80

Tezin uygulama kısmında Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimini modelleyebilmek için genetik algorithmadan lineer ve karesel denklemler ve sinirsel bulanık mantık için üçgen ve gauss üyelik fonksiyonları denenmiştir. Ayrıca genetik algoritma ve ANFİS (sinirsel bulanık mantık) tarafından elde edilen modellerin tahmin değerlerine ilişkin doğruluk ölçüleri hesaplanmıştır. y_t = Gerçek gözlenen değişkenin değeri, \hat{y}_t = tahmin edilen değişkenin değeri, T= gözlem sayısını göstermektedir. Modellere yönelik doğruluk ölçütlerine ilişkin formüller Tablo 8'de yer verilmiştir (Groebner, vd., 2001, s. 787; Hatipoğlu vd., 2013, s. 66; Yakut, vd., 2014:148).

Tablo 8

Modellere İlişkin Doğruluk Ölçütleri ve formülleri

$MSE = \frac{1}{T} \sum (y_t - \hat{y}_t)^2$	Hataların Kareli Ortalaması
$MAE = \frac{1}{T} \sum y_t - \hat{y}_t $	Ortalama Mutlak Hata
$MPE = \frac{1}{T} \sum \frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t}$	Ortalama Yüzde Hata
$MSPE = \frac{1}{T} \sum \left[\frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t} \right]^2$	Ortalama Yüzde Hata Kareleri
$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum \left[\frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t} \right]^2}$	Ortalama Yüzde Hata Kareleri Kökü
$MAPE = \frac{1}{T} \sum \left \frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t} \right $	Ortalama Mutlak Yüzde Hata

4.1. Genetik Algoritma Yöntemi ile Elektrik Enerjisi Tüketim Modellemesi

Genetik algoritma ile elektrik enerjisi tüketimi modellemek için MATLAB 2016b yazılımı kullanılmıştır. Elektrik enerjisi tüketim modeli için lineer ve karesel denklemler aşağıda yer verilmiştir.

GA Lineer model:

$$ET_{Lineer} = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + w_4 \cdot x_4 + w_5 \cdot x_5 + w_6 \cdot x_6 + w_7 \cdot x_7 + w_8$$

GA Karesel model:

$$\begin{aligned}
 ET_{Karesel} = & w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + w_4 \cdot x_4 + w_5 \cdot x_5 + w_6 \cdot x_6 + w_7 \cdot x_7 \\
 & + w_8 \cdot x_1 \cdot x_2 + w_9 \cdot x_1 \cdot x_3 + w_{10} \cdot x_1 \cdot x_4 + w_{11} \cdot x_1 \cdot x_5 + w_{12} \cdot x_1 \cdot x_6 \\
 & + w_{13} \cdot x_1 \cdot x_7 + w_{14} \cdot x_2 \cdot x_3 + w_{15} \cdot x_2 \cdot x_4 + w_{16} \cdot x_2 \cdot x_5 + w_{17} \cdot x_2 \cdot x_6 \\
 & + w_{18} \cdot x_2 \cdot x_7 + w_{19} \cdot x_3 \cdot x_4 + w_{20} \cdot x_3 \cdot x_5 + w_{21} \cdot x_3 \cdot x_6 + w_{22} \cdot x_3 \cdot x_7 \\
 & + w_{23} \cdot x_4 \cdot x_5 + w_{24} \cdot x_4 \cdot x_6 + w_{25} \cdot x_4 \cdot x_7 + w_{26} \cdot x_5 \cdot x_6 + w_{27} \cdot x_5 \cdot x_7 \\
 & + w_{28} \cdot x_6 \cdot x_7 + w_{29} \cdot x_1^2 + w_{30} \cdot x_2^2 + w_{31} \cdot x_3^2 + w_{32} \cdot x_4^2 \\
 & + w_{33} \cdot x_5^2 + w_{34} \cdot x_6^2 + w_{35} \cdot x_7^2 + w_{36}
 \end{aligned}$$

Elektrik enerjisi tüketim modeline ilişkin amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

$$\min g(v) = \sum_{i=1}^m [ET_i^{gözlemlenen} - ET_i^{tahmin edilen}]^2$$

m: gözlem sayısı,

$ET_i^{gözlemlenen}$: 1995-2017 yılları arasında tüketilen elektrik enerjisi tüketim miktarı

$ET_i^{tahmin edilen}$: 1995-2017 yılları arasında tahmin edilen elektrik enerjisi tüketim miktarı

Genetik algoritma kullanarak elektrik enerjisi tüketim modelini lineer ve karesel formda oluşturmak için algoritmanın uygulama parametreleri aşağıda verilmiştir.

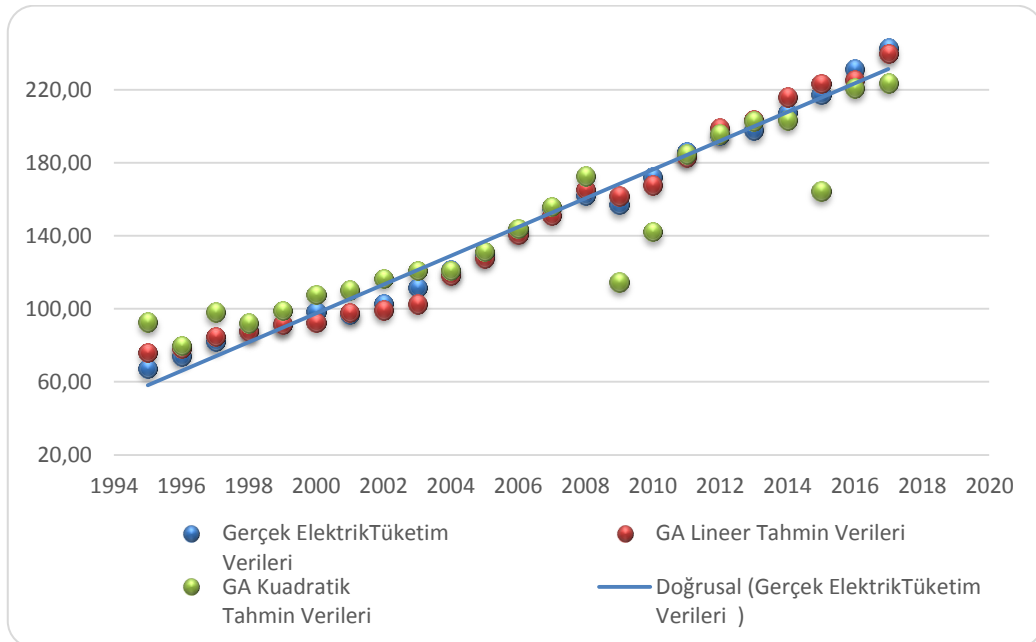
- Başlangıç Topuluk Büyüklüğü:200
- Çaprazlama İşleme Olasılığı: 0,8
- Çaprazlama fonksiyonu: Twopoint
- Mutasyon fonksiyonu: ConstraintDependent
- Seçim fonksiyonu: Turnuva
- Sonlandırma kriteri: Generations: Lineer için 200*7 (değişken sayısı), Karesel için 200*36 (değişken sayısı)
- Nesil sayısı: Lineer için 5000 ve Karesel için 10000

Yukarıda verilen genetik algoritma parametreleri koşulları altında bağımlı ve bağımsız değişken değerleri lineer ve karesel modellere yazılarak elde edilen tahmin denklemleri amaç fonksiyonunu minimize etmek için çalıştırılmış ve aşağıdaki denklemler ve değerler elde edilmiştir. Lineer denkleme ilişkin R_{Lineer}^2 : 0,9918 ve karesel denkleme ilişkin $R_{Karesel}^2$: 0,8944 olarak ölçülmüştür.

$$ET^{Tahmin}_{Lineer}$$

$$= -0,050.X_1 - 1,453.X_2 - 0,024.X_3 + 0,518.X_4 + 0,964.X_5 - 0,018.X_6 + 0,125.X_7 + 107,921$$

$$ET^{Tahmin}_{Karesel} = 56,806.x_1 + 54,363.x_2 - 6,938.x_3 - 235,313.x_4 - 25,523.x_5 + 238,138.x_6 - 162,883.x_7 + 3,065.x_1.x_2 + 3,631.x_1.x_3 - 12,005.x_1.x_4 - 2,867.x_1.x_5 + 2,692.x_1.x_6 + 9,493.x_1.x_7 + 8,711.x_2.x_3 - 9,569.x_2.x_4 - 5,645.x_2.x_5 - 4,919.x_2.x_6 - 4,747.x_2.x_7 + 13,681.x_3.x_4 - 19,729.x_3.x_5 - 3,44.x_3.x_6 - 9,763.x_3.x_7 + 38,724.x_4.x_5 - 4,504.x_4.x_6 - 9,496.x_4.x_7 + 4,998.x_5.x_6 - 8,694.x_5.x_7 - 5,298.x_6.x_7 + 0,319.x_1^2 - 6,069.x_2^2 - 2,166.x_3^2 + 8,888.x_4^2 + 4,091.x_5^2 - 4,210.x_6^2 - 12,080.x_7^2 + 278,627$$



Şekil 20. GA Lineer ve Kuadartik Modele ait Tahmini Değerler ile Gerçek Elektrik Tüketim Verilerinin Karşılaştırılması

Şekil 24'te GA'dan elde edilen lineer ve kuadratik modelin tahmin değerleri ile gerçek elektrik tüketim verilerine ait rakamların karşılaştırmalı grafiği gösterilmiştir. GA kullanıldığında lineer model için R^2 değeri (belirlilik katsayısı) 0,99 iken, kuadratik model için R^2 değeri 0,89 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler kurulan modeldeki bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama gücünü göstermektedir.

Tablo 9

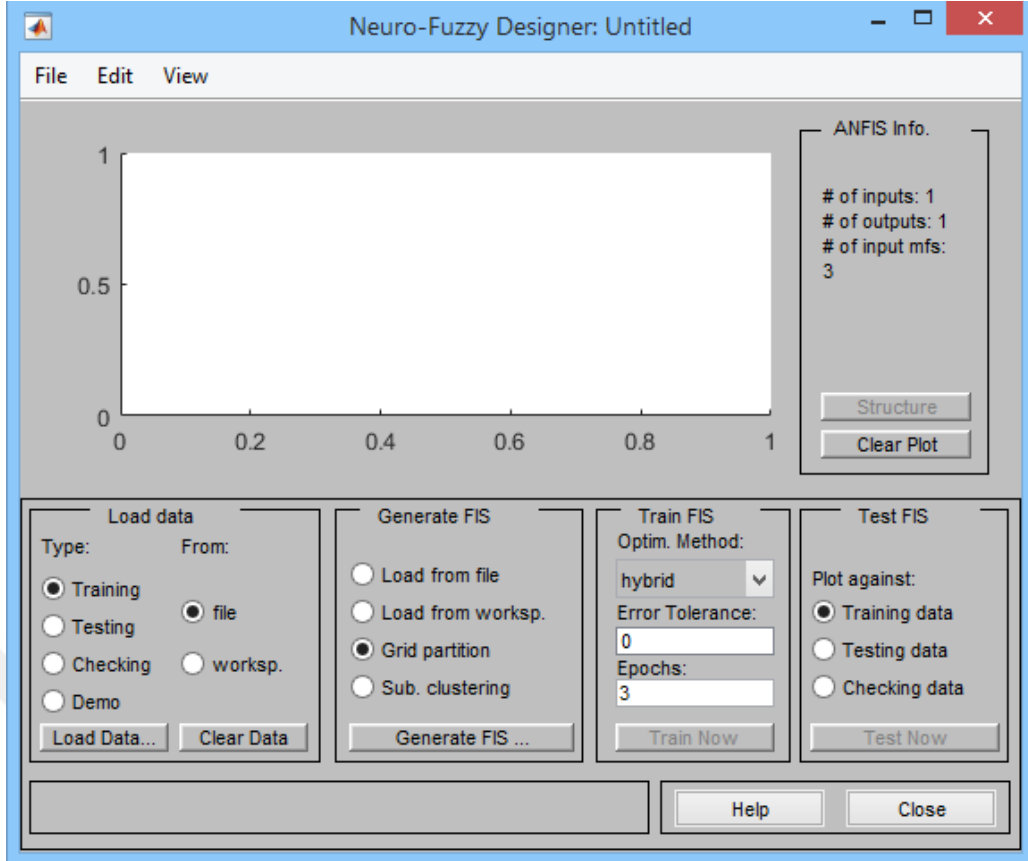
GA Modellerine ait Belirlilik Katsayısı Değeri ve Yüzde Doğruluk Ölçüt Değerleri

	R^2	MSE	MAE	MPE	MSPE	RMSPE	MAPE
GA Lineer Model	0,992	23,016	4,185	-0,002	0,002	0,042	0,032
GA Karesel Model	0,894	332,777	12,323	-0,022	0,018	0,136	0,095

Tablo 9'da genetik algoritma modellerine ilişkin karşılaştırmada kullanılan belirlilik katsayısı ve yüzde doğruluk ölçüt değerleri gösterilmiştir. Tahmin performansları açısından literatürde en çok kullanılan ölçüt değerleri MAPE (Mutlak Hata Oranları Ortalaması) ve MSE (Hata Kareleri Ortalaması) olarak bilinmektedir (Zhang and Hu, 1998:500; Cho, 2003:328; Yakut, vd., 2014:149). Lewis'e (1982) göre her iki modelin MAPE değerleri %10'unun altında gerçekleştiği için modellerin çok iyi ve kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

4.2. ANFİS (Sinirsel Bulanık Mantık) Yöntemi ile Elektrik Enerjisi Tüketim Modellemesi

ANFİS ile elektrik enerjisi tüketimi modellemek için MATLAB 2016b'de kullanılan Fuzzy Logic Toolbox'ın bir fonksiyonu olarak bilinen ANFIS GUI (Graphical user interface – Grafiksel kullanıcı ara yüzü) ile analiz işlemi yapılmıştır. Elektrik enerjisi tahmin modeli oluşturulurken, veriler eğitim (train) ve test (test) veri seti kümesi olmak üzere oluşturulmuştur. Ağın eğitilmesine yönelik verilerin %80'i ile eğitim ve %20'si ile test seti belirlenmiştir, ardından iki farklı workspace dosyası ile veriler kaydedilmiştir.



Şekil 21. Matlab Yazılımına ait ANFİS Arayüzü

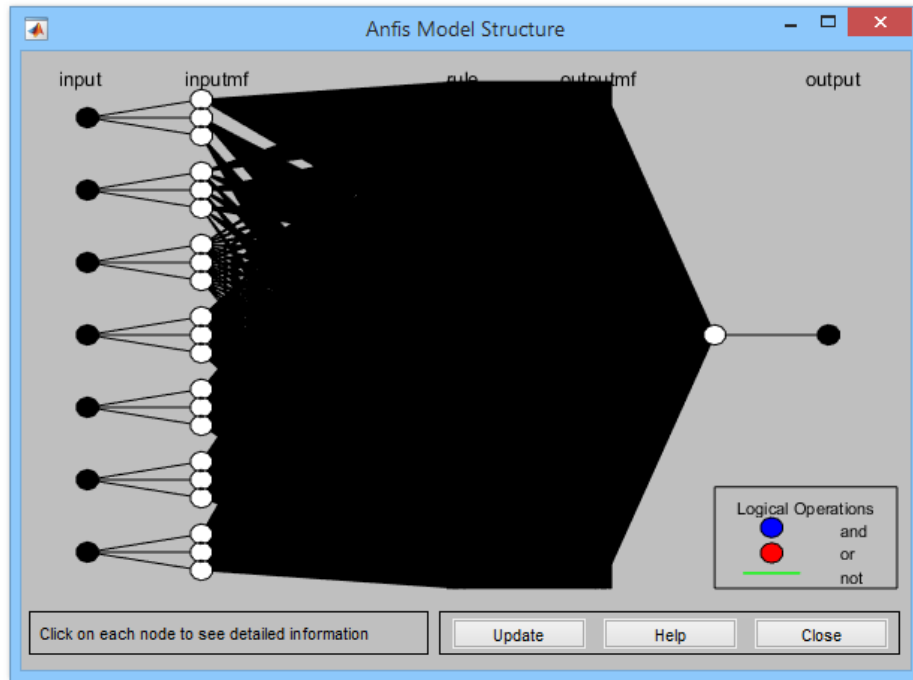
Şekil 21’de Matlab yazılımına ait Anfis arayüzü verilmiştir. ANFİS arayüzü içerisinde verilerin yüklenebildiği, alternatif bulanık fonksiyonun seçilebildiği, ağın hem eğitildiği hem de test edildiği bölümler mevcuttur. Bu seçeneklerden Load data bölümü seçilerek eğitim, test ve kontrol seti verileri dosyadan veya çalışma sayfasından yükleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ardından Generate FIS bölümünde verilere ilişkin öğrenme algoritması, bulanık çıkarım sistemi, girdi üyelik fonksiyon tipi, çıktı tipi ve devir sayısı belirlenebilmektedir.

Tablo 10

ANFIS için Kullanılan Ağ Parametreleri

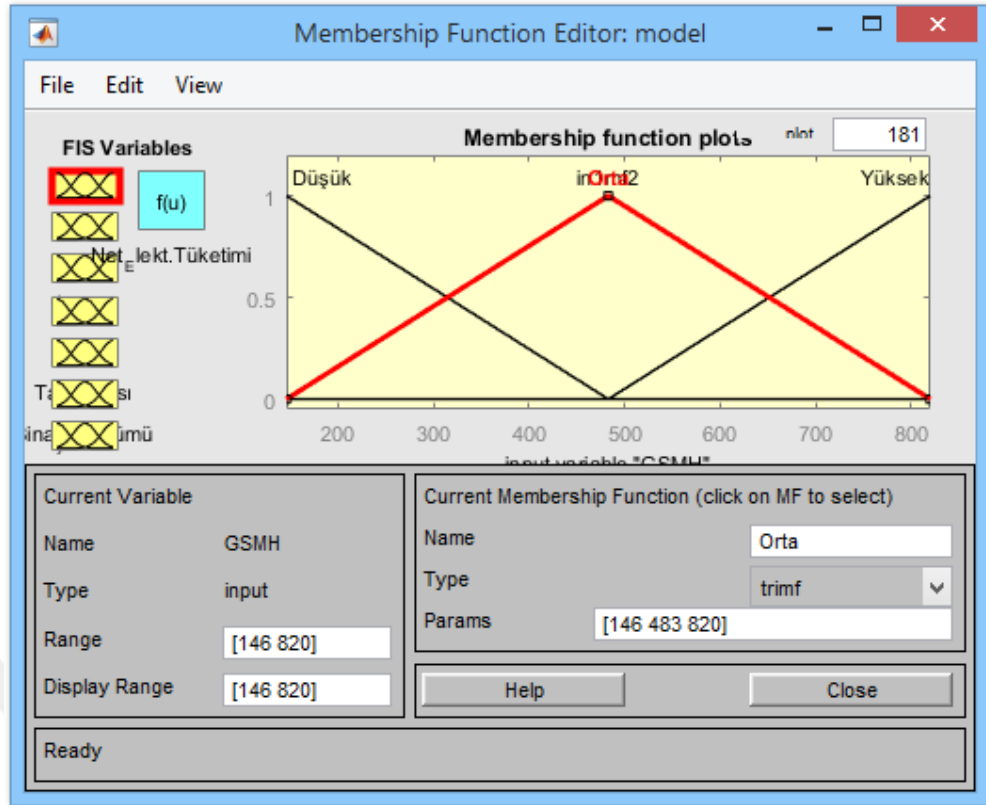
ANFIS Ağ Parametreleri	
Öğrenme Algoritması	Melez Öğrenme (hipridlearning)
Bulanık Çıkarım Sistemi	Sugeno Tipi
Girdi Üyelik Fonksiyon Tipi	Üçgen, Gauss Üyelik Fonksiyonu
Üyelik Fonksiyon Sayısı	Her bir değişken için: 2’şer
Çıktı Tipi	Sabit
Devir Sayısı	30

Tablo 10’da Veri setlerini yükleme işlemi gerçekleştirildikten sonra elektrik enerjisi tüketimini modellemek için “Generate FIS” sekmesi altında bulanık çıkarım sistemini oluşturmak üzere “Gridpartition” ızgara bölümlene yöntemi seçilmiştir. En uygun bulanık çıkarım sistemini oluşturmak için Bulanık Çıkarım Sistemi için Sugeno tipi, girdi üyelik fonksiyon tipi olarak üçgen ve gauss üyelik fonksiyonu, üyelik fonksiyon sayısı olarak her bir değişken için 3, çıktı tipi sabit, optimizasyon tipi olarak “hybrid (karma)”, “devir sayısı (epochs)” 30 seçilerek ANFIS’in ağ parametreleri belirlenmiştir. Böylece ANFIS ağ parametreleri kullanılarak üçgen ve gauss girdi üyelik fonksiyonu olmak üzere iki farklı model oluşturulmuştur.



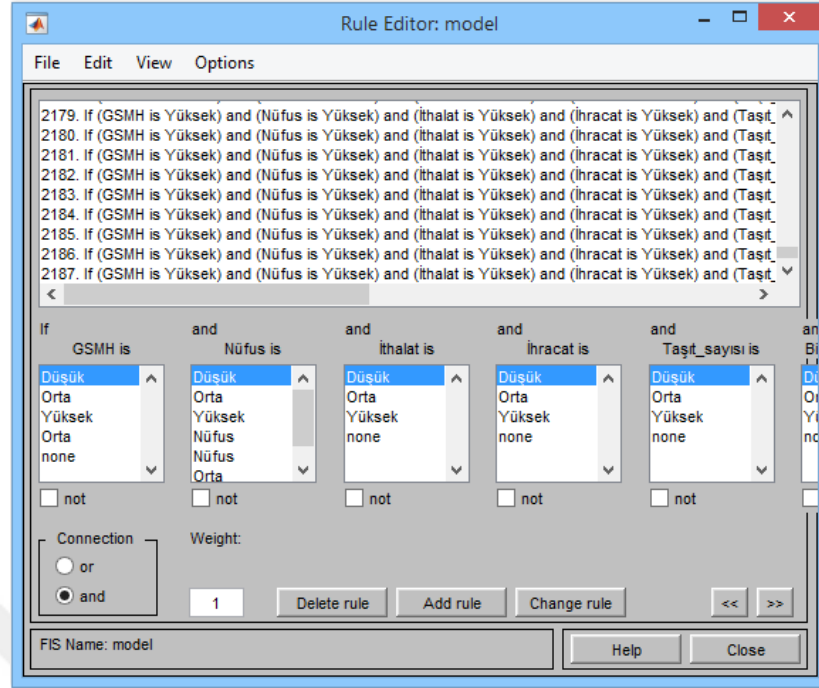
Şekil 22. Elektrik Enerjisi Tüketimini Modeline ait ANFIS Yapısı

Şekil 22’de Elektrik enerjisi tüketim modeline ait ANFIS yapısı gösterilmiştir. 7 farklı input değerleri girilmiş bunlar bağımsız değişkenlere karşılık gelmektedir. Beyaz düğümler üyelik fonksiyonlarını, siyah oklar ise üyelik fonksiyonları ile kurallar arasındaki bağlantıları göstermektedir. ANFIS yapısı incelendiğinde girdiler ağı yükleme işlemi gerçekleştirildikten sonra girdi üyelik fonksiyonunun tipine göre bulanıklaştırılarak kural tabanlarının oluşturulmasıyla durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. Böylece durulama işlemi ile girdiler çıktılara dönüştürülmüş olur. Sonraki aşamada durulaştırılarak elde edilen çıktılar sayısal değerlere dönüştürülür.



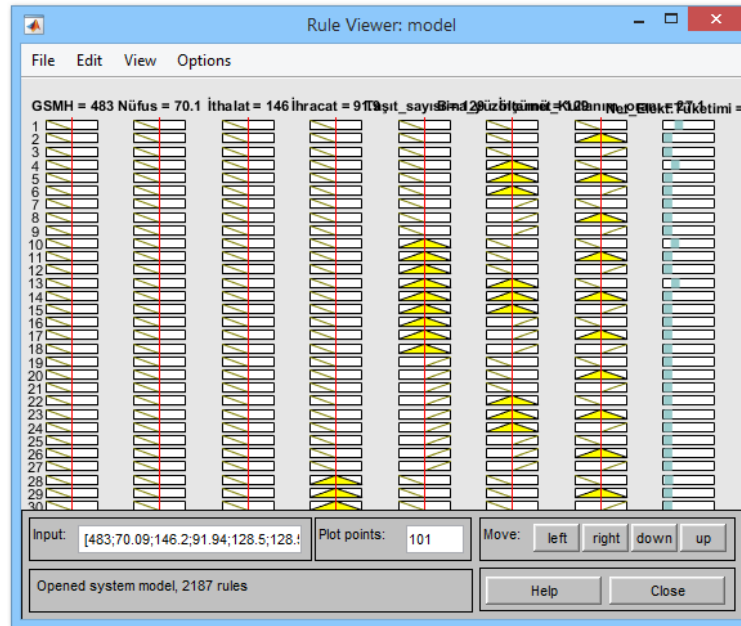
Şekil 23. ANFİS Modeline ait GSMH Değişkenine ait Üçgen Üyelik Fonksiyonu

Şekil 23’de ANFİS modelinin ilk girdi değişkeni olan GSMH verisine ait üçgen üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. GSMH değişkeninde olduğu diğer girdi değişkenleri için de 3 tane üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. ANFİS modellerinde kural tabanlarının sözel biçimde oluşturulması için ilk üyelik fonksiyonuna düşük, ikinci üyelik fonksiyonuna orta ve üçüncü üyelik fonksiyonuna yüksek ifadesi verilmiştir. Böylece ANFİS modelinde öğrenme işleminin ardından kurallar vasıtasıyla girdi verilerinin üyelik fonksiyonuna bağlı olarak durulaştırma işlemi gerçekleştirilerek çıktılar oluşturulur.



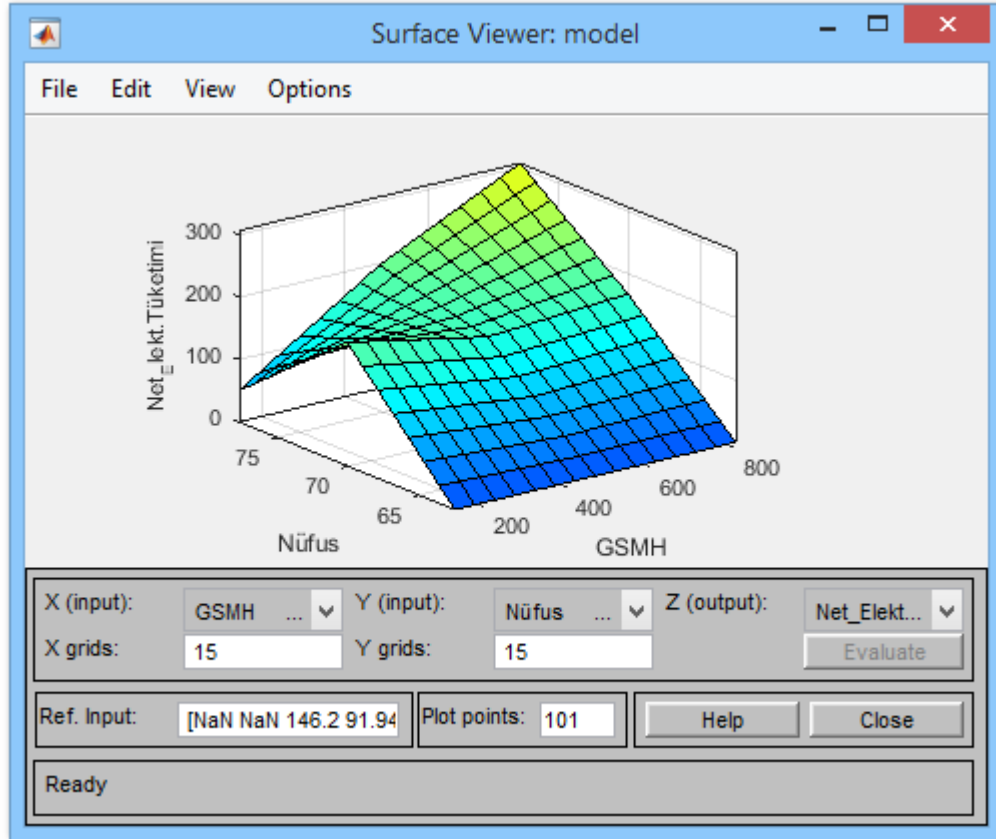
Şekil 24. ANFIS'ten Elde Edilen Kurallar

Şekil 24'de ANFIS'ten elde edilen kurallara yer verilmiştir. 7 farklı girdi için üçer üyelik fonksiyonu oluşturulmak üzere toplamda 2187 adet farklı çıktı senaryosu üretilmiştir. Örnek olarak 7 farklı değişken düşük, orta ve yüksek olmak üzere sözel biçimde ifade edildiğinde çıktı değeri belirlenebilmektedir.



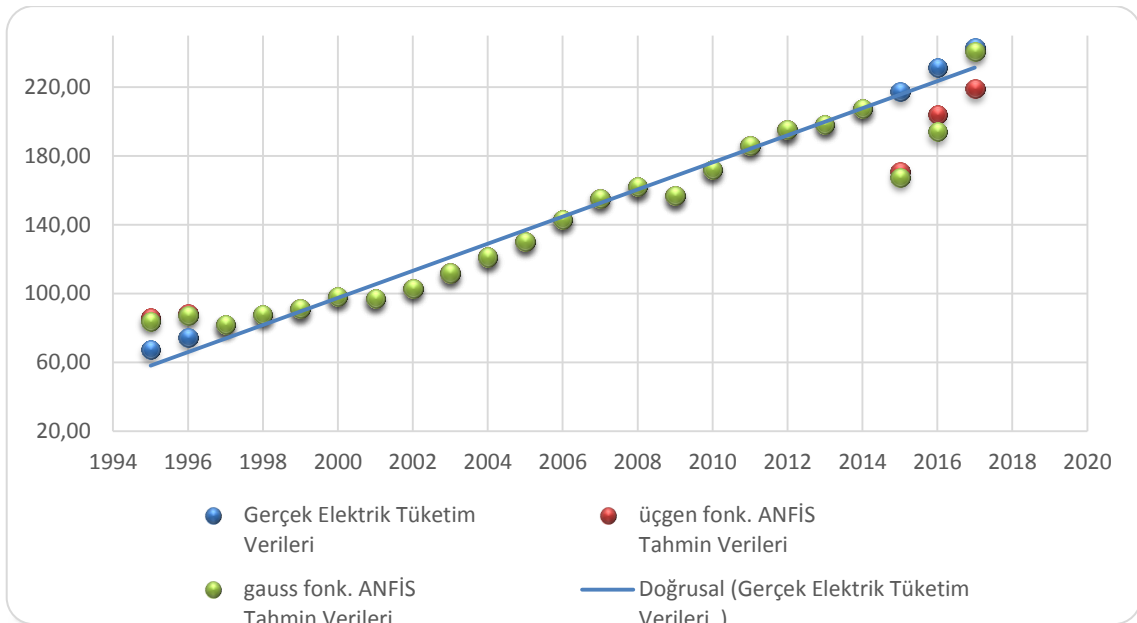
Şekil 25. ANFIS Kural Tabanı

Şekil 25’de ANFIS kural tabanı arayüzü gösterilmiştir. Arayüzde görüldüğü üzere 7 adet girdi değişkeninin üzerinde yer alan kırmızı çizgi hareket ettirilmek suretiyle output yazan çıktı değişkeninin değeri değişmektedir. Benzer şekilde matlaba evalfis komutu yazılarak da girdi değişkenlerinin değişmesine bağlı olarak çıktı değişkeninin değeri tespit edilebilmektedir.



Şekil 26. ANFIS’e ilişkin Üç Boyutlu Değerlendirme Grafığı

Şekil 26’da ANFIS analizinden elde edilen üç boyutlu değerlendirme grafığı gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere girdi değişkenlerinin kendisi ve almış olduğu değerleri değiştirerek çıktı değişkeninin alacağı değerler anlık olarak nasıl değiştiği görülebilmektedir.



Şekil 27. Üçgen ve Gauss Üyelik Fonksiyonlu ANFİS Modellerine ait Tahmini Değerler ile Gerçek Elektrik Tüketim Verilerinin Karşılaştırılması

Şekil 27’de Üçgen ve gauss üyelik fonksiyonlu ANFİS modellerinin tahmin değerleri ile gerçek elektrik tüketim verilerine ait rakamların karşılaştırmalı grafiği gösterilmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonlu ANFİS modeli için R^2 değeri (belirlilik katsayısı) 0,955 iken, Gauss üyelik fonksiyonlu ANFİS modeli için R^2 değeri 0,943 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 11

ANFİS Modellerine ait Belirlilik Katsayısı Değeri ve Yüzde Doğruluk Ölçüt Değerleri

	R KARE	MSE	MAE	MPE	MSPE	RMSPE	MAPE
Üçgen fonk. ANFİS Tahmin modeli	0,955	174,435	5,666	-0,001	0,008	0,089	0,039
Gauss fonk. ANFİS Tahmin modeli	0,943	188,052	5,182	-0,001	0,007	0,086	0,036

Tablo 11’de ANFİS modellerine ilişkin karşılaştırmada kullanılan belirlilik katsayısı ve yüzde doğruluk ölçüt değerleri gösterilmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonlu ANFİS modeline ait MAPE değeri 0,039 iken, Gauss üyelik fonksiyonlu ANFİS modeline ait MAPE değeri 0,036 olarak belirlenmiştir.

4.3. GA ve ANFİS Yöntemlerinden Elde Edilen Modellerin İstatistiksel Analizi

GA ve ANFİS yöntemleri ile belirlenen tahmini değerler ile gerçek elektrik tüketim değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemek için hipotezi testi gerçekleştirilmiştir. Tablo 6’da hipotez testi için kullanılacak küçük örneklem t Testi verilmiştir.

Tablo 12

Hipotez Testi için Kullanılacak Test İstatistiği

Boş Hipotez	$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = \text{Boş hipotez}$
Test İstatistiği	$t_h = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{s^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$ $s^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$
Alternatif Hipotez	Red Alanı
$H_a = \mu_1 - \mu_2 > \text{Boş hipotez}$	eğer $t_h > t_k$ kritik değer H_0 red sağ taraflı testi
$H_a = \mu_1 - \mu_2 < \text{Boş hipotez}$	eğer $-t_h < -t_k$ kritik değer H_0 red sol taraflı testi
$H_a = \mu_1 - \mu_2 \neq \text{Boş hipotez}$	eğer $t_h > t_k$ kritik değer eğer $-t_h < -t_k$ kritik değer H_0 red

Tablo 13

GA ve ANFİS Yöntemlerine ait Ortalama ve Std. Sapma Değerleri

	Gerçek Elektrik Tüketim Verileri	GA Lineer Tahmin Verileri	GA Kuadratik Tahmin Verileri	Üçgen fonk. ANFİS Tahmin Verileri	Gauss fonk. ANFİS Tahmin Verileri
Ortalama	144,81	144,91	143,21	141,97	142,20
Std Sapma	51,52	51,84	42,71	44,98	46,32

Tablo 13’de GA ve ANFİS yöntemlerinden elde edilen modellere ilişkin ortalama ve std.sapma değerleri verilmiştir. Oluşturulacak olan çift taraflı hipotez testleri aşağıdaki gibidir.

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$ Gerçek elektrik tüketim değerleri ile analizlerden elde edilen tahmin değerler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır.

$H_a = \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ Gerçek elektrik tüketim değerleri ile analizlerden elde edilen tahmin değerler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmuştur.

Tablo 14

GA ve ANFİS Yöntemlerine ait Test İstatistiği Değerleri ve Hipotez Sonuçları

GA Lineer Tahmin Verileri	GA Kuadratik Tahmin Verileri	Üçgen fonk. ANFİS Tahmin Verileri	Gauss fonk. ANFİS Tahmin Verileri
-0,007	0,115	0,199	0,181

Tablo 14’de GA ve ANFİS yöntemlerine ait modellere ilişkin test istatistiği değerleri gösterilmiştir. %95 güven aralığında t_{kritik} değeri $\pm 2,014$ ’tür. GA ve ANFİS yöntemlerinden elde edilen test istatistik değerleri, kritik değerden küçük oldukları için boş hipotez kabul edilmiştir. Böylece yöntemlerden elde edilen tahmini değerler ile gerçek elektrik tüketim verileri arasında 0,05 önem seviyesinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. Sonuç olarak GA ve ANFİS’e ilişkin kurulan modellerin elektrik tüketim tahmin amacıyla kullanılabileceği gözlenmiştir.

BÖLÜM V

SONUÇ VE TARTIŞMA

5. Sonuç Ve Tartışma

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler açısından kalkınmışlık ve gelişmişlik düzeyini artırmak için elektrik enerjisine olan ihtiyaç insanlık için önem arz etmektedir. Benzer şekilde insanların kaliteli yaşam seviyesini belirli bir seviyenin üzerinde gerçekleştirmek ve ülke ekonomileri açısından hedeflenen ekonomik büyüme oranlarını tutturmak için elektrik enerjisine olan talep gittikçe artmaktadır.

Bu çalışmada 1995-2017 yılları arasında Türkiye'deki elektrik enerjisi tüketimini etkileyen değişkenler kullanılarak modellenmeye çalışılmıştır. Elektrik enerjisi tüketimini modelleyebilmek için GSYH, nüfus, ithalat, ihracat, bina yüzölçümü, taşıt sayısı ve internet kullanımı değişkenleri dikkate alınmıştır.

Elektrik enerjisi tüketimini modellemede genetik algorithmadan lineer ve karesel formlar ve ANFİS için ise üçgen ve gauss üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. GA ve ANFİS yöntemlerinin analizinde Matlab 2016b yazılımından yararlanılmıştır. Modelleme aşamasından sonra hipotez testi gerçekleştirilerek GA ve ANFİS yöntemleri ile belirlenen tahmini değerler ile gerçek elektrik tüketim değerleri arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

GA ve ANFİS modellerinin tahmini değerleri ile gerçek elektrik tüketim verilerine ait rakamların karşılaştırmalı grafikleri oluşturulmuştur. GA'ya ilişkin lineer modelin karesel modele göre; üçgen üyelik fonksiyonlu ANFİS modelin gauss tipli modele göre daha başarılı sonuç verdiği saptanmıştır. GA yöntemi için lineer ve karesel R^2 'nin (belirlilik katsayısı) 0,99 ve 0,89; üçgen ve gauss üyelik fonksiyonlu ANFİS yöntemi için ise 0,955 ve 0,943 değerlerini aldığı tespit edilmiştir. MAPE (Mutlak Hata Oranları Ortalaması) açısından karşılaştırma yapıldığında GA yöntemi için 0,032 ile 0,095 ve ANFİS yöntemin için ise 0,039 ile 0,036 değerler aldığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak GA ve ANFİS'e ilişkin kurulan modellerin elektrik tüketim tahmini amacıyla kullanılabilceğini göstermiştir. Bundan sonraki elektrik tüketim modellemeleri açısından yapılacak çalışmalar için farklı değişkenler ve daha kapsamlı veriler kullanılarak çalışma genişletilebilir ve geleceğe yönelik öngörüler gerçekleştirilebilir.



KAYNAKÇA

- Adeli, H. ve Sarma, K. C. (2006). *Cost optimization of structures: fuzzy logic, genetic algorithms, and parallel computing*. England: John Wiley ve Sons.
- Akay, D. ve Atak, M. (2007). Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey. *Energy*, 32(9):1670-1675.
- Altay, A. (2007). *Genetik Algoritma ve Bir Uygulama*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alfonso, C., Sassi, R. ve Barreiros, R. (2015). Biological Image Classification Using Rough Fuzzy Artificial Neural Network. *Expert Systems and Applications*, 9482-9488.
- Anonymous, 2010a. Fuzzy Logic Toolbox,
http://www.mathworks.com/products/fuzzy_logic, (12.04.2015).
- Azadeh, A., Ghaderi, S.F. ve Sohrabkhani, S. (2008). *Annual electricity consumption forecasting by neural network in high energy consuming industrial sectors*. Department of Industrial Engineering, Center of Excellence for Intelligent Based Experimental Mechanics, Research Institute of Energy Management and Planning, College of Engineering, University of Tehran, P.O. Box 11365-4563, Iran.
- Artaç, T. (2003). *Genetik Algoritma İle Dağıtım Şebekelerinin Optimum Tasarımı*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayata, Ö. (2012). *Genetik algoritmaların ders çizelgeleme problemlerinde kullanımı ve eğitim kurumlarında uygulaması*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baykal, N. & Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Bilgili, M. (2009). *Türkiye'nin Net Elektrik Tüketiminin Tahmini*. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29, 2, 89-98, Adana.
- Birim, Ş. & Tümtürk, A. (2016). Modeling and Forecasting Turkey's Electricity Consumption by using Artificial Neural Network. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) (2016) Volume 25, No 1*, pp 192-208.

- Boğar, E. ve Özsüt Boğar, Z. (2017). Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı Modellenmesi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2017 Cilt 1 Sayı 3, 40-47.
- Bolat, B. ve Erol Osman ve Erdem C. İmsak (2004). Mühendislik uygulamalarında genetik algoritma ve operatörlerin işlevleri. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 2004/4, ss.264-271.
- Bolat, B. (2006). *Asansör kontrol sistemlerinin genetik algoritma ile simülasyonu* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boz Eravcı, D. (2016). *Bulanık Mantık İle Silikozisin Tespit Edilmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Buckles, Bill P. ve Frederick E. Petry (Derl.) (1992), *Genetic Algorithms*. Washington: IEEE Computer Society Press, Technology Series.
- Busetti, F.R. (2000). *Metaheuristic Approaches To Realistic Portfolio Optimisation* Master Of Science in The Subject Operations Research at The University of South Africa.
- Chen, M., Zalzal, A. M. S. (1997). A genetic approach to motion planning of redundant mobile manipulator systems considering safety and configuration. *Journal of Robotic Systems*, 14 (7): 529-544.
- Çakıt, E. (2008). *El Becerisine Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesine Yönelik Bulanık Mantık Yaklaşımı*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çankal, A. (2015). *Genetik Algoritma Kullanarak Hisse Senedi Portföy Optimizasyonu: Bist-30'da Bir Uygulama*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Osmaniye.
- Ceylan, H., ve Ozturk, H. K. (2004). Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach, *Energy Conversion and Management*, 45(15-16), 2525-2537.
- CHO, V. (2003). A Comparison Of Three Different Approaches To Tourist Arrival Forecasting, *Tourism Management*, 24: 323-330.
- Demirel, Ö., Kakilli, A. ve Tektaş, M. (2010). Anfis ve arma modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 25, No 3, 601-610.

- Doğan, O. (2012). *Talep Tahmininde Sinirsel Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Yöntemi (Anfis) Kullanımı Ve Yalın Yapay Sinir Ağı Metodu İle Karşılaştırmalı Bir Uygulama* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi SBE, İzmir.
- Toksari, M. D. (2016). A hybrid algorithm of ant colony optimization (ACO) and iterated local search (ILS) for estimating electricity domestic consumption: case of Turkey. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 776-782.
- Ekonomou, L. (2010). Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks. *Energy*, 35(2):512-517.
- Elmas, Ç. (2011). *Yapay Zeka Uygulamaları* (2. Baskı ed.). Ankara: Seçkin.
- Es, H.A., Kalender, F.Y. ve Hamzaçebi, C. (2014). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Net Enerji Talep Tahmini. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 29, No 3, 495-504.
- Fırat, M. & Güngör, M. (2007). River flow estimation using adaptive neuro-fuzzy inference system, *Mathematics and Computers in Simulation*, 75(3-4), 87-96.
- Gedik, F. A. (2011). *İletişim ağ problemlerinin çözümünde Neuro-Fuzzy yaklaşımı*, (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Geem, Z. W., ve Roper, W. E. (2009). Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network. *Energy policy*, 37(10), 4049-4054.
- Gen, M. ve Cheng, R.(1997). *Genetic algorithms and engineering design*, John Wiley & Sons Inc., ABD.
- Gen, M., ve Cheng, R. (2000). *Genetic algorithm and engineering optimization*. New York: John Wily and Sons.
- Ghedjati, F. (1999). Genetic algorithms for the job-shop scheduling problem with unrelated parallel constraints: heuristic mixing method machines and precedence, *Computers and Industrial Engineering*, 37, pp. 39-42.
- Goldberg, D. E., ve Deb, K. (1991). A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. *Foundations of Genetic Algorithms*, 1, 69-93.
- Groebner, D. F., Shannon, P. W., Fry, P. C., & Smith, K. D. (2001). Business statistics. *A Decision making approach*, 5.

- Gürbüz, F., Öztürk, C. ve Pardalos, P. (2013). Prediction of electricity energy consumption of Turkey via artificial bee colony: a case study, *Energy Systems*, 4(3):289-300.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2004). Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 19, No 3, 227-233.
- Hatipoğlu, T., Boran, S., Özcan, B. ve Fırlı, A. (2013). Yapay Sinir Ağı Yaklaşımıyla Çinko Kalınlığının Tahminlenmesi, *SAÜ. Fen Bilimler Dergisi*, 17(1): 60-68.
- Haupt, R. L. & Haupt, S. E. (2004). *Practical genetic algorithms*. America: John Wiley ve Sons, ss272.
- İşler, Y. (2014). *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU-2014)*. Bildiriler Kitabı, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Yayınları, 09-10 Ekim 2014-İzmir.
- Jang, J. S. (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Kalaycı, E. (2015). *Anfis ile Türkiye'nin Doğalgaz Talep Tahmini* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Kalender, F. Y., Ve Hamzaçebi, C. (2014). Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3).
- Karaca, C., ve Karacan, H. (2016). Çoklu Regresyon Metoduyla Elektrik Tüketim Talebini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3), 182-195.
- Kasabov, N. K. (1998). *Foundations of Neural Networks, Fuzzy systems and Knowledge Engineering (2 b.)*. U.S.A: Massachusetts Institute of Technology.
- Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Öztürk, H.K. ve Canyurt, O.E. (2009). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks. *Energy Conversion and Management*, 50 (11), 2719–2727.
- Kavaklıoğlu, K. (2011). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression, *Applied Energy*, 88 (1) 368–375.

- Kaya, Y. (2010). *Türk Telekomünikasyon A.Ş.'De Elektrik Enerjisi Tüketiminin Yapay Sinir Ağları İle Yerel Tahmini* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- Kaynar, O., Yüksek, G.A. ve Demirkoparan, F. (2016). Genetik Algoritma İle Eğitilmiş Destek Vektör Regresyon Kullanılarak Türkiye'nin Elektrik Tüketim Tahmini. *İktisat Fakültesi Mecmuası, Cilt: 66, 2016/2 s, 45-60.*
- Kermanshahi, B., Iwamiya, H. (2002). Up to Year 2020 Load Forecasting Using Neural Nets. *Electrical Power and Energy Systems, Cilt 24, 789-797.*
- Kırış, Ş. (2008). *Hizmet Sektörü İçin Bir Tepkisel Çizelgeleme Sistem Önerisi Acil Servis Kontrol Sistemi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kocadayı, Y., Erkaymaz, O. ve Uzun, R. (2017). Yapay Sinir Ağları ile Tr81 Bölgesi Yıllık Elektrik Enerjisi Tüketiminin Tahmini. *Bilge International Journal of Science and Technology Research, 1 (Special Issue): 59-64.*
- Küçükali, S. ve Barış, K. (2010). Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach. *Energy Policy, 38(5):2438-2445.*
- LEWIS, C.D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*, Londra, *Butterworths Publishing.*
- Mamdani, E.H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, *Int. Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1-13.*
- Michalewicz, Z. (1996). *Genetic algorithms + data structures = evolution programs*(3rd ed.). Berlin: *Springer-Verlag New York, 387p.*
- Michalewicz, Z. ve Fogel, David B. (2004). *How to Solve It: Modern Heuristics*, 2nd Edition, *Springer.*
- M.Mizumoto.H. Li & M. M. (2007). *Improvement of Fuzzy Control Methods*. Fuzzy Logic and Intelligent Systems (s:8-11). USA: Springer.
- Morova, N., Terzi, S. ve Saltan, M. (2014). *Adaptif Sinirsel Bulanık Tahmin Yöntemi İle Esnek Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi*. Yenilikler, A. S., & Sempozyumu, U. Bildiriler Kitabı.
- Nabiyev, V.V. (2010). *Yapay Zeka 3.baskı, 583-616, Ankara.*
- Oraler, G. (1990). *Genetik I, İ.Ü. Fen Fakültesi, Genetik Ders Notları, İstanbul.*

- Özçalık, H.R., Uygur, A.F. (2003). Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel-Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etken Modellenmesi, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 6(1): 36-46.
- Özkan, R. (2003). *Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Genetik Algoritma İle Çözüm Yaklaşımı*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 37-79.
- Özkaya, İ.(2002). *Genetik Algoritmalar*, Lisans Tezi, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Öznur, İ. & Korukoğlu, S. (2003). Genetik algoritma yaklaşımı ve yöneylem araştırmasında bir uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10 (2), 191-208.
- Öztürk, H.K., Ceylan, H., Canyurt, O.E. ve Hepbaşlı, A. (2005). Electricity estimation using genetic algorithm approach:a case study of Turkey. *Energy*, 30(7), 1003–1012.
- Öztürk, M., Hançer, M., vd. (2010). Bulanık Mantık Hesaplamalarına Dayalı Bulanık Mantık Hesaplamalarına Dayalı Binalarda Isı Kayıp-Kazanç Yaklaşımı, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS*, Diyarbakır, 14-16 Ekim 2010.
- Paksoy, S. (2007). *Genetik Algoritma İle Proje Çizelgeleme* (Yayımlanmamış Doktora Tezi).Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Adana.
- Paksoy, S.& Uzun, A. (2008). Genetik algoritma ile kaynak kısıtlı proje çizelgeleme. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 17, Sayı 2, s.345–362 345.
- Paksoy, T., Yapıcı Pehlivan, N. ve Özceylan, E. (2013). *Bulanık Küme Teorisi, Bulanık Matematiksel Programlamaya Giriş*. Nobel Yayınevi, Ankara.
- Pao, H.T. (2006). Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan's electricity consumption. *Energy*, Cilt 31, No 12, 2129-2141.
- Rençber, Ö.F. (2017). *Bulanık Ve Yalın Yapay Sinir Ağları İle Çoklu Lojistik Regresyon Yöntemlerinin Sınıflandırma Performanslarının Karşılaştırılması: Ülkelerin Gelişmişlik Düzeylerinin Sınıflandırılması Üzerine Bir Uygulama* (Yayımlanmamış Doktora Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.
- Sakawa, M. (2002). *Genetic Algorithms and Fuzzy Multiobjective Optimization*, Kluwer Academic Publishers.

- Sastry, K., Goldberg, D. ve Kendall, G. (2005). *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. USA: Springer.
- Sevil, Ş. (2006). *Genetik Algoritmalar İle Enerji İletim Kayıpları ve Saatlik Yakıt Giderleri Optimizasyonu*, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özkaymak, M., (2005). Turkey's net energy consumption. *Applied Energy*, 81(209–221).
- Şen, Z. (2004). *Genetik Algoritmalar ve En İyileme Yöntemleri*, İstanbul: Su Vakfı.
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) ile Modelleme Prensipleri*, İ.T.Ü. Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- Taş, Ü. (2009). *Fizyolojik Sistemlerin Yapay Zekâ Teknikleri Kullanılarak Modellenmesi Ve Kontrolü İçin Eğitim Amaçlı Bir Simülatör Tasarımı* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü, İstanbul, 10-13*.
- Taşkın, Ç., & Emel, G. G. (2009). *Sayısal yöntemlerde genetik algoritmalar*. Alfa Aktüel.
- Toksarı, M. D. (2007). Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35(8), 3984-3990.
- Toksarı, M. D. (2009). Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: case of Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1181-1187.
- Türksen, B. (2015). *Dereceli (Bulanık) Sistem Modelleri*. İstanbul : Abaküs Yayınevi.
- Tso, G. K., ve Yau, K. K. (2007). Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy*, 32(9):1761-1768.
- Tsoukalas, L.H.& Uhrig, R.E. (1996). *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*. New York, NY: John Wiley & Sons, 600s.
- Ünler A. (2008). Improvement of Energy Demand Forecasts Using Swarm Intelligence: The Case of Turkey with Projections to 2025. *Energy Policy*, Vol. 36, ISS: 6, pp. 1937–1944.
- Yakut, E., Elmas, B., & Yavuz, S. (2014). Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19(1).

- Yarar, A. (2010). *Susurluk Havzası Yağış Akış Verilerinin Modellenmesi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yılmaz, M. (2005). Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, 23-25 Kasım 2005.
- Yılmaz, Z. ve Ocak, Ş. (2008). Bulanık Mantık ile Aneminin Belirlenmesi. 1. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu s:375-381. Çankaya Üniversitesi.
- Yiğit, V. (2011). Genetik Algoritma ile Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2020 Yılına Kadar Tahmini, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.3, No.2, June 2011.
- Yeo, M. F. ve E. O. Agyei (1998). Optimising engineering problems using genetic algorithms, *Engineering Computations*, Vol.15, No.2, ss.268-280.
- Yigit, V. (2011). Genetik Algoritma ile Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2020 Yılına Kadar Tahmini. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(2), 37-41.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*. 8(3), 338-353
- Zadeh, L. A. (1968). Probability Measures of Fuzzy Events. *Journal of Math. Analy. and Applications*, 421-427.
- Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning—II. *Information sciences*, 8(4), 301-357.
- Zadeh, L. A. (1995). Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, s.338-53.
- ZHANG, G. ve HU, M.Y. (1998). Neural Network Forecasting of the British Pound/US Dollar Exchange Rate, *Omega International journal of Management Science*, 26(4): 495-506.
- <https://www.enerji.gen.tr/elektrik-enerjisi.html> (17.07.2018)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Merve BİLGEN
Doğum Yeri : Göksun
Adres : Merkez/ OSMANİYE
İletişim : mervebilgen@osmaniye.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı, 2014-
Lisans : Girne Amerikan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, 2005-2009

İŞ DENEYİMİ

2007-2009 Bilgisayar Mühendisliği bölüm dersleri, Matematik ve İngilizce alanında özel ders
2008 Ayyıldız Müt. Org. Hiz. San. Tic. Ltd. Şti. / Bilgisayar ve Bilişim Teknolojileri Görevlisi
2009-2010 Arçelik Yetkili Servisi / Bilgisayar Teknolojileri ve Donanımı Görevlisi
2010-2011 And.Tek.Lis.Tek.Lis. ve Mes. ve Tek.Eğt.Mrkz./Bilgisayar Teknolojileri / İngilizce
2010-2011 & 2011-2012 Göksun Meslek Yüksekokulu / Bilgisayar Teknolojileri
2011-2012 Göksun Anadolu İmamhatip Lisesi / İngilizce
2011(Haziran-Temmuz-Ağustos) Göksun Halk Eğitim Merkezi Müdürlüğü / Usta Öğretici
2013 (Ocak-Haziran) Göksun Anadolu Sağlık Meslek Lisesi / İngilizce
2014- Osmaniye Meslek Yüksekokulu / Öğretim Görevlisi

OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 25/07/2018

Tez Başlığı / Konusu: TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN GENETİK ALGORİTMA VE ANFİS İLE MODELLENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 95 sayfalık kısmına ilişkin, 25/07/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme tiplerinden biri uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 16 'dır.

Filtreleme Tip 1 (maksimum %30)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça dâhil,
- 3- Alıntılar dâhil.

Filtreleme Tip 2 (maksimum %10)

- 1- Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç,
- 2- Kaynakça hariç,
- 3- Alıntılar dâhil,
- 4- 5 Kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç.

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

26.07.2018

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Merve BİLGİN YAŞAR

Öğrenci No: 14YLYBS1103

Anabilim Dalı: Yönetim Bilişim Sistemleri

Programı:

Statüsü: Y.Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr.Öğr.Üyesi Emre YAKUT

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ENSTİTÜ ONAYI

UYGUNDUR.

Arç.Öğr.Üyesi Erdem KÜRKÜ

(Unvan, Ad Soyad, İmza)