

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ANFİS İLE TÜRKİYE’NİN DOĞALGAZ TALEP
TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman	Hazırlayan
Yrd.Doç.Dr. Hasan SÖYLER	Eylem KALAYCI

MALATYA 2015

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANFIS İLE TÜRKİYE’NİN DOĞALGAZ
TALEP TAHMİNİ

YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN	HAZIRLAYAN
YRD.DOÇ.DR. HASAN SÖYLER	EYLEM KALAYCI

Jürimiz 09.07.2015 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda bu yüksek lisans tezini oybirliği ile başarılı bularak Ekonometri Anabilim Dalı yüksek lisans tezi olarak kabul etmiştir.

Jüri Üyelerinin Unvan Ad Soyadı

1. Prof.Dr.Mehmet GÜNGÖR
2. Yrd.Doç.Dr.Hasan SÖYLER
3. Yrd.Doç.Dr.Gökhan GÖKDERE

imzası



İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararıyla bu tezin kabulü onaylanmıştır.

Prof.Dr.Mehmet KARAGÖZ
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

ONURSÖZÜ

Yrd. Doç. Dr. Hasan SÖYLER’in danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığım *“ANFİS ile Türkiye’nin Doğalgaz Talep Tahmini”* başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün yapıtların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Eylem KALAYCI



TEŞEKKÜR

Tez çalışmamız sırasında değerli katkılarından dolayı tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hasan SÖYLER'e teşekkür ederim. Bölüm içerisinde ilgi ve desteğini bizden esirgemeyen bölüm başkanımız Prof.Dr. Mehmet GÜNGÖR'e ve tez yazım aşamasında her daim yanımda olan ve beni destekleyen sevgili aileme şükranlarımı sunuyorum.



ÖZET

Türkiye’de meydana gelen sanayileşme, kentleşme ve hızlı nüfus artışı gibi faktörlerin sonucu olarak ve doğalgaz tüketiminin üstün yönlerinden dolayı doğalgaz talebinde önemli artışlar gerçekleşmektedir. Ancak Türkiye bir doğalgaz ülkesi olmayıp, enerji kaynağını sağlamakta dışa bağımlıdır. Bu nedenle doğalgaz talep miktarının doğru şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Talep tahmini ne kadar doğru olursa, doğalgaz ithalatı anlaşmaları, ülke içindeki altyapı yatırımları ve tüketim planlaması o kadar sağlıklı yapılabilir. Bu tez çalışmasında, “*Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi*” veya “*Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi*” denilen “ANFIS” (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) ile Türkiye’nin doğalgaz talep tahmininde bulunulmuştur. Doğalgaz tüketimini etkileyen pek çok faktör olmasına rağmen, bu çalışmada sadece gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), sıcaklık ve doğalgaza kavuşan nüfus oranı üç değişken girdi olarak ele alınmıştır. Çıktı değişkeni olarak ise doğalgaz tüketimi incelenmiştir. Veri seti 2002-2014 yılları arası aylık olarak düzenlenmiştir. ANFIS ile tahmin edilen doğalgaz tüketim verileriyle, gerçekte var olan doğalgaz tüketim verileri kıyaslanıp, model performansının ölçümü için kullanılan “MAPE” (Mean Absolute Percentage Error, ortalama mutlak hata yüzdesi) hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçta ortalama mutlak hata yüzdesi düşük çıkıp, uyarlamalı (adaptif) model ile başarılı bir tahmin sonucuna ulaşılmıştır. Son olarak, 2015 yılı için doğalgaz talebi tahmin edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: ANFIS, doğalgaz talebi, MAPE.

ABSTRACT

There have been dramatical increases in the demand of natural gas due to its superior consumption benefits and as a result of the industrialization, urbanization and rapid population increase in Turkey. However, Turkey is not a natural gas country, nor is dependent on abroad in terms of providing its energy. That's why, it is of great significance that Turkey determine the amount of demand of natural gas. The more agreements on import of natural gas, the infrastructure investments across the country and the planning of the consumption. In this study, the prediction for the natural gas demand of Turkey through ANFIS which is “Adaptive Neuro-FuzzyInference System”. Though there have been many factors affecting the consumption of natural gas, only Gross Natural Product (GNP), temperatue and natural gas gained population ratio has been taken into consideration as three input parameters. As the output paramater, the consumption of natural gas has been examined. The data set has been arranged monthly between the years of 2002-2014. The data of natural gas consumption predicted by ANFIS and the real natural gas consumption data have been compared and MAPE (Mean Absolute Percentage Error), used for the measurmeent of the performance of the model, has been calculated. In the result calculated, the MAPE was low and a successful prediction was obtained through adaptive model. Finally, the demand for natural gas for 2015 was predicted.

Key Words: ANFIS, demand of natural gas, MAPE.

İÇİNDEKİLER

ONURSÖZÜ	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
HARİTALAR DİZİNİ	xi
KISALTMALAR.....	xii
GİRİŞ	1
BÖLÜM 1: DOĞALGAZ	3
1.1. Doğalgaz Hakkında Genel Bilgi	3
1.2. Doğalgaz Piyasası	4
1.2.1. Doğalgaz Sektörünün Genel Ekonomik Özellikleri.....	4
1.2.2. Doğalgaz Piyasasının Arz ve Talep Yapısı	5
1.2.3. Doğalgazın Çevreci, Az Maliyetli ve Jeopolitik Yönü	5
1.2.4. Doğalgazın Finansal ve Fiyatlandırma Boyutu	6
1.2.5. Doğalgazın İkame Mal ve Rekabete Açık Olması	6
1.2.6. Doğalgazın Ekonomik Geleceği.....	6
1.3. Doğalgaz Sektöründe Küresel Gelişmeler	7
1.3.1. Doğalgaz Rezervleri.....	7
1.3.2. Doğalgaz üretimi	8
1.3.3. Doğalgaz Tüketimi.....	9
1.3.4. Doğalgaz Ticareti	10
1.3.5. Doğalgaz Fiyatları	11
1.3.6. Doğalgazda Talep Senaryosu.....	12
1.4. Türkiye’de Doğalgaz Sektörünün Yapısı ve Gelişimi	13
1.4.1. Enerji Arzı ve Dağılımı	15
1.4.2. Doğalgaz Tüketimi.....	16
1.4.3. Doğalgaz İthalatı	16
1.4.5. Doğalgazın Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı.....	19
1.4.6. Doğalgaz Arz-Talep Senaryosu	20

2.1. Doğalgaz Talep Tahmin Çalışmaları	21
2.2. Anfis İle Yapılmış Tahmin Çalışmaları	24
BÖLÜM 3: TEORİK ALTYAPI	27
3.1. Bulanık Mantık	27
3.1.1. Mantık ve Çeşitleri	27
3.1.1.1. Klasik Mantık.....	28
3.1.1.2. Sembolik Mantık.....	29
3.1.1.3. Bulanık Mantık.....	30
3.1.2. Bulanık Mantığın Ortaya Çıkışı.....	33
3.1.3. Bulanıklık ve Belirsizlik	34
3.1.4. Dilsel (Ya da Sözel) Değişkenler ve Sözel Eşikler	36
3.1.5. Bulanık Mantıkta Paradoks	36
3.1.6. Bulanık Küme Kavramı	39
3.1.7. Üyelik Fonksiyonu.....	41
3.1.8. Üyelik Derecesi Atanması.....	43
3.1.9. Üyelik Fonksiyon Tipleri	44
3.1.10. Bulanık Kümeler ve Olasılık.....	45
3.1.11. Klasik ve Bulanık Kümeler	46
3.1.11.1. Klasik Kümeler	46
3.1.11.2. Bulanık Kümeler	47
3.1.12. Bulanık Sistemler	49
3.1.13. Bulanık Mantık Denetleyicisinin Üstünlük ve Sakıncaları	50
3.1.14. Bulanık Mantığın Uygulamaları.....	51
3.1.15. Bulanık Mantığın Doğu ve Batı Ekseninde Kültürel Yaklaşımı	53
3.1.16. Bulanık Modelleme Çeşitleri	54
3.1.16.1. Mamdani Yöntemi	54
3.1.16.2. Takagi - Sugeno Yöntemi	55
3.2. Yapay Sinir Ağları	56
3.2.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı.....	57
3.2.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri.....	57
3.2.3. Biyolojik Sinir Sistemi	58
3.2.4. Biyolojik Sinir Hücreleri.....	58
3.2.5. Yapay Sinir Hücresi	59
3.2.6. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı.....	61

3.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları.....	62
3.2.8. Yapay Sinir Ağlarının Türleri	64
3.2.9. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi	66
3.3. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS).....	66
3.3.1. ANFIS Modelinin Mimarisi	68
BÖLÜM 4: UYGULAMA.....	71
4.1. Modelin Genel Yapısı	71
4.2. Modelde Kullanılan Parametrelerin Derlenmesi.....	71
4.3. Modelin Oluşturulma Süreci	72
4.4. Modelin Tahmin Sonuçları	80
4.5. 2015 Yılı Doğalgaz Tüketim Tahmini	87
BÖLÜM 5: SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	89
KAYNAKÇA.....	91

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo1.1 Enerji Kaynaklarında Dünya Birincil Enerji Tüketimi ve Projeksiyonu (Mtep) (IEA WEO 2010'dan aktaran EPDK, 2012: 13).....	10
Tablo1.2. Dünya Doğal Gaz Talebi ve Tahmini (milyar m ³) (World Energy Outlook 2013 ve Uluslararası Enerji Ajansı'ndan aktaran, EPDK, 2014:6)	13
Tablo1.3. Türkiye'nin Doğalgaz Anlaşmaları (1988 – 2046) (http://www.botas.gov.tr/index.asp).....	14
Tablo1.4. Doğalgazda Dış Ticaret (Milyon cm ³) (http://www.botas.gov.tr/index.asp) .	18
Tablo1.6. Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları (TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri).....	19
Tablo 1.7. BOTAŞ'ın Arz-Talep Senaryosu (BOTAŞ, http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_arztaleb_sen.asp)	20
Tablo 1.8. Dünya Bankası Arz-Talep Senaryoları (Dünya Bankası, 2004)	20
Tablo 1.9. Ulusal Doğal Gaz Tüketim Tahmini ve Gerçekleşme Değerleri (cm ³) (EPDK, 2014: 93).....	21
Tablo 3.1. Klasik ve bulanık mantık arasındaki temel farklar.....	31
Tablo 3.3. Bulanık Mantık Uygulamaları (Kaynak, O., ve G., Armağan, 1993)	51
Tablo 3.6. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzeşimleri (Sağıroğlu vd., 2003: 33).	61
Tablo 3.7. İstatistiksel yöntemlerle yapay sinir ağlarının terminolojik benzeşimleri (Sağıroğlu vd., 2003: 33).	61
Tablo 3.8. Yapay sinir ağları ve uygulama alanları(Elmas, 2011:161).	62
Tablo 4.1. Alternatif üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen test hata değerleri	81
Tablo 4.2. Aylık Doğalgaz Tüketim Verilerine İlişkin Gerçekleşen Değerler (milyon m³).....	83
Tablo 4.3. Aylık Doğalgaz Tüketim Verilerine İlişkin Tahmini Değerler (milyon m³)	84
Tablo 4.4. 2015 yılı aylar olarak doğalgaz tüketim tahmini verileri (milyon m³)	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Küresel Olarak En Fazla Doğal Gaz Rezervine Sahip İlk 10 Ülke (BP Statistical Review, 2013'ten aktaran TPAO, 2013: 16).....	8
Şekil 1.2. Bazı Ülkelerin Doğalgaz Üretim Değişim Projeksiyonu (UEA, WEO, 2013'ten aktaran TPAO, 2013: 17)	8
Şekil 1.3. 2010'da Dünya Birincil Enerji Tüketiminin Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (BP Statistical Review of World Energy 2011'den aktaran EPDK, 2012: 12).....	9
Şekil 1.4. Bazı Bölge ve Ülkelerin 2035 Yılı Doğal Gaz Tüketim Projeksiyonu (IEA, WEO, 2013'ten aktaran TPAO, 2013: 21)	11
Şekil 1.5. 2012 Yılı Henry Hub Doğal Gaz Fiyatları (TPAO, 2013: 22).....	12
Şekil 1.6. Yeni Politika Senaryosuna Göre Sektörel Bazda Dünya Gaz Talebi (EPDK, 2014:6).....	12
Şekil 1.7. 2012 Türkiye Birincil Enerji Arzı	16
Şekil 1.8. 2012 Türkiye Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı	16
Şekil 1.9. 2004-2013 Döneminde Türkiye'nin Doğalgaz Arzı ve Yerli Üretim Oranları (m ³ /yıl) (TPAO, 2013: 27)	16
Şekil 1.10. 2013'te Türkiye'nin İthal Ettiği Doğal Gazın Menşe Ülkelere Göre Dağılımı (EPDK'den aktaran TPAO, 2013: 28).....	17
Şekil 1.11. 2000–2013 Yılları Arasında Türkiye Doğal Gaz Üretimi (TPAO, 2013: 32 ve EPDK, 2014: 13).....	18
Şekil 3.1. Yeşil, siyah ve mavi renk kümeleri (Altaş, 1999).....	36
Şekil 3.2. Aylar ve ait oldukları mevsimlerin klasik küme ile gösterimi	42
Şekil 3.3. Aylar ve ait oldukları mevsimlerin bulanık küme ile gösterimi.....	42
Şekil 3.4. Klasik kümelerle boy sınıflaması	42
Şekil 3.5. Bulanık kümelerle boy sınıflaması.....	43
Şekil 3.6. Telefon boyutlarının bulanık alt kümeleri.....	44
Şekil 3.7. Klasik kümelerin birleşimi, kesişimi ve tümleyeni	47
Şekil 3.8. Bulanık kümelerin birleşimi, kesişimi ve tümleyeni.....	49
Şekil 3.9. Mamdani Tipi Bulanık Çıkarım Sistemi (Akyılmaz, 2005 aktaran Yılmaz M., ve E., Arslan 2005: 516).	55
Şekil 3.10. Biyolojik Sinir Sisteminin Blok Gösterimi	58
Şekil 3.11. Biyolojik sinir hücresinin yapısı.....	59

Şekil 3.12. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı (Öztemel, 2012 : 48)	60
Şekil 3.13. Yapay sinir ağı yapısı (Cayıroğlu, 2015)	62
Şekil 3.14. Bulanık Çıkarım Sistemi (Jang, 1993)	68
Şekil 3.15. Anfis Mimarisi (Jang, 1993)	69
Şekil 4.1. Talep tahmin modeline ilişkin BÇS'nin temel yapısı	71
Şekil 4.2. ANFIS açılış ekranı	72
Şekil 4.3. Eğitim, kontrol ve test verilerinin ANFIS'e yüklenmesi	73
Şekil 4.4. Alternatif girdi/çıktı üyelik fonksiyonu tipleri	74
Şekil 4.5. Eğitilmiş ANFIS editörü	75
Şekil 4.6. Izgara bölümlleme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan modelin ağ yapısı	76
Şekil 4.7. GSYH verisine ait üyelik fonksiyonları	77
Şekil 4.8. Sıcaklık verilerine ait üyelik fonksiyonları	77
Şekil 4.9. Nüfus verilerine ait üyelik fonksiyonları.....	78
Şekil 4.10. Izgara bölümlleme yöntemi ile oluşturulan modelin çıktı üyelik fonksiyonları.....	78
Şekil 4.11. ANFIS modelinin oluşturulduğu kurallar.....	79
Şekil 4.12. ANFIS'in belirlediği kuralların grafiksel gösterimi	80
Şekil 4.13. Eğitim veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin oluşması (O gerçek değerler, * model çıktıları)	81
Şekil 4.14. Kontrol veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi (+ gerçek değerler, * model çıktıları)	82
Şekil 4.15. Test veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi (● gerçek değerler, * model çıktıları).....	82
Şekil 4.16. ANFIS'de gerçek değerlerle, tahmin edilen değerlerin grafik olarak gösterimi.....	85
Şekil 4.17. Alt kümeleme yöntemiyle oluşturulan (grid partition) yöntemi ile oluşturulan modelde değişkenler arası üç boyutlu ilişki.....	86
Şekil 4.18. Tahmin sonuçlarının karşılaştırılması	88

HARİTALAR DİZİNİ

Harita 1.1. 2012 Yılı Dünya İspatlanmış Doğal Gaz Rezervleri Dağılımı (BP Statistical Review, 2013'ten aktaran TPAO, 2013: 16).....	7
---	---



KISALTMALAR

ANFIS	: Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
BOTAŞ	: Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirket
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
GSMH	: Gayri Safi Milli Hasıla
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
m^3	: metre küp
MSE	: Hata kareleri ortalaması
MAPE	: Ortalama mutlak hata yüzdesi
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
PİGM	: Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
RMSE	: Hata karelerin ortalamasının karekökü
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
THT	: Tetra Hidro Teofen
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USBM	: Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık
YSA	: Yapay Sinir Ağları

GİRİŞ

Havayı kirletmeyen, çevre dostu bir enerji kaynağı olan doğalgaz, kömür ve fuel oilden daha çabuk yanması, depolama yeri gerektirmemesi, atık madde bırakmaması, kontrol edilebilir bir enerji kaynağı olması ve ekonomik üstünlüklerinden dolayı, başta ısınma olmak üzere, elektrik üretimi ve sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle 1980'li yıllardan sonra Türkiye'de meydana gelen endüstrileşme, kentleşme ve hızlı nüfus artışı gibi faktörlerin sonucu olarak doğalgaz talebinde önemli artışlar gerçekleşmiştir. Önümüzdeki yıllarda doğalgaza olan talebin daha da artması beklenmektedir.

Türkiye, üretici ve ihracatçı bağlamında bir doğalgaz ülkesi değildir. Yeni keşifler yapılmadığı takdirde, bugünkü durumda, kalan üretilebilir doğalgaz rezervinin yaklaşık 10 yıllık ömrü vardır. Ülkemizde doğalgaza talebin her geçen gün artması ve yurtiçi rezerv ve üretim miktarlarının da bu talepleri karşılamak için yeterli olmaması ithalatı zorunlu kılmaktadır. Enerji kaynağının temini noktasında dışa bağımlı bir politika izlemektedir. Türkiye doğalgaz talebinin %98'ini ithalatla karşılamaktadır. Türkiye doğalgaz ihtiyacının büyük çoğunluğunu boru hatları yardımıyla Rusya'dan ithal etmekte, onu ise İran, Azerbaycan ve Cezayir izlemektedir. Uzun dönemli doğalgaz anlaşmaları yapılmaktadır. Tamamen dışa bağımlı olduğumuz doğalgaz sektöründe doğalgaz talep miktarının doğru şekilde belirlenmesi oldukça önemlidir. Doğalgaz talebinin doğru bir şekilde belirlenmesi doğalgaz alımı ile ilgili anlaşmaları ve yapılacak yatırımları etkileyecektir. Talep tahmini ne kadar doğru olursa, yapılan planlama çalışmaları da o kadar sağlıklı olacaktır. Böylece üretilen veya satın alınan doğalgaz miktarı talep edilenden fazla ya da az olması halindeki durumlarda ortaya çıkabilecek kayıplar en aza indirilmiş olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, son yıllarda birçok araştırmacı çeşitli enerji konularını analiz etmiş ve özellikle enerji talep tahmin modelleri üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Doğalgaz talep tahmini çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları istatistiksel yöntemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık ve ANFIS modelleridir. Bu gibi talep tahmini yöntemleri bulunmasına rağmen bu uygulamada ANFIS yöntemi kullanılmıştır. ANFIS kendi kendine kural oluşturabilme yeteneğinden avantajlı bir yapay zekâ yöntemidir. ANFIS girdi/ çıktı veri setini kullanarak üyelik fonksiyonu

parametrelerini düzenler; yani kendini modelleyeceği veriye göre uyarlar (adapte eder); bu nedenle uyarlamacıdır (adaptiftir). Bu sebeplerden dolayı tahmin çalışmamızda ANFIS kullanımı tercih edilmiştir.

Yapılan literatür taramasında genellikle kullanılan verilerin, yıllık ya da çeyrek dönemli olarak kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca genellikle GSYH ve nüfus girdilerinin kullanıldığı fark edilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında ise diğer çalışmalardan farklı olarak aylık veriler kullanılmıştır. Ayrıca sıcaklığın doğalgaz tüketimi üzerinde etkisi olduğundan, diğer çalışmalardan farklı olarak sıcaklık girdisi de ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında ise “*ANFIS ile Türkiye’nin Doğalgaz Talep Tahmini*” yapılmıştır.

Çalışmamız beş ana bölümden oluşmaktadır:

İlk bölümde doğalgaz hakkında genel bilgiler, doğalgaz piyasası, doğalgaz sektöründe küresel gelişmeler, Türkiye’de doğalgaz sektörünün yapısı ve gelişimi incelenmiştir.

İkinci bölümde literatür taraması yapılmıştır. Burada, hem doğalgaza ilişkin olan ve hem de ANFIS ile yapılan tahmin çalışmalarına değinilmiştir.

Tezin teorik çatısının kurulduğu üçüncü bölümde, yapay zekâ tekniklerinden Bulanık Mantık ile Yapay Sinir Ağları tekniklerinin birlikte kullanıldığı karma bir yöntem olan ANFIS (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) ve bunun alt yapısını oluşturan Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise Uygulama yapılmıştır. 2002-2014 yılları arası aylık veriler kullanılarak 2015 yılı için doğalgaz tüketim miktarları tahmin edilmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise teze ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır.

BÖLÜM 1: DOĞALGAZ

1.1. Doğalgaz Hakkında Genel Bilgi

Doğalgaz metan, etan, propan gibi hafif moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır (Doğalgaz Araştırma, 2015).

Doğalgaz doğal olaylar sonucu oluşmuştur. Doğalgaz, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarının zamanla yeryüzü kabuğunun derinliklerine gömülüp kimyasal ayrışma uğraması sonucu oluşmuştur. Organik madde olarak bilinen bu bitki ve hayvan artıkları doğal süreçler sonucu göl ve okyanuslarla taşınıp, dibe çökerek çamur ve kumla kaplanarak kayalar. Giderek daha derine gömülen bu organik madde, basınç, sıcaklık ve bir ihtimalle de bakteri ve radyoaktivitenin etkisiyle ayrılarak petrol, kömür ve doğalgazı oluşturmuştur (Türkiye'nin Autocad Portalı, 2015).

İtalyan bilim adamı “Lazzara Spollanzoni”, Flemenk bilim adamı “Jan Baptista Van Helmont” un 1609’da ürettiği “gaz” teriminden esinlenerek, 1975 yılında “doğalgaz” için bu terimi kullanan ilk kişi olduğunu ileri sürmektedir (Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı 1997’den aktaran Dokuzlar, 2006).

Doğalgazın başlıca özellikleri şunlardır: Renksiz, kokusuz, zehirsizdir, havadan hafiftir.

Doğal haliyle kokusuz olan doğalgaza, gaz kullanıcılarının herhangi bir gaz kaçağını kolaylıkla fark edebilmesi için koku verici maddeler eklenebilir. Genellikle şebekeye verilen doğalgaza THT (Tetra Hidro Teofen) adı verilen çürük sarımsak kokusunu oluşturan madde katılmaktadır (Hattuşa Enerji, 2015).

Doğalgazı diğer enerji kaynaklarından daha farklı tutan birçok avantajı vardır. Bu avantajlar:

- Gaz olduğu için hava ile karışım miktarı fazla olduğundan yanma verimi çok yüksektir.
- Kömür ve fuel oil den daha çabuk yanar.
- Doğalgaz uzun süreli bir enerji kaynağıdır. Büyük rezervlerden, on yıllar ötesine kadar uzanan sağlam anlaşmalarla emniyete alınmıştır.
- Doğalgaz depolama yeri gerektirmez, böylece binalarda boş alanlar elde edilir.
- Doğalgaz kullanıldıktan sonra ödenir, önceden ödeme gerektirmez.

- Bir apartmanda her dairenin ayrı gaz sayacı edinmesi halinde ne kadar gaz sağlandığı kolaylıkla belirlenir.
- Doğalgaz ekonomiktir. Zaman ve işgücü tasarrufu sağlanır. Küçük kazanlar kullanarak yakılır bu özelliği de yerden tasarruf etmemizi sağlar.
- Doğalgazın yanması için gerekli hava en azdır. Kömürde ihtiyaç duyulan hava % 20-30, fuel oil de ihtiyaç olan hava %10-20 iken bu oran doğalgazda %5-10 arasındadır.
- İçerisinde kükürt ve karbon bulunmadığı için çevre dostudur. Hava kirliliğine yol açmaz.
- Cihaz bakım masrafları azdır çünkü atık ürünlere sahip değildir. Doğalgaz konutlarda ısınma, pişirme ve sıcak su elde etmede kömür ve tüp Gaz'dan daha ekonomiktir.
- Toplu taşıma araçlarında sıkıştırılmış doğalgaz kullanımı trafikten kaynaklanan hava kirliliğini azaltmıştır.
- Doğalgaz sessiz ve gözden uzak yer altı boru şebekesiyle 24 saat kesintisiz ve emniyetli olarak dağıtılmaktadır.
- Doğalgaz borular sayesinde ulaştığı için depolama maliyeti yoktur.
Ancak bu avantajların yanı sıra çok sayıda olmasa da doğalgaz kullanımının dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar:
- Ülkemizde doğalgaz çok az miktarda bulunmaktadır bu yüzden de neredeyse tamamen dışa bağımlı bir kullanım söz konusudur.
- Küçük bir kıvılcımla patlama olasılığı vardır ve büyük zararlar verebilir.
- Denetimi dikkatli yapılmadığı takdir de çok büyük can ve mal kayıpları yaşanabilir.

Yukarda belirtilen doğalgazın avantajları ve dezavantajları bir teraziye konulduğunda görülmektedir ki avantajları çok daha ağır basmaktadır. Bu sebeplerle doğalgaz kullanımı günden güne artmaktadır.

1.2. Doğalgaz Piyasası

1.2.1. Doğalgaz Sektörünün Genel Ekonomik Özellikleri

Doğalgaz, dünyada ilk kez M.Ö. 60.-20.yüzyıllarda İran'da belirlenmiş olup genellikle petrol ile bir arada bulunan bir enerji kaynağıdır. Ekonominin her alanında kullanılan bu enerji kaynağı yüksek bir ticari ve katma değere sahiptir.

Doğal gazı ilk ticarileştiren ülke İngiltere'dir. 1920'lerde boru hattı taşımacılığı yöntemlerinin uygulamaya konulmasıyla dünyada hızla artan doğalgaz kullanımı,

özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra sürekli olarak gelişmiştir. Amerika'da ise ilk doğalgaz kuyusu 1859'da kazılmış ve bu kuyu Amerika'da doğalgaz sanayisinin başlangıcı sayılmıştır (Pervan, 2006: 44).

Küreselleşen dünyada sürekli gelişen bir doğalgaz sektörü vardır. Doğalgaz sektörü dinamik bir yapıda olduğundan diğer sektörlerle etkileşim halindedir. Ekonomik büyüme ve dış ticaretin önemli bir konusudur. Gelişen ve enerji ihtiyacı ithalata dayanan Türkiye için de özel bir önem taşımaktadır.

Doğalgaz kendine özgü bir sektör ve bir piyasa olarak çeşitli özelliklere sahiptir.

1.2.2. Doğalgaz Piyasasının Arz ve Talep Yapısı

Dünyada doğalgaz rezervleri ve buna bağlı üretimi Ortadoğu ve Kafkasya gibi belli bölgelerde/ülkelerde yoğunlaşmıştır. Bu yoğunlaşma, doğalgazın uluslararası arzında, yarı tekelci (oligopolistik yani birkaç satıcının fiyatları belirlediği) yapıların oluşmasına neden olmaktadır. Zorunlu bir ihtiyaç olan doğalgazın tüketimi ise sürekli artmakta, bu da onun fiyat düzeyini ve arz güvenliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Enerji ihtiyacı fazla olan ülkelerin doğalgaz talebi sürekli yükselmektedir. Bu durumdan dolayı doğalgaz fiyatları da artabilmektedir. Doğalgaz satıcısı ve alıcısı ülkeler arasında, doğalgazın talebinin fiyat esnekliği düşük ve gelir esnekliği ise kısıtlıdır. Doğalgazın fiyatı yükseldiğinde, tüketicilerin doğalgaz tüketimini düşürememeleri, gelirlerinin büyük bir kısmını doğalgaz harcamaları için kullanmalarına ve dolayısıyla refah kaybı ile karşı karşıya kalmalarına neden olur. Konut sektörü, doğalgazı ağırlıklı olarak ısınma amaçlı kullanmakta ancak dolaylı olarak elektrik tüketimi nedeniyle de doğalgaz talebini etkilemektedir. Sanayi sektöründe ise doğalgaz hammadde olarak kullanılmakta olup ikamesi güçtür (Pervan, 2006: 46 ve 57).

1.2.3. Doğalgazın Çevreci, Az Maliyetli ve Jeopolitik Yönü

Doğalgaz, hem temiz ve çevre dostu bir yakıt olması, hem de kuyu başı fiyatları bakımından petrol ve kömür gibi diğer birincil enerji kaynaklarına göre daha düşük maliyetli olmasına bağlı çekici bir enerji kaynağıdır. Fakat doğalgazla ilgili en büyük kısıt sadece boru hatlarıyla taşınmasıdır. O yüzden doğalgaz, satıcı ve alıcı dışında, bir de taşınmasına aracılık eden ve boru hatların toprağından geçtiği üçüncü ülkeleri de ilgilendirmektedir. Buna göre, uluslararası gaz ticaretinin finansal ve yatırım boyutundan önce jeopolitik yanı ön plana çıkmaktadır. Gaz rezervlerine sahip devletler çoğu zaman

bu zenginliklerini dış politika aracı olarak kullanabilmektedir. Ayrıca gazın arzıyla talebin bulunduğu bölgeler arasında kalan köprü ülkeler de pazarda stratejik önemi büyük birer oyuncu haline gelebilmektedir.

1.2.4. Doğalgazın Finansal ve Fiyatlama Boyutu

Finansal bakımından ilk zorluk, gazın uzun mesafelere boru hatları ile taşınmasının yüksek sermaye isteyen bir faaliyet olmasıdır. Bunun yanında çoğu ihracat anlaşmasının en az 15-20 yıl gibi uzun sürelerle yapılıyor olması, pazarlık aşamasında da sıkıntılara yol açmaktadır. Gaza sahip olan ülkelerle ithal eden ülkeler arasındaki dikey ilişkide bir taraf için negatif olan durumun diğeri için pozitif olduğu, optimal bir risk paylaşımının zor olduğu ve bu ilişkinin üç temel üzerine kurulduğu görülmektedir: i) al ya da öde yükümlülükleri, ii) fiyat endeksleme (petrol), iii) ihracat yasağı (ulusal pazarların fiilen bölünmesi). Bu ve benzeri nedenler doğalgazın uluslararası ticaretinde sıkıntı yaratırken; doğalgaz endüstrisinin bir şebeke endüstrisi olmasından kaynaklanan zorluklar da ulusal ölçekte rekabetçi bir pazar yapısı oluşturma sürecini zorlaştırmaktadır. Bu endüstride kamu yararını gözeten devlet en büyük sermayedardır.

Devlet bu endüstrinin altyapısını kurar ve endüstriye girecek olan şirketlerin daha az risk ve maliyet yükselmesini sağlayarak piyasayı rekabete açar (Soysal, vd, 2012: 13-15, 68, 73).

1.2.5. Doğalgazın İkame Mal ve Rekabete Açık Olması

Türkiye’de, dünyanın birçok yerinde olduğu gibi, doğalgaz sektörüne yeni rakip sektörler hızla oluşmaktadır. Bunların başında nükleer enerji ile yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, vs) gelmektedir. Doğalgazın üretiminde ve tüketiminde ikame olgusu, rekabete bir ivme kazandırmaktadır.

1.2.6. Doğalgazın Ekonomik Geleceği

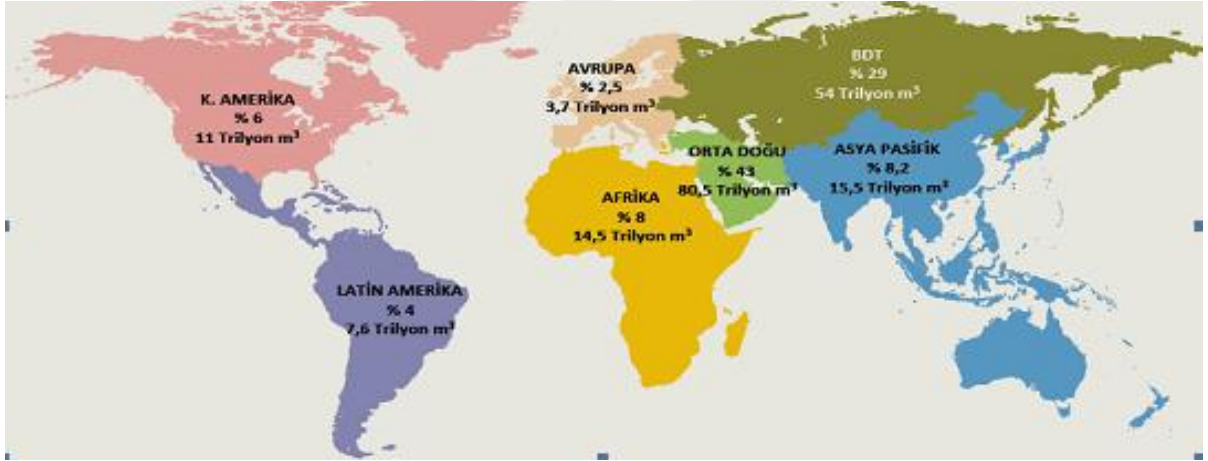
Kanıtlanmış rezervlerdeki artış, gelecekte doğalgazın küresel arzının küresel talebini kolay karşılayabileceğini göstermektedir. Uluslararası Enerji Ajansı’na göre, iklim değişikliği hedefleri istikrarlı veya esnek olsa da elektriğin doğalgaz tüketimindeki payının tüm politika senaryolarında artacağı öngörülmektedir. Yeni Politika Senaryosu, 2010-2035 arası dönemde elektrik üretimi için doğalgaz talebinin yılda %1,6 (toplam talep artışının %40’ı), sanayi talebinin yılda %1,9 ısınma amaçlı doğalgazın yılda %1,3

oranında artacağını göstermektedir. Doğalgaz talebinde bu dönemde yıllık en fazla artışın ise %1,9 oranı ile sanayi sektöründe görülmesi beklenmektedir (EPDK, 2013: 12, 16).

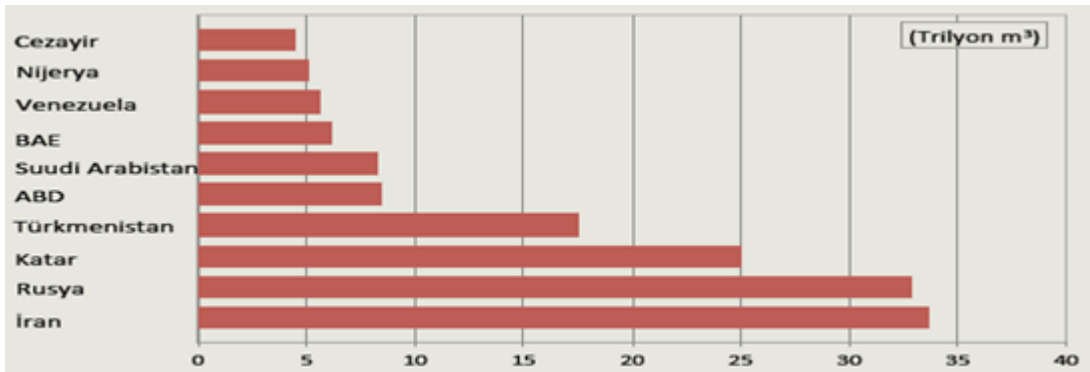
1.3. Doğalgaz Sektöründe Küresel Gelişmeler

1.3.1. Doğalgaz Rezervleri

2011’de 187,8 trilyon m^3 olan doğalgaz rezerv miktarı, 2012’de 5 milyar m^3 azalarak 187,3 trilyon m^3 olarak kaydedilmiştir. Dünya doğalgaz rezervlerinin % 43’ü Ortadoğu’da, % 29,1’i eski SSCB ülkelerinde, % 8’i Asya-Pasifik ülkelerinde, % 6’sı K.Amerika’da bulunmaktadır. OECD ülkelerinin doğalgaz rezervi ise 18,6 trilyon m^3 olup toplam rezervin % 10’unu oluşturmaktadır (Harita 1.1). 2012’de ise 33,6 trilyon m^3 ispatlanmış rezerv miktarı ile ilk sırada yer alan İran’ı 32,9 trilyon m^3 ile Rusya; 25,1 trilyon m^3 ile Katar izlemektedir (Şekil1.1). (TPAO, 2013: 16; ayrıca bkz. TEPAV, 2009: 1.)



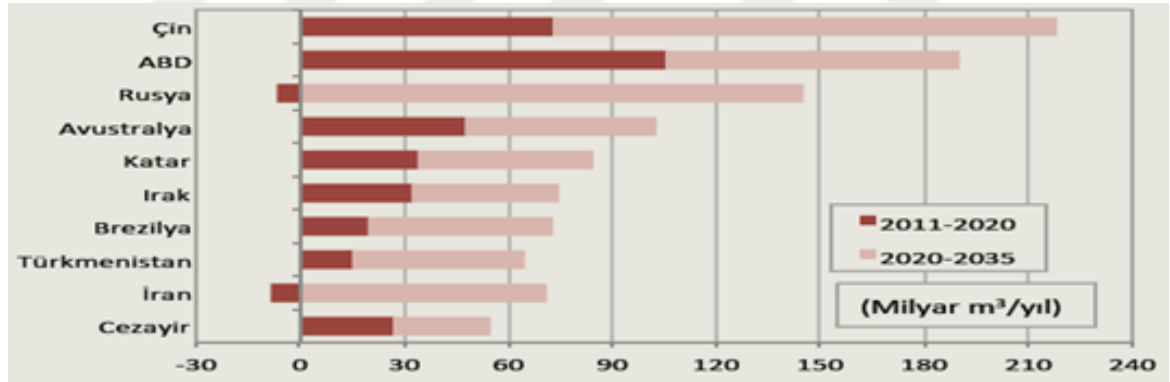
Harita 1.1. 2012 Yılı Dünya İspatlanmış Doğal Gaz Rezervleri Dağılımı (BP Statistical Review, 2013’ten aktaran TPAO, 2013: 16)



Şekil 1.1. Küresel Olarak En Fazla Doğal Gaz Rezervine Sahip İlk 10 Ülke (BP Statistical Review, 2013'ten aktaran TPAO, 2013: 16)

1.3.2. Doğalgaz üretimi

2011 başında 3,291 trilyon m^3 olarak gerçekleşen küresel doğalgaz üretimi, 2012'de % 1,9 artmış ve 3,364 trilyon m^3 olarak gerçekleşmiştir. Bu artış, büyük ölçüde S. Arabistan, ABD, Katar, Norveç ve İran'a dayanmaktadır. Doğalgaz üretiminin talep ile paralel olarak 2035'te %1,9 yıllık artışla 5,11 trilyon m^3 'e ulaşacağı ve bu artışın yaklaşık % 50'sinin “şeyl gaz¹” dan kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Çin, ABD, Rusya ve Avustralya ise, 2035 yılına kadar en fazla doğalgaz üretim artışı gösterecek ülkelerin başında gelmektedir (Şekil1.2.). K.Amerika'da, konvansiyonel olmayan gaz üretiminin, konvansiyonel kaynaklardan elde edilen gaz üretimindeki düşüşü fazlasıyla karşılaması öngörülmektedir. ABD gaz üretimindeki artışın 190 milyar m^3 civarında olması ve böylelikle 2035 yılı ABD gaz üretimi yaklaşık 840 milyar m^3 'e ulaşması beklenmektedir ki böylece dünyanın en büyük gaz üreticisi konumunu koruyacaktır (TPAO, 2013: 17).

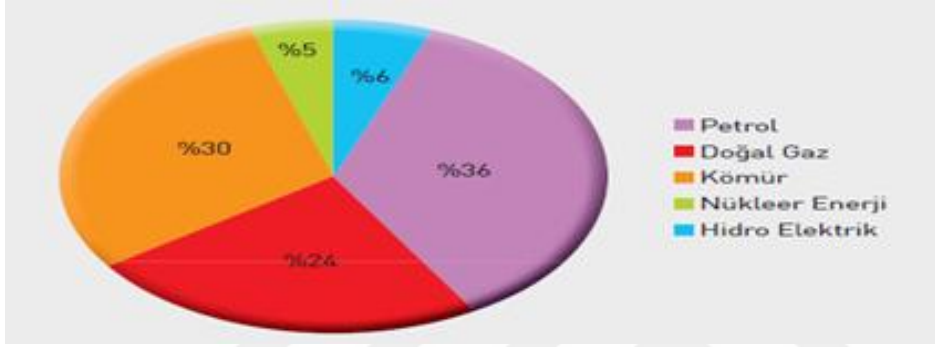


Şekil 1.2. Bazı Ülkelerin Doğalgaz Üretim Değişim Projeksiyonu (UEA, WEO, 2013'ten aktaran TPAO, 2013: 17)

¹ “Şeyl gaz” genellikle ince taneli ve tabakalı bir yapıya sahip, ayrıca kerojen adı verilen organik madde içermesinden dolayı ısıtıldığında petrol ve gaz üretilebilen tortul kayalar Şeyl olarak, bu kayalar içerisindeki gazlar ise Şeyl Gazları olarak adlandırılır. Doğalgaza alternatif bir gaz türüdür (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Petrol İşleri Müdürlüğü, 2012 :4)

1.3.3. Doğalgaz Tüketimi

2010'da küresel enerji tüketimi 1973 yılından bu yana en yüksek artışı gerçekleştirerek %5,6 oranında artmıştır. Enerji tüketim sepetini oluşturan petrol, doğalgaz, nükleer enerji, hidroelektrik ve kömür kalemlerine bakıldığında ise, 2010'da tüm enerji kaynaklarında tüketim 2009 krizi sonrası artarken, en yüksek artış oranı %7,6 ile kömürde en düşük artış oranı ise %3,1 ile petrolde gerçekleşmiştir. (2010 yılında dünyadaki birincil enerji tüketiminin enerji kaynakları bazında dağılımı Şekil1.3'de gösterilmektedir).



Şekil 1.3. 2010'da Dünya Birincil Enerji Tüketiminin Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (BP Statistical Review of World Energy 2011'den altaran EPDK, 2012: 12)

2012'de ise küresel doğalgaz talebi, bir önceki yıla göre % 2,2 bir artış göstererek tarihsel artış ortalaması olan % 2,7'nin altında kalmıştır. 2011'de 3,232 trilyon m^3 olan dünya doğalgaz talebi, 2012 yılı sonunda 3,314 trilyon m^3 olarak gerçekleşmiştir. Talep artışının en fazla görüldüğü bölgelerin başında G.Amerika, K.Amerika ve Afrika gelirken; ülkeler bazında da Çin ve Japonya, sırasıyla % 9,9 ve %10,3'lük oranla, en fazla gaz tüketim artışının yaşandığı ülkeler olmuştur. Doğalgaz talebinde AB ülkelerinde ortalama % 2,3 ve eski SSCB ülkelerinde ortalama %2,6 olmak üzere düşüş gözlenmiştir (TPAO, 2013: 20 ve EPDK, 2012: 12). 2035 yılı için yapılan projeksiyonlara göre doğalgazda tüketim, oransal olarak artsa da nükleer enerji tüketimine göre düşük düzeyde seyredecektir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2013'teki Yeni Politikalar Senaryosunda; gaz talebinin 2035'e dek ortalama yıllık % 1,6 artış göstererek 5 trilyon m^3 'e ulaşması ve bu artışın % 85'inin OECD dışı ülkelerin talebinden kaynaklanacaktır. Asya Pasifik'te, enerji tüketimindeki payı sınırlı olan gaz talebinin, özellikle Çin'de beklenen yüksek talebe bağlı olarak 4 kat artacağı tahmin edilmektedir. AB'nin en büyük gaz ithalatçısı konumunu sürdüreceği olmasına rağmen, gaz talebinin 2035'te 2010 düzeyine gerilemesi beklenmektedir. Bunda, bir yandan artan gaz fiyatları, diğer yandan ise AB'nin "20-20-

20'' olarak özetlenen enerji politikasının; talebi azaltma, verimliliği artırma ve enerji kompozisyonunda yenilenebilir kaynakların payını artırma yönündeki çabalarının etkili olması beklenmektedir (Tablo 1.1.).

Tablo1.1 Enerji Kaynaklarında Dünya Birincil Enerji Tüketimi ve Projeksiyonu (Mtep) (IEA WEO 2010'dan aktaran EPDK, 2012: 13)

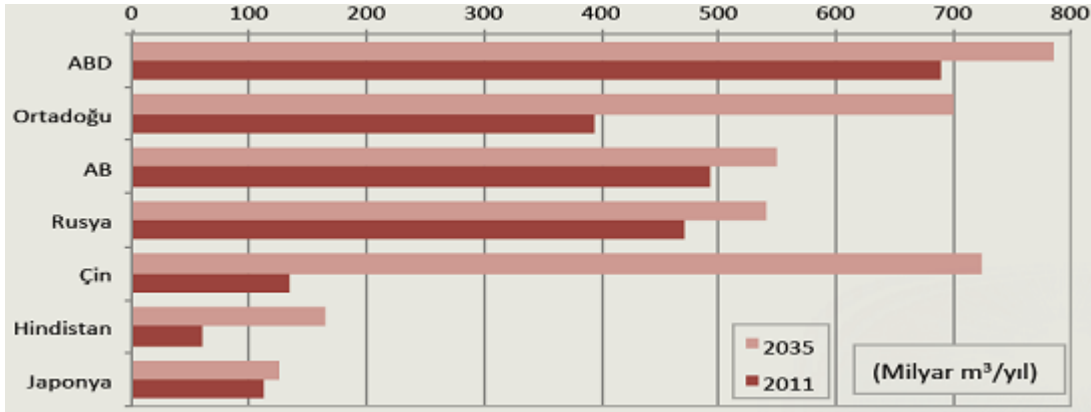
	2009	2015	2020	2030	2035	2009-2035* (%)
Kömür	3.294	3.944	4.083	4.099	4.101	0,8
Petrol	3.987	4.322	4.384	4.546	4.645	0,6
Doğal Gaz	2.539	2.945	3.214	3.698	3.928	1,7
Nükleer	703	796	929	1.128	1.212	2,1
Hidro	280	334	377	450	475	2,1
Biyokütle ve Çöp	1.230	1.375	1.495	1.761	1.911	1,7
Diğer	99	197	287	524	690	7,8
Toplam	12.132	13.913	14.769	16.206	16.961	1,3

* Yıllık ortalama artış oranıdır.

1.3.4. Doğalgaz Ticareti

Uluslararası doğalgaz ticareti, 2012'de durgun bir seyir izleyerek %0,4'lük küçük bir artışla 1,033 trilyon m^3 olarak gerçekleşmiştir. LNG ithalatı bir önceki yıla göre % 0,3 azalarak 328 milyar m^3 'e gerilemiş; arzda planlanmayan kesintiler ve LNG tesislerindeki bakım çalışmaları, arzı önemli ölçüde etkilemiştir. 2012'de Japonya ve G. Kore'nin toplam ithalat payı %50 düzeyindedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın Yeni Politikalar Senaryosunda yeni aktörlerin rol almaya ve yeni ticaret yollarının oluşmaya başlaması beklenmektedir. Bugün en önemli ithalatçı olan Avrupa'nın payının giderek azalması ve 2026'da Asya-Pasifik'in en fazla doğal gaz ithalatı yapan bölge olacağı tahmin edilmektedir. Şeyl gaz üretimindeki artış ile bugün net ithalatçı olan K.Amerika'nın, 2017 yılına gelindiğinde net ihracatçı olması beklenmektedir. Bu durum geleneksel petrol endeksli ve uzun vadeli gaz anlaşmaları üzerinde baskı oluşturacaktır. Bu gelişmeye ek olarak; gaz sıvılaştırma ve LNG tanker taşıma maliyetlerinde düşüş, gaz ithalat faturasını aşağı, küresel gaz talebini yukarı çekecektir. 2012'de toplam doğalgaz tüketiminin %31'i ithalatla karşılanırken, bu oranın 2035'te % 34'e çıkacağı düşünülmektedir. 2035'e doğru, gelişen Asya'nın gaz talebinin, bu dönemde 680 milyar m^3 artması beklenmektedir. Bu miktar bugünün bölgelerarası gaz ticaret hacmine eşittir. Çin'in gaz talebinin 400 milyar m^3 , Hindistan'ın 110 milyar m^3 , Ortadoğu'nun ise 300 milyar m^3 artacağı öngörülmektedir. Genelde ihraç potansiyeliyle bilinen Ortadoğu'nun

gaz tüketiminin 2020’de AB gaz talebini yakalaması, 2035 yılında ise AB gaz talebinden % 26 fazla olması beklenmektedir (Şekil1.4.) (TPAO, 2013: 21 ve EPDK, 2012: 21).

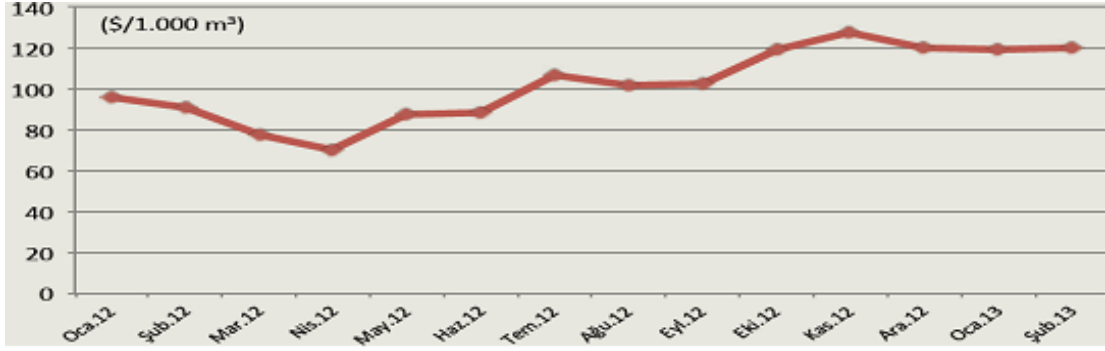


Şekil 1.4. Bazı Bölge ve Ülkelerin 2035 Yılı Doğal Gaz Tüketim Projeksiyonu (IEA, WEO, 2013’ten aktaran TPAO, 2013: 21)

1.3.5. Doğalgaz Fiyatları

2012’de ılıman geçen kışın etkisiyle doğalgaz stokları artmış, Henry Hub² doğalgaz fiyatları bir önceki yıl ortalamalarına göre düşük seyretmiştir. 2011’de ortalama 144,11 \$/1.000 m³ olan doğal gaz fiyatı 2012’de %31 düşerek ortalama 99,16 \$/1.000 m³ olarak gerçekleşmiştir (Şekil1.5). Doğalgaz fiyatlarının bugün olduğu gibi, önümüzdeki yıllarda da bölgesel olarak büyük farklılıklar göstermesi beklenmektedir. ABD, halen Japonya’dan yaklaşık 6 kat, AB’den 4 kat daha ucuz doğal gaz kullanmaktadır. Bu oranın yıllar içinde azalmakla birlikte; Uluslararası Enerji Ajansı’nın tahminlerine göre, 2035 yılında bile, ABD doğalgaz fiyatının Japonya’dakinin 2,2 katı ucuz olacağı öngörülmektedir (TPAO, 2013: 22).

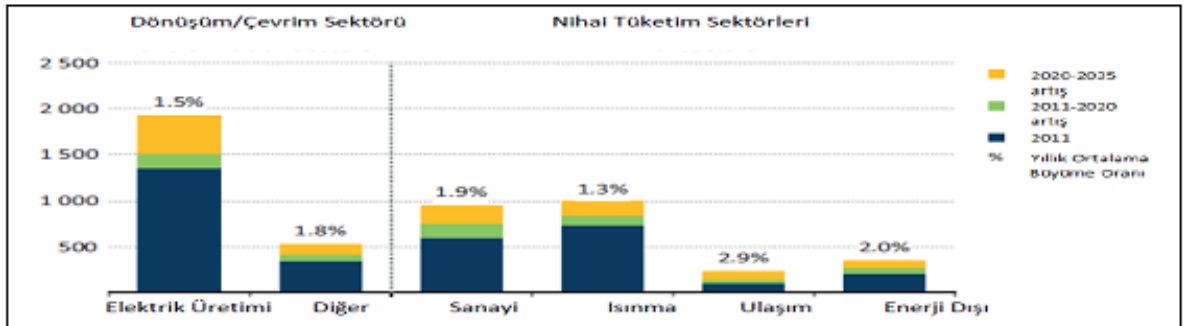
² “Hub”, birden fazla noktadan gelen arzın bir noktada toplanıp yine birden fazla alıcıya dağıtılması yoluyla yapılan ticari faaliyetin merkezi alanı olarak tanımlanmaktadır. Hub’ların önemi; ikili anlaşmalarla gizli belirlenen fiyatlar yerine çok sayıda oyuncu ile sağlıklı ve rekabetçi fiyatların oluşmasını sağlayarak verimlilik, esneklik, şeffaflık, finansal ticaret ve risk yönetimine katkı sağlaması noktasında ortaya çıkmaktadır (Soysal, vd. 2012, 56)



Şekil 1.5. 2012 Yılı Henry Hub Doğal Gaz Fiyatları (TPAO, 2013: 22)

1.3.6. Doğalgazda Talep Senaryosu

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, iklim değişikliği hedefleri kararlı veya esnek olsa da elektriğin doğalgaz tüketimindeki payının tüm politika senaryolarında artacağı öngörülmektedir. Yeni Politika Senaryosu uyarınca 2011-2035 arası dönemde elektrik üretimi için doğalgaz talebinin yılda %1,5 (toplam talep artışının %42'si), sanayi talebinin yılda %1,9, ısınma amaçlı doğalgazın yılda %1,3 oranında artması beklenmektedir. Doğalgaz talebinde 2011-2035 arası dönemde yıllık en fazla artışın ise %2,9 oranı ile ulaşım sektöründe görülmesi beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı, söz konusu artış tahminini kara yolu ulaşımında kullanılan doğalgaz yakıtlı olan araçlara dayandırmaktadır (Şekil1.6.).



Şekil 1.6. Yeni Politika Senaryosuna Göre Sektörel Bazda Dünya Gaz Talebi (EPDK, 2014:6)

Uluslararası Enerji Ajansı verileri (Tablo1.2) çerçevesinde, bölgelere ve tüketim önemine göre, dünya doğalgaz talep tahmini değerlendirilebilir. Bu kapsamda, 2011-2035 döneminde ABD, AB, Japonya ve ülkemizin de dâhil olduğu OECD ülkelerinin toplam doğalgaz talebinin yılda %0,7 oranında artması öngörülmektedir. OECD'de yer alan AB'nin doğalgaz talebinin ise bu ortalamanın altında yıllık %0,5 oranında artması beklenmektedir. Ayrıca Hindistan, Brezilya ve Çin'i de kapsayan gelişmekte olan

pazarların dâhil olduğu OECD üyesi olmayan ülkelerin yıllık doğalgaz talebi ortalamasının dünya ortalamasının üzerinde olarak %2,3 oranla artması beklenmektedir.

Tablo1.2. Dünya Doğal Gaz Talebi ve Tahmini (milyar m3) (World Energy Outlook 2013 ve Uluslararası Enerji Ajansı’ndan aktaran, EPDK, 2014:6)

	1990	2011	2020	2025	2030	2035	2011-2035 Yıllık Ortalama Büyüme Oranı
OECD	1036	1597	1707	1778	1827	1885	%0,7
Amerika	628	869	957	988	1016	1044	%0,8
ABD	533	696	749	769	781	789	%0,5
Avrupa	325	525	537	568	584	605	%0,6
Asya Okyanusya	82	202	214	222	227	236	% 0,6
Japonya	57	120	119	123	122	124	%0,1
OECD Harici	1003	1773	2249	2541	2815	3086	% 2,3
D. Avrupa/Avrasya	738	703	732	756	785	817	%0,6
Hazar Bölgesi	100	117	127	134	139	144	% 0,9
Rusya	447	476	493	504	523	544	%0,6
Asya	84	410	669	816	949	1088	% 4,2
Çin	15	132	307	396	470	529	% 6,0
Hindistan	13	61	87	114	140	172	% 4,4
Orta Doğu	87	399	504	577	645	700	%2,4
Afrika	35	111	153	170	187	204	%2,6
Latin Amerika	60	149	190	221	248	277	%2,6
Brezilya	4	27	45	61	75	90	%5,2
Dünya*	2039	3370	1957	4322	4646	4976	%1,6
AB	371	492	494	523	537	554	% 0,5

*Uluslararası denizcilik yakıtı olarak kullanılan gazı da içermektedir

1.4. Türkiye’de Doğalgaz Sektörünün Yapısı ve Gelişimi

Türkiye’de doğalgaz piyasasının yatırım altyapısı ve üretim-tedarik-dağıtım-düzenleme zincirini Boru hatları İle Petrol Taşıma A.Ş. (BOTAŞ), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ve Rekabet Kurumu oluşturmaktadır. Ülkemizde doğalgazla ilgili ilk çalışmalar 1970’lere dayanmaktadır. 1987 yılından itibaren doğalgaz taşımacılığı ve ticareti faaliyetlerini BOTAŞ ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (PİGM) yürütmektedir. Türkiye’nin doğalgazda bugüne dek kaydettiği gelişmeler şöyle özetlenebilir:

- 1970: Kırklareli civarındaki Kumrular bölgesinde tespit edilen ilk doğalgaz, 1976’da Pınarhisar Çimento Fabrikası’nda kullanılmaya başlanmıştır.
- 1984: Doğalgaz ithalatına ilişkin ilk anlaşma, 84/8806 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla Türkiye ile SSCB arasında imzalanmıştır.
- 1986: 16 Şubat 1986’da BOTAŞ (Türkiye) ile Soyuzgazexport (SSCB) arasında 25 yıl süreli doğalgaz alım-satım anlaşması imzalanmıştır. Bulgaristan sınırından başlayan 842 km uzunluğundaki boru hattının inşasına 26 Ekim 1986’da başlanmıştır.

- 1988–1996: Doğalgaz, Ekim 1988’de Ankara, Ocak 1992’de İstanbul, Aralık 1992’de Bursa, Eylül 1996’da İzmit, Ekim 1996’da da Eskişehir’de konut ve sanayi kullanımına sunulmuştur.
- 2001: 2 Mayıs 2001’de yürürlüğe giren 4646 sayılı Doğalgaz Piyasası Kanunu, mevcut tekel yapı yerine şeffaf ve rekabetçi bir doğalgaz piyasasının oluşmasını amaçlamaktadır. Yasada ayrıca BOTAŞ’ın ithalat, iletim, depolama ve satış olmak üzere birbirinden farklı 4 tüzel kişiliğe ayrılması, Piyasaya girecek şirketlerle birlikte bir rekabet ortamının oluşması ve bu rekabetçi yapının tüketicilere olumlu bir şekilde yansımaları öngörülmektedir.
- 2005: 1.Sözleşme Devri İhalesi, 30 Kasım 2005’te gerçekleştirilmiştir. İhale sonucunda Rusya Federasyonu ile süren sözleşmenin 4 milyar m³’lük bölümünün özel sektöre devri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu devrin bir bölümü aşağıdaki gibidir:
 - Shell Enerji: 250 milyon m³
 - BosphorusGaz: 750 milyon m³
 - Enerco Enerji: 2,5 milyar m³
 - Avrasya Gaz: 500 milyon m³
- 2007: İlk olarak Temmuz 2007’de Akso Doğalgaz Toptan Satış A.Ş.’nin TPAO’nun Akçakoca Çayağzı tesislerinde üretilen doğalgazın satışına başlaması, ardından da Aralık 2007’de Shell Enerji’nin 1.Sözleşme Devri İhalesi çerçevesinde doğalgaz ithalatına başlamasıyla birlikte Türkiye doğalgaz piyasasında çok oyunculu yapıya geçilmiştir.
- 2009: 1.Sözleşme Devri İhalesi çerçevesinde Ocak 2009’da BosphorusGaz, Nisan 2009’da da Enerco Enerji ile Avrasya Gaz doğalgaz ithalatına başlamış; böylece Türkiye doğalgaz piyasasında özel sektörün payı 4 milyar m³’e yükselmiştir. (Anlaşmalar için bkz. Tablo1.3)

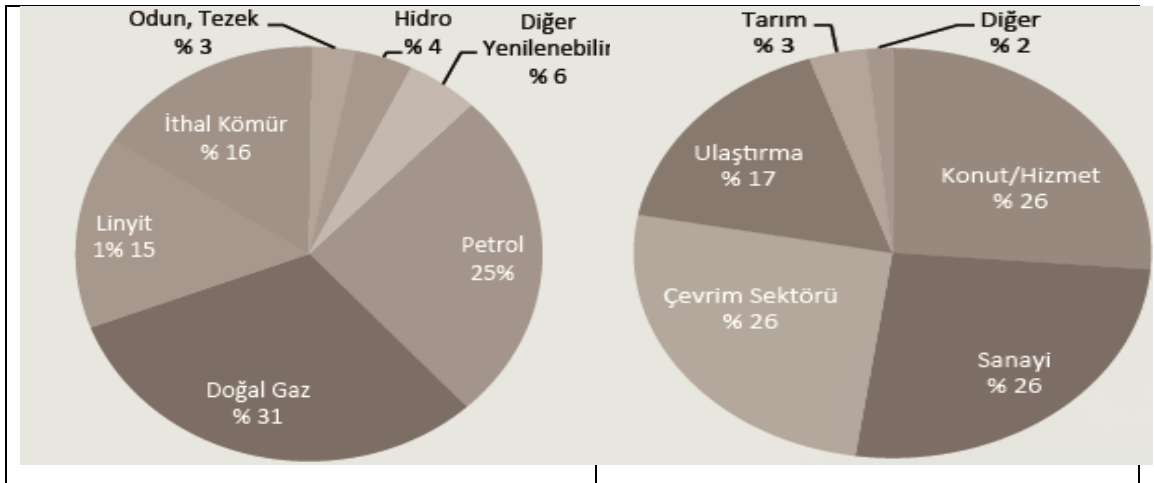
Tablo1.3. Türkiye’nin Doğalgaz Anlaşmaları (1988 – 2046) (<http://www.botas.gov.tr/index.asp>)

<i>Mevcut Anlaşmalar</i>	<i>Miktar (Plato) (Milyar m³/yıl) (9000Kcal/m³’e baz)</i>	<i>İmzalanma Tarihi</i>	<i>Durumu</i>	<i>Bitiş Tarihi</i>	
<i>Cezayir (LNG)</i>	4.4	1988	Devrede	Ekim 2024	
<i>Nijerya (LNG)</i>	1.3	1995	Devrede	Ekim 2021	
<i>İran</i>	9.6	1996	Devrede	Temmuz 2026	
<i>Rus. Fed. (Karadeniz)</i>	16	1997	Devrede	2025 Sonu	
<i>Rus. Fed. (Bati)</i>	4	1998	Devrede	2021 Sonu	

<i>Türkmenistan</i>	15.6	1999	-	-	
<i>Azerbaycan(Faz-I)</i>	6.6	2001	Devrede	Nisan 2021	
<i>Azerbaycan(Faz-II)</i>	6	2011	2017/2018	2032/2033	
<i>Azerbaycan(BIL)</i>	0.15	2011	Devrede	2046	

1.4.1. Enerji Arzı ve Dağılımı

Türkiye, birincil enerji yoğunluğu açısından “enerji yoğun” olarak nitelendirilen ekonomiler arasında yer almaktadır. Türkiye’nin 0,11 olan (2011 yılı TEP/1000 \$ GSYH ABD Doları sabit değeri ile) enerji yoğunluğu değeri, Uluslararası Enerji Ajansı Avrupa Bölgesi’nin 0,14 olan ortalama değerinden % 12 daha düşüktür. Türkiye’nin 120 milyon ton petrol eşdeğeri (MTPE) olan birincil enerji arzında doğalgaz %30,9 ile birinci sırada yer alırken, petrol % 25,3 ile ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye’nin birincil enerji talep projeksiyonlarına göre 2023 yılında petrolün payında ciddi bir değişim yaşanmaması ve %26 düzeyinde kalması beklenmektedir. Buna karşılık doğalgaz tüketiminin artacak olmasına rağmen birincil enerji arzındaki payının %23’e gerileyeceği tahmin edilmektedir. Türkiye birincil enerji tüketiminin %26,3’ü konutlarda, %26’sı sanayide, %25,7’si çevrim sektöründe ve %16,8’i ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır (Şekil1.7). Birincil enerji talebinin yerli üretim ile karşılanma oranı (TYÜKO) 2012 yılında % 27,5 olarak gerçekleşmiştir; yani Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığı % 72,5 düzeyindedir (Şekil1.8). Bu oran, özellikle 1990’ların başından itibaren büyük bir artış göstermiş ve 2000’li yılların başından itibaren % 70’ler civarında seyretmeye başlamıştır (TPAO, 2013: 22). Türkiye’nin toplam doğalgaz arzının % 1,2’si yerli doğalgaz üretimi ile geri kalan % 98,8’lik kısmı da yurtdışından ithalat lisansı sahibi şirketlerce değişik kaynaklardan gerçekleştirilen ithalat ile karşılanmıştır. (EPDK, 2014: 30)

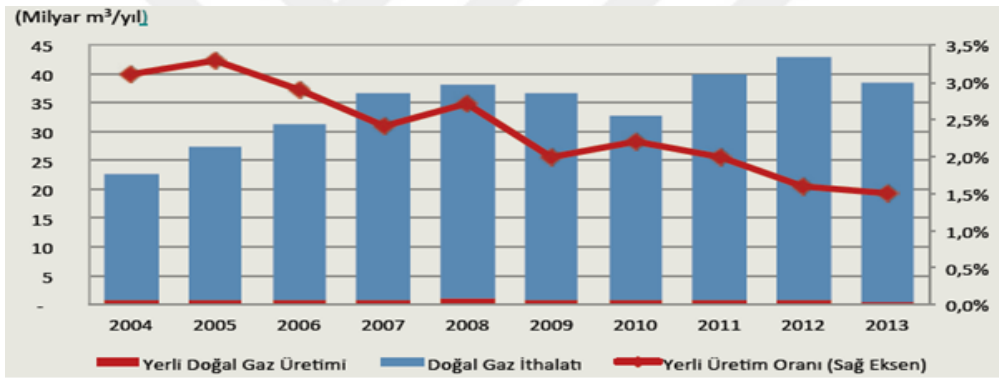


Şekil 1.7. 2012 Türkiye Birincil Enerji Arzı	Şekil 1.8. 2012 Türkiye Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı
---	---

(ETKB'den aktaran TPAO, 2013: 22)

1.4.2. Doğalgaz Tüketimi

2013'te Türkiye'de günlük yaklaşık 48.000 varil/günlük ham petrol üretimi yapılmış; buna karşılık günlük 500.000 varil ham petrol tüketilmiştir. Bu nedenle 2013'te yerli ham petrol üretiminin tüketime oranı %9,6 olarak gerçekleşmiştir (Şekil1.9). Türkiye'nin 2013'teki yerli doğalgaz üretiminin tüketime oranı ise %1,5 civarındadır. Yani petrolde ithalata bağımlılık oranı %90,4 olan bağımlılık oranı Türkiye'nin doğalgazda ithalata %98,5'dir (TPAO, 2013: 26; Çolakoğlu ve Günsel, 2012: 4). 2013 yılının doğalgaz tüketiminin sektörel dağılımı oransal olarak hesaplandığında; konut tüketimi % 20,78, elektrik üretimi için % 45,85 ve sanayi tüketimi % 25,11 olarak gerçekleşmiştir (EPDK, 2014: 89).

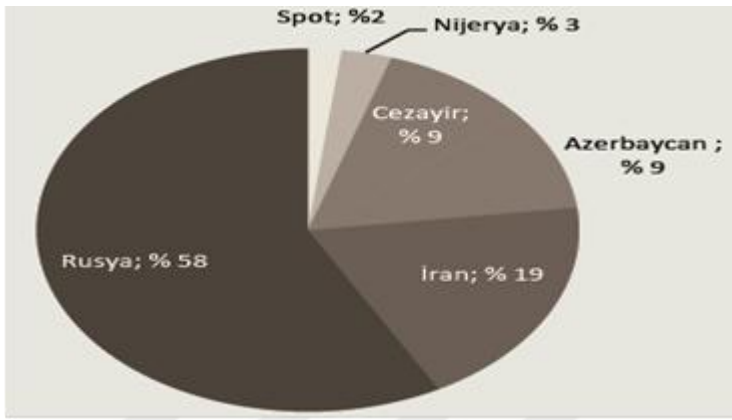


Şekil 1.9. 2004-2013 Döneminde Türkiye'nin Doğalgaz Arzı ve Yerli Üretim Oranları (m³/yıl)
(TPAO, 2013: 27)

1.4.3. Doğalgaz İthalatı

Doğalgaz tüketiminde de dışa bağımlılık oranının yüksekliği bakımından ham petroldekine yakın bir durum söz konusu olup, Türkiye doğalgaz talebinin % 98'i ithalatla karşılanmaktadır. Türkiye'de 2012'de 45,24 milyar m³ doğalgaz tüketilmiş ve bu rakamın %1,47'si (664,4 milyon m³) ülke içi üretim ile karşılanmıştır. Tüketilen doğalgazın yaklaşık %45'i ise elektrik üretimi için kullanılmaktadır. 2013'te Türkiye doğalgaz ithalatının ülkelere göre dağılımında Rusya %58'lik oran ile birinci sıradadır. Bu ülkeyi İran (%19) ile Azerbaycan ve Cezayir (% 9'ar oranla) izlemektedir (Şekil1.10) (TPAO, 2013: 27). Ülkemizde doğalgaza talebin her geçen gün artması ve yurt içi rezerv ve üretim miktarlarının da bu talepleri karşılamak için yeterli olmaması, 2011 yılında da

doğalgazın ithalatını zorunlu kılmıştır. 2011 yılı ülkemiz toptan satış piyasasında, toplam ulusal doğalgaz tüketiminin %87,5'lik kısmı, piyasanın ana tedarikçisi olan BOTAŞ tarafından karşılanmıştır. Sözleşme devri mekanizması sonucu piyasa tedarikçisi olan dört şirket ile ithalat (spot LNG) lisansı sahibi şirketlerin piyasadaki payları toplamı %10,8, toptan satış lisansı sahibi üretim şirketlerinin payları ise %1,7 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye’de, 2011’de %93 abonelik oranıyla konut, %4,5 ile ticarethaneler en büyük doğalgaz tüketicisi konumundadırlar (EPDK, 2012: 21, 36, 41, 53). Hâlihazırda ülkemizde BOTAŞ, TPAO ve Ege Gaz A.Ş. lisans alarak depolama faaliyetinde bulunmaktadır.



Şekil 1.10. 2013'te Türkiye'nin İthal Ettiği Doğal Gazın Menş Ülkelerine Göre Dağılımı (EPDK'den aktaran TPAO, 2013: 28)

Türkiye doğalgaz ihtiyacını ithalatla karşılamasına rağmen, ürettiği ve satın aldığı doğalgazın önemli bir bölümünü yurtiçinde satarken sembolik bir bölümünü ise ihraç etmektedir. Tablo1.4.'te görüldüğü gibi, doğalgaz kullanımının yaygınlaşmasına paralel olarak doğalgaz ithalatı 1987'de sadece 433 milyon cm^3 iken 2012'de 40 milyar cm^3 'ü aşmıştır. 2007'de başlanan doğalgaz ihracatı 2013'te 644 milyon cm^3 olarak gerçekleşmiştir. Doğalgazın yurtiçi satışında zirve, 41,4 milyar cm^3 ile 2012'de yakalanmıştır.

1.4.4. Doğalgaz Üretimi

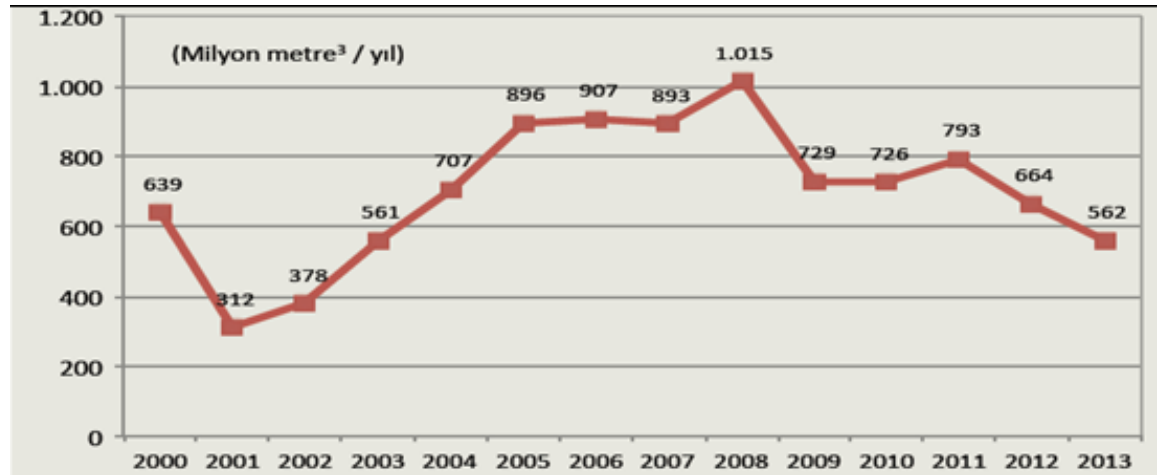
Türkiye bir doğalgaz ülkesi değildir. Yine de milli doğal gaz rezervi 2013'te 6,16 milyar m^3 olarak kaydedilmiştir. Yeni keşifler yapılmadığı takdirde, bugünkü durumda, kalan üretilebilir doğalgaz rezervinin yaklaşık 10 yıllık ömrü vardır. Türkiye’de yapılan doğalgaz üretimi 2000’de 639 milyondan, 2001-2008 yılları arasındaki devresel dalgalanmalar sayılmazsa, 2008’de 1 milyar m^3 ’e çıkmış ve 2013’te inişe geçerek 562

milyon m^3 olarak gerçekleşmiştir (Şekil1.11). (Ayrıca, ham petrol üretimi ile karşılaştırma için bkz. Tablo1.5.)

Tablo1.4. Doğalgazda Dış Ticaret (Milyon cm^3) (<http://www.botas.gov.tr/index.asp>)

	Doğalgaz İthalatı	Doğalgaz İhracatı	Yurtiçi Doğalgaz Satışı
1987	433,00		522,00
1988	1.136,00		1.186,00
1989	2.986,00		3.153,00
1990	3.246,00		3.372,00
1991	4.031,00		4.130,00
1992	4.430,00		4.521,00
1993	4.952,00		4.952,00
1994	5.375,00		5.251,00
1995	6.858,00		6.793,00
1996	8.040,00		7.906,00
1997	9.874,00		9.720,00
1998	10.233,00		10.272,00
1999	12.358,00		12.381,00
2000	14.822,00		14.589,00
2001	16.368,00		16.003,00
2002	17.624,00		17.359,00
2003	21.188,00		20.928,00
2004	22.174,00		22.114,00
2005	27.028,00		26.926,00
2006	30.741,00		30.543,00
2007	36.450,00	31,00	35.089,00
2008	37.793,00	443,00	36.254,00
2009	33.639,00	721,00	32.133,00
2010	32.466,00	660,00	31.464,00
2011	39.723,00	726,00	39.360,00
2012	43.092,00	622,00	41.436,00
2013	36.095,00	694,00	37.964,00
2014	39.975,00	644,00	40.810,00
2015 (*)	11.879,00	148,00	12.981,00

* Mart ayı itibarıyla gerçekleşme miktarlarıdır.



Şekil 1.11. 2000–2013 Yılları Arasında Türkiye Doğal Gaz Üretimi (TPAO, 2013: 32 ve EPDK, 2014: 13)

Tablo 1.5. Ham Petrol ve Doğalgaz Üretimi (1999 -2013) (PİGM-2015 <http://www.pigm.gov.tr/index.php/istatistikler>)

<i>Yıllar</i>	<i>Ham Petrol (M.ton)</i>	<i>Doğalgaz (M3)</i>
1999	2 939 896	731 098 727
2000	2 749 105	639 222 969
2001	2 551 467	311 562 545
2002	2 441 534	378 402 738
2003	2 375 044	560 633 511
2004	2 275 530	707 008 763
2005	2 281 131	896 424 950
2006	2 175 668	906 587 974
2007	2 134 175	893 055 000
2008	2 160 067	1014 530 570
2009	2 401 799	729 414 369
2010	2 496 113	725 993 340
2011	2 367 251	793 397 572
2012	2 337 551	664 353 885
2013	2 398 454	561 544 788

1.4.5. Doğalgazın Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı

Doğalgaz, Türkiye’de genellikle ısıtma amaçlı olmak üzere, elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır. 1985’te elektrik enerjisi üretimi 34219 GWh olup bunun sadece %0,2’si doğalgaz kaynaklı iken, bu miktara ve oranlar yıllar içerisinde artmıştır. Elektrik üretimi 2015’te 240154 GWh’ye çıkarken bu üretimdeki doğalgazın payı %43,8’e ulaşmıştır (Tablo1.6.).

Tablo1.6. Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi ve payları (TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim - İletim İstatistikleri)

<i>Yıl</i>	<i>Toplam</i>	<i>Kömür</i>	<i>Sıvı yakutlar</i>	<i>Doğal gaz</i>	<i>Hidrolik</i>	<i>Yenilenebilir Enerji ve Atıklar</i>
	<i>(GWh)</i>			<i>(%)</i>		
1985	34 219	43,9	20,7	0,2	35,2	0,0
1990	57 543	35,1	6,9	17,7	40,2	0,1
2000	124 922	30,6	7,5	37,0	24,7	0,3
2013	240 154	26,6	0,7	43,8	24,7	4,2

1.4.6. Doğalgaz Arz-Talep Senaryosu

Türkiye için yakın geleceğe yönelik arz-talep dengesi ile ilgili çeşitli senaryolar mevcuttur. Örneğin, BOTAŞ'ın 2007 tahminlerine göre 2008, 2009 ve 2010 yıllarında ciddi miktarda arz fazlası ortaya çıkacaktı. Bu tarihten sonra 2010-2015 yıllarına ilişkin talep tahminlerine yer verilmemekle birlikte 2015 ve 2020 yıllarında talep artışına bağlı yüksek miktarda talep fazlası sorunu ile karşılaşılabilir. Söz konusu senaryolarda talebin belirli oranda artacağı öngörülmüş ancak arz tarafında ise sadece mevcut sözleşmelerle bağitlanan rakamlara yer verilmiştir. Bu noktadan hareketle, 2010 yılından sonra yeni sözleşmeler ile talep açığının kapatılması gerektiği sonucuna ulaşılabilir. Tablo1.7.'de BOTAŞ'ın arz-talep öngörülleri izlenebilir.

Tablo 1.7. BOTAŞ'ın Arz-Talep Senaryosu (BOTAŞ, http://www.botas.gov.tr/dogalgaz/dg_arztaleb_sen.asp)

	2008	2009	2010	2015	2020
Arz (bmc)	45,5	49,0	51,0	40,7	40,7
Talep (bmc)	36,4	40,5	44,5	56,9	66,6

Diğer senaryo, BOTAŞ'ı teyit eden Dünya Bankası'na aittir. Buna göre, Arz1 (A1) mevcut durum, Arz 2 (A2) düşük durum, Talep 1 (T1) BOTAŞ öngörülleri, Talep2 (T2) çok düşük durum, Talep 3 (T3) düşük durum, Talep 4 (T4) orta durum ve Talep 5 (T5) ise yüksek durumu ifade etmektedir. Tablo1.8'deki senaryolara göre; 2008-2015 yılları boyunca Türkiye'de doğalgaz talebi doğalgaz arzını sürekli aşmaktadır.

Tablo 1.8. Dünya Bankası Arz-Talep Senaryoları (Dünya Bankası, 2004)

Yıllar	A1	A2	T1	T2	T3	T4	T5
2008	36,2	33,1	36,5	26,6	34,2	34,1	36,6
2009	39,0	36,9	38,9	27,6	37,2	37,4	40,6
2010	40,4	38,1	41,2	29,6	40,5	41,1	45,1
2011	41,9	39,3	42,5	29,0	41,5	43,3	49,5
2012	37,1	36,3	44,3	29,3	42,5	45,7	54,4
2013	37,1	36,3	46,0	29,5	43,5	48,1	59,6
2014	33,8	32,7	47,9	29,6	44,5	50,7	65,4
2015	33,8	32,7	49,8	30,0	45,5	53,4	71,7

EPDK, Türkiye’de tüketimde tahmini ve gerçekleşme değerlerini hesapladığı 2004-2013 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde tahmindeki sapmayı en düşük %-4 ile en yüksek +12 aralığında belirlemiştir (Tablo1.9).

Tablo 1.9. Ulusal Doğal Gaz Tüketim Tahmini ve Gerçekleşme Değerleri (cm³) (EPDK, 2014: 93)

		Tüketim Miktarı (Sm ³)	Bir Önceki Yıla Göre Tüketim Değişimi	Tahmin ve Gerçekleşen Sapması (%)
2004	Tahmin	23.200.000.000	1.334.528.240	-4,00%
	Gerçekleşen	22.272.528.240		
2005	Tahmin	25.800.000.000	5.075.685.702	6,00%
	Gerçekleşen	27.348.213.942		
2006	Tahmin	30.100.000.000	3.633.850.038	2,93%
	Gerçekleşen	30.982.063.980		
2007	Tahmin	36.200.000.000	4.412.814.250	-2,22%
	Gerçekleşen	35.394.878.230		
2008	Tahmin	37.500.000.000	1.470.173.083	-1,69%
	Gerçekleşen	36.865.051.313		
2009	Tahmin	35.000.000.000	-1.646.211.924	0,63%
	Gerçekleşen	35.218.839.390		
2010	Tahmin	37.000.000.000	2.192.278.980	1,11%
	Gerçekleşen	37.411.118.370		
2011	Tahmin	39.000.000.000	6.286.290.822	12,04%
	Gerçekleşen	43.697.409.192		
2012	Tahmin	48.500.000.000	1.544.353.707	-6,72%
	Gerçekleşen	45.241.762.899		
2013	Tahmin	47.600.000.000	676.483.179	-3,53%
	Gerçekleşen	45.918.246.078		

BÖLÜM 2: LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Doğalgaz Talep Tahmin Çalışmaları

Yaşar ve Ark (2009) , Batman da önümüzdeki yıllarda kullanılması planlanan doğalgaz için tüketim tahminini yapmışlardır. Bu tüketim tahminini yaparken çoklu regresyon analizi ile bir denklem elde etmişlerdir. Çalışma Batman ilinde son 16 ay içerisinde 1000 eş değer konut sayısı üzerinde yapılan tahmine dayanmaktadır.

Karlı ve Kızılaslan (2009) da, yapay sinir ağıları algoritmaları kullanılarak İstanbul doğalgaz talep tahmini çalışması yapmışlardır. İstanbul geneli, Anadolu yakası ve Avrupa yakası için ayrı ayrı günlük, haftalık ve aylık olarak tahmin modelleri üretilmiştir. Tahmin modellerinde yapay sinir ağıları algoritmaları kullanılmıştır. Yedi değişik yapay sinir ağıları algoritması uygulanıp bunların karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma sonucunda YSA modellerinin çok iyi tahmin sonuçları verdiği görülmüştür.

Çoban ve Özcan (2011), yaptıkları çalışmada Konya ilinde doğalgaz talebine ilişkin olarak mevcut verilerden hareketle geleceğe yönelik öngörülerde bulunmaya çalışmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, Konya’da 2011 yılında hane halkı doğalgaz talebinin aylar itibariyle dalgalı bir seyir izleyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Hane halkı tüketimindeki bu dalgalanmanın sebebi ise aylık sıcaklık ve mevsimsel etki gibi faktörlere bağlanmaktadır. Ve bu faktörlere bağlı olarak, doğru orantılı bir şekilde değiştiği görülmektedir. Mevsimsel etkiye bağlı olarak belirli aylarda tüketimin arttığı belirli dönemlerde azaldığı gözlenmiştir. Özellikle kış aylarında ve bahar mevsiminde hava sıcaklığının düşük olması nedeniyle tüketimin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Sanayi sektöründeki doğalgaz tüketimine ilişkin öngörude ise herhangi dalgalanmaya rastlanmamıştır. Bu durumun sebebi olarak ise mevsimsel bir etkinin talep üzerinde etkili olmamasından kaynaklanmaktadır.

Kaynar ve Ark (2011a), yaptıkları çalışmada, yapay sinir ağıları ve klasik zaman serileri (ARIMA modelleri) yardımıyla doğalgaz tüketimine ilişkin kısa dönemli öngörude bulunmuşlardır. Ayrıca çalışmada her iki model ile elde edilen tahmin değerleriyle gözlenen değerler karşılaştırılarak modellerin performansını kıyaslamışlardır. Bu çalışmada, yapay sinir ağıları ve ARIMA zaman serisi analiz yöntemleri kullanılarak Ankara ilinin doğalgaz tüketimini tahmin etmişlerdir. Her iki yöntem içinde farklı modeller oluşturularak eğitim ve test verileri için en küçük MSE değerlerine sahip modeller, en iyi modeller olarak seçilmiş ve bu modeller yardımıyla 10 adet test verisi için tahminler gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntem yardımıyla elde edilen tahmin sonuçları MSE ve MAPE performans kıstasları yardımıyla karşılaştırılmıştır. Her iki performans ölçütü içinde yapay sinir ağı modelleri ARIMA modellerinden daha iyi tahmin performansı sergilemişlerdir.

Kaynar ve Ark (2011b), yaptıkları çalışmada Türkiye’de haftalık doğalgaz tüketimini üç farklı yaklaşımla tahmin etmişlerdir. Bunlardan ilki ARIMA, ikincisi YSA

ve üçüncüsü ANFIS dir. Tahminleri bu modelleri kullanılarak yapmışlardır ve sonuçlar karşılaştırmışlardır. En iyi sonucu ANFIS modelinden elde etmişlerdir.

Şengün (2012) de yaptığı çalışmada Bayburt ilini kapsayacak şekilde hane halkı yapısının doğalgaz kullanma tercihlerini, bu tercihleri etkileyen değişkenleri ve bu değişkenlerin etkilerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için Mayıs-Haziran 2012 aylarını kapsayan dönemde Bayburt'un merkeze bağlı mahallelerinde anket çalışması yapılmıştır. Bu amaçla Bayburt'ta yaşayan 505 hane halkına uygulanan anketlerden elde edilen yatay kesit verileri SPSS 18 istatistik paket programı ile değerlendirmeye tabi tutularak lojistik regresyon modeli yardımıyla tahmin edilmiştir. Sonuç olarak Bayburt ilinde, evin müstakil ya da apartman dairesi olması, hane halkının aylık geliri, konut sahibi olma durumu ve konutun dış cephe kaplamasının olup olmaması potansiyel doğalgaz talebi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu değişkenlerden konutun dış cephe kaplamasının olup olmaması potansiyel doğalgaz talebini negatif yönde etkilerken geri kalan değişkenler doğalgaz talebini pozitif yönde etkilemektedir.

Şanlı ve Ekiz (2013), yaptıkları çalışmada Türkiye doğalgaz talebinin arz güvenliğinin sağlanması için öncelikle mevcut sistemin ve kısıtlarının doğru analiz edilmesi önemli olduğundan; bu makalede, günlük talep, yıllık talep, bu taleplerin gelişimi ve yapısı ile mevsimsellikten nasıl etkilendiğini anlatmaya çalışmışlardır. Kısaca Türkiye'nin arz güvenliğindeki en önemli eksikliğin depolama hacmi değil, depolama sisteminin geri üretim kapasitesi olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Qanbari ve Ark (2013), yaptıkları çalışmada İran'ın ANFIS ile doğalgaz tüketim tahminini yapmışlardır. Doğalgaz tüketimini etkileyen çok fazla değişken vardır fakat bu çalışmada iki temel değişken kullanılmıştır. Bu değişkenler 1993-2012 yılları arası GSYH ve nüfus olarak alınmıştır. ANFIS çıktıları MAPE tarafından gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır. En düşük MAPE değerini veren model, gaz tüketim tahmininde seçilmiştir. Gaz tüketim değerleri 2013 den 2020'e tahmin edilmiştir.

Sarwar ve Ark (2014), yaptıkları çalışmada ANFIS ile Bangladeş'in uzun dönemli doğalgaz tüketim tahminini yapmışlardır. Doğalgazın tüketimini geleneksel yöntemlerle yapmak oldukça zordur. Eğitim ve test verileriyle ANFIS, minimum hata sağlayan model geliştirir. Sonuç olarak geliştirilen modelde MAPE oldukça düşük çıktığından uygun ve tercih edilebilmektedir.

2.2. Anfis İle Yapılmış Tahmin Çalışmaları

Fırat ve Ark (2007) yaptıkları çalışmada, Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık (USBM) yaklaşımı ile ekonomik ve iklim şartları gibi faktörlere bağlı olarak değişen aylık su kullanımının tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Bunun için, toplam 108 adet veri toplanmış, eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Çeşitli giriş değişkenlerin değişik bileşenlerinden oluşan modeller kurulmuş ve aylık su tüketiminin tahmini için en uygun model yapısı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, USBM yönteminin aylık su tüketimi tahmininde regresyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve su tüketim tahmininde etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Demirel ve Ark (2010) yaptıkları çalışmada, tahminleme yöntemlerinden ANFIS ve ARMA teknikleri ile elektrik enerjisi talep tahminlerini yapmışlardır. Yapılan çalışmada, 1970-2007 arası Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), Üretilen Enerji (ÜE), Tüketilen Enerji (TE), Nüfus (N) ve Kurulu Güç (KG) verileri kullanılarak ANFIS ve ARMA modelleri oluşturulmuştur. Elde edilen model yardımıyla 2006-2010 yıllarına ait elektrik enerjisi talep tahminleri elde edilmiştir. Sonuç verileri incelendiğinde ANFIS modelden alınan tahminlere göre yapılacak olan sistem planlamasının en ekonomik ve en doğru tercih olacağı görülmüştür.

Kula ve Ark (2010) yaptıkları çalışmada, bağımlı değişkenin simetrik bulanık sayı olması durumunda, regresyon modelinin parametrelerinin tahmin edilmesi için, bulanık çıkarsama sistemine dayalı uyarlamalı ağı (ANFIS) kullanıldığı bir algoritma ve bulanık robust regresyon'a dayalı bir algoritma ele alınarak parametre tahminini yapmışlardır. Bulanık robust regresyon ve ANFIS'in kullanıldığı algorithmadan elde sonuçlar Dimond (1988) tarafından önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Azadeh ve Ark (2010), bu çalışmada ANFIS ile uzun dönemli elektrik tüketim tahminini yapmışlardır. Elektrik tüketim tahmininde sanayi ülkelerinden olan Hollanda, Lüksemburg, İrlanda ve İtalya'nın 1980-2007 yılları arası GSYH ve nüfus verileriyle model kurulmuştur. 2015 yılı için elektrik tüketiminin tahmini yapılmıştır.

Kaynar ve Ark (2010) yaptıkları çalışmada, orta ve uzun vadeli petrol fiyatlarını tahmin etmek amacıyla ANFIS'i kullanmışlardır.

Çakıroğlu ve Ark (2011), yaptıkları çalışmada değişik formlarda çelik lif katılarak üretilen betonların basınç dayanımlarının tahmini için, tahribatsız deney sonuçları kullanılarak ANFIS yöntemiyle bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, ANFIS ile betonun basınç dayanımının tahmininde uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışma için deneysel olarak elde edilen 78 farklı deney verisi kullanılmıştır. Deneysel veriler, eğitim için 62 adet ve test için 16 adet olmak üzere ikiye ayrılarak modellemede kullanılmıştır. Model sonuçları ile deney sonuçları arasında 0.83 gibi yüksek bir ilişki görülmüştür. Sonuç olarak ANFIS farklı geometrik lif katkılı betonlarda tahribatsız test metotları kullanılarak dayanım tahmininde kullanılabileceği ve bu konuda yapılacak çalışmaların büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Ok ve Ark (2011), yaptıkları çalışmada İMKB Ulusal 100 Endeksi tahmininde bulunmuşlar ve iki ayrı ANFIS modeli ve çoklu regresyon modelleri kullanılmışlar ve tüm bu modellerin tahmin sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırılmışlardır. Bir önceki günün Amerikan doları ve gecelik faiz oranlarının değişken olarak kullanıldığı ANFIS modelinde belirlenen dönem için en yüksek R² değerine ulaşılmış ve en düşük ortalama tahmin hatası elde edilmiştir. Sonuç olarak; karmaşık bir modele gereksinim duyulmadan ANFIS ile yalnızca iki girdi değişkeni kullanarak, İMKB 100 Endeksinin yüksek tutarlılıkta kısa dönemli öngörülebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Köse ve Ark (2011) yaptıkları çalışmada, Kızılırmak Nehri'nin akım tahmini için çeşitli ANFIS modelleri geliştirilmişlerdir. Bu modellerden altküne sayısı dört olan ve hybrid ağ yapısına sahip olan modelin determinasyon katsayısı ve karekök ortalama hata değerinin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, bu modelin Kızılırmak Nehri üzerinde akım tahmininde ANFIS metodunun kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Yörük ve Ark (2013) yaptıkları çalışmada, şirket hisselerinin getiri oranını ANFIS yardımıyla tahmin etmişlerdir. ANFIS'in giriş ve çıkış değişkenleri için hazırlanan finansal oranlar verisi 2003-2007 yılları arasında IMKB 100 içerisinde yer alan 40 sanayi şirket tarafından açıklanan bilanço ve gelir tablosu kalemlerinden elde edilmiştir ve elde edilen veri ANFIS'e uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deneyde, ANFIS tarafından tahmin edilen değerlerle HGO'nun gerçek değerleri karşılaştırılmıştır ve 14 giriş değişkeni arasından anlamlı bulunan 4 giriş değişkeni ANFIS'e uygulanmak için saptanmıştır. Anlamlı bulunan bu giriş değişkenleri kullanılarak aynı deney gerçekleştirildiğinde, ANFIS modeli yaklaşık aynı tahminleme başarısına ulaşmıştır. Sonuç olarak, daha az giriş değişkeni kullanarak bu modelin aynı başarıyı sağlayabileceği ve yatırımcılar ve şirketlerin riskinin azaltılmasında kullanılabileceği gösterilmiştir.

BÖLÜM 3: TEORİK ALTYAPI

3.1. Bulanık Mantık

Tezin bu bölümünde mantık kavramı tanıtılıp sonra mantığın alt dalları olan klasik, sembolik ve bulanık mantığa değinilmiştir. Bulanık mantığın ortaya çıkışı, bulanıklık ve belirsizlik kavramları ve bunların arasındaki farklar açıklanmıştır. Örnekler yardımıyla sözel değişkenler, bulanık mantıkta paradoks ifadelerinden bahsedilmiş, küme kavramı-üyelik fonksiyonları ve klasik-bulanık küme arasındaki farklar anlatılmıştır. Son olarak bulanık sistemler, bulanık denetleyicinin üstünlük ve sakıncaları, bulanık mantık uygulamaları ve bulanık mantığa kültürel yaklaşımlara değinilmiştir.

3.1.1. Mantık ve Çeşitleri

Mantık kelimesinin kökeni Arapçada akıllıca konuşmak anlamına gelen nutk kelimesidir (Şen, 2011: 77). Yunanca da ise söz, yasa, akıl, akıl ilkesi, tanrısal akıl, gibi pek çok anlam içeren logos kelimesine karşılık gelmektedir (Doğan, 2004: 345). Mantıklı düşünme etimolojik kökenine uygun olarak, gündelik yaşantıda “doğru düşünme”, “düzgün düşünme” ve “ilkeli düşünme” tarzının adıdır (Baykal, N., ve T., Beyan 2009:9).

Bir bilim dalı olarak mantık, doğru öncüllerden doğru sonuçlar çıkartma biçimlerini inceler. Mantık cümlelerine özel olarak “önerme” adı verilir. Düşünmeden mantığa geçerken önermeler sözel olarak yapılır, bundan dolayı mantık bir bakıma kelimelerle hesap yapma işidir. Mantık cümlelerinde açık veya üstü kapalı şekilde “EĞER (öncül) İSE (ardıl)” yapısı vardır. İşte bu yapısı dolayısı ile mantık cümlesi adını alır, çünkü burada “öncül” kısımda genel bir tabirle “sebepler”, mühendislik modellemesi tabiri ile “girdiler”, ardıl kısımda ise “sonuçlar” veya “çıktılar” vardır (Şen, 2011: 77; Baykal, N., ve T., Beyan , 2004: 9).

Pek çok kültür karmaşık akıl yürütme sistemleri kullanırken, genel olarak birbirinden bağımsız olarak üç kültürde Eski Çin, Eski Hindistan ve Eski Yunan’da akıl yürütme yöntemlerinin açık olarak analiz edildiği kabul edilmektedir. Tam tarihler belirgin olmasa da her üç toplumda da MÖ 4.yüzyılda mantığın ortaya çıktığı bilinmektedir (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 11). Mantık, Hint ve Çin felsefelerinde

kavram belirleme teknikleri, Mezopotamya ve Mısır'da ölçme, sayma, sınıflandırma usulleriyle mevcuttu. Bu medeniyetlerde bazı aritmetik işlemler oldukça gelişmiş olmasına rağmen, matematik ve mantık sistemi kurulamamıştır. Bu nedenle mantık tarihi, genellikle logos kavramının ortaya çıktığı Yunanistan ve Ön Asya'dan başlatılır. Mantığı ilk defa sistematik olarak ele alıp kuran Aristoteles'tir. Fakat Aristoteles'ten öncede mantık vardı, ancak sistemli değildi. Aristoteles mantık üzerine altı kitap yazmış ve bu kitaplar o öldükten sonra Organon başlığı altında toplanmıştır. Ortaçağ boyunca Aristo'nun öncülük ettiği Skolastik düşünce hâkimiyetini sürdürmüştür (Paksoy, Pehlivan ve Özceylan, 2013:9; Doğan, 2004: 369).

Mantığı üç kısma ayrılabiliriz: Aristoteles(Klasik) mantığı, sembolik mantık ve bulanık mantık.

3.1.1.1. Klasik Mantık

Klasik mantıkta kesinlik vardır, ya doğrudur ya da yanlıştır bunun arası yoktur. Kısaca söylemek gerekirse klasik mantık, beyaz-siyah, sıfır-bir, doğru-yanlış, evet-hayır, artı-eksi, insan-insan değil, haklı-haksız, güzel-çirkin vb. gibi ikili sınıflamalar yapar. İkili sınıflama dışında kalan tonlara yer verilmez. Bir çıkarım doğru ise 1, yanlış ise 0 ile temsil edilir, bunlar arasında ondalıklı bir çıkarım yoktur. Aynen tam sayıların var olup da bunlar arasındaki ondalıklı sayıların olmaması durumuna benzer. Bunun anlamı klasik mantıkta tam belirginliğin kabul edilmesidir (Şen, 2011: 88).

Klasik mantık, MÖ 384-322 yılları arasında yaşamış Yunan filozofu Aristoteles tarafından geliştirilmiştir ve bu nedenle “Aristotelian” olarak adlandırılmıştır. Aristoteles fikirlerini daha önceki dönemlerde (MÖ 570-495) yaşamış olan Yunan filozofu Pisagor'un ve onu izleyen kişilerin çalışmalarından almıştır. Aristoteles, Pisagor'un düşüncelerini, insanlara, gerçeklerin araştırılması ile matematiğin hassaslığını birleştirerek düşünme ve karar verme yoluyla yapmıştır. MS 10.yüzyılda Aristoteles mantığı, Avrupa ve Orta Doğu düşüncelerinin temeli olmuştur. Bunun iki nedeni vardır. Problemler üzerinde düşünmeyi basitleştirir ve “kesinliği” kanıtlamayı ve kabul etmeyi birleştirir (McNeill ve Thro, 1994 aktaran Paksoy, vd., 2013:9).

Aristo mantığı Milat'tan önce 350 yıllarında sadece siyah ve beyazlardan ibaret gri düşüncelerin yer almadığı ve bunlarında bilimsel olmayacağına dayanan bir düşünce

sistemidir. Klasik mantıkta bir şey ya vardır ya yoktur veya ya dâhildir ya da değildir. Bu düşünce yapısı bir bakıma orta çağdaki batı din düşüncesiyle kısmen örtüşmektedir. Ortaçağda belli bir dönem, Aristo mantığını hem kilise hem de bilim birçok yönüyle kullanmıştır ve Aristo mantığı bir zaman sanki düşünce zirvesi olarak algılanmış ve bununla iftihar bile edilmiştir. (Şen, 2009: 11-12).

Aristoteles mantığının ilkeleri (Baykal, N., ve T., Beyan, 2009: 6) :

Özdeşlik ilkesi: Bir şey ne ise odur.

Çelişmezlik ilkesi: Bir şey hem kendi, hem başka bir şey olamaz.

Üçüncünün olmazlığı ilkesi: Bir şey ya A'dır ya da A olmayandır. Üçüncü bir durum düşünülemez.

Klasik mantığın sınıflandırması ile ortaya çıkan insan davranış ve düşünceleri, doğaya tam uygun değildir. Bu sebeple, klasik mantığın ortaçağ bilimlerinde metot olarak yetersizliği ortaya çıkıp, ortaçağ Avrupa düşüncesine hâkimiyeti Rönesans'a kadar devam etmiştir. Klasik mantığın konusunu teşkil eden, kavram, önerme ve kıyas üzerinde yeniçağda Aristoteles'ten farklı bazı yeni görüşler öne sürülmüş ise de, bu yeni fikirler Aristo mantığında köklü değişiklikler yapmamıştır. Mantığın gelişmesi başka bir yönde olmuştur ve 19.yüzyılın ikinci yarısında sembolik mantık çalışmaları başlamıştır (Paksoy, vd., 2013:9).

3.1.1.2. Sembolik Mantık

Sembolik mantık matematiksel yapısı olan bir mantık türüdür. Sembolik mantığa lojistik, matematiksel mantık ve modern mantık gibi adlar da verilir. Matematikte sayılar ve geometrik tanımlar semboldürler. Dildeki sözcükler ve terimler de semboldür (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 25). Türkçe' de yapılan bir önermenin başka dillere çevrilmesi ile kelimelerin ve konuşmaların şekli değişir ama mantık değişmez. İşte bu değişmezliği dilden bağımsız yapmak için öncüller, ardıllar ve bunlar arasındaki ilişkiyi gösteren “VE”, “VEYA”, “DEĞİL” gibi bağlaçların hepsi, harf ve bazı sembollerle gösterilir. Böylece tıpkı matematik diline benzer bir mantık dili ortaya çıkar. Bu mantığın klasik mantıktan pek de bir farkı yoktur sadece sembolik bir dille ifade edilmiş halidir (Şen, 2011: 88).

Sembolik mantığın gelişmesi, önceden açıklanan mantık cümlelerinin bir akış diyagramı dâhilinde bilgisayarlara da anlatılması amacı ile önceki asrın sonlarına doğru (1950 sonrası) hız kazanmıştır. Bilgisayarlar sözelden anlamayan robotlar olarak algılanırsa, onların zihin ve zekâlarının hareketli (dinamik) olmaması dolayısı ile kendilerine kelime ve mantık cümlelerinin simge ile anlatılması yoluna gidilmiştir (Şen, 2011: 8). Buradan şunu söyleyebiliriz ki her türlü bilimsel ve felsefi alanda, bilgisayar sistemlerinde, modern matematikteki kanıtlama işlemlerinde sembolik mantıktan yararlanılmaktadır (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 25).

Sembolik mantığın kökeni Raymond Lulle'e dayanmaktadır. Lulle'nin takipçisi olan ve modern mantığın öncüsü sayılan Leibniz, "characteristica universalis" adını verdiği yeni bir sembol sistemi oluşturmuştur (Paksoy, vd., 2013: 10,11). Sembolik mantık üzerine asıl çalışmalar 19.yüzyılın ikinci yarısında İngiliz mantıkçılar De Morgan, Boole ve Jevons ile başlamıştır. Matematiği örnek alarak mantığı sembolleştirmeye çalışıp, cebirin işlem ve işaretlerini mantığa uygulamışlardır. Bu mantığa cebirsel mantık denir. Ancak mantık alanı matematikten daha geniş olduğu için istenen ilerleme sağlanamamıştır. Bertrand Russell matematikteki paradoksların mantıksal olduğunu kavrayıp, klasik mantığın bunların çözümü için yeterli olmayacağını söylemiştir. Russell daha önce yapılanlara dayanarak arkadaşı Whitehead ile birlikte Principia Mathematica adlı eserle yeni bir mantık sistemi kurmuştur. Bu mantık, Logistik, yeni mantık, modern mantık adlarını almış, böylece Russell ve Whitehead, bugünkü modern mantığın kurucuları kabul edilmektedir (Paksoy, vd., 2013: 10,11).

3.1.1.3. Bulanık Mantık

Bulanık mantık, klasik mantığın tamamen doğru ve tamamen yanlış doğruluk değerleri arasında yer alan "kısmen doğru" kavramını da kapsayacak şekilde genişletilmesi sonucunda ulaşılmış bir mantık türüdür.

Bulanık mantığı anlamamanın bir yolu klasik mantığı anlamak ve bulanık mantığı klasik mantıkla karşılaştırmaktan geçer. Klasik mantıkta kesin doğrular vardır ve ara değerler yoktur. Ancak bu mantık günlük yaşantımızın birçok bölümünde kullanamadığımızdan sıkıntı yaratmaktadır. Sadece doğru ve yanlışın olduğu siyah-beyaz bir dünyadan insanoğlu yaşadığı dünyaya döndüğünde modern mantığın, tek anlamlı ve

tek doğru yoruma sahip, belirsizliği reddeden yapısının yetersizliği görmüştür. Etrafını saran belirsizliği anlayabilmek için aslında çok da yabancı olmadığı bir sistemi, kendini taklit etmiştir (Paksoy, vd., 2013: 11,12).

Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Bazı kişiler tarafından bulanıklığa pusluluk adı da verilmektedir. Bunlar daha ziyade sayısal değil de sözeldir. Bulanık mantık aslında doğada var olan, fakat bilimsel olmadığı, hatta olması gerektiği sonradan anlaşılan, ayrı bir öğreti gibi varlığını çağlar boyu sürdürmüştür. Kimi zaman paradokslar, kimi zaman üç değerli, kimi zaman çok değerli mantık olarak karşımıza çıkmış, nihayet Zadeh'in tanımlamalarıyla gerçek kimliğini kazanmıştır. 1965 yılında Zadeh'in yayımlanmış olduğu “ *The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*” (Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler Kuramı) adlı makaleyle bulanık mantık bilim dünyasındaki yerini almıştır. Zadeh bu çalışmasında insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden 0 ve 1 ile temsil edilen klasik mantık bu düşünce işlemini yeterli bir şekilde ifade edememektedir. İnsan mantığı, açık-kapalı, sıcak- soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra, az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır (Elmas, 2003: 26).

Tablo 3.1. Klasik ve bulanık mantık arasındaki temel farklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A değil	A ve A değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

Bulanık mantığın geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyan hallerdir. İnsan düşüncesinde sayısal olmasa bile belirsizlik, yararlı bilgi kaynağıdır. İşte bu tür bilgi kaynaklarının, olayların incelenmesinde özgün bir biçimde kullanılmasına bulanık mantık ilkeleri yardımcı olacaktır (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 39).

Karışık olan durumlarda bulanıklık yoktur. Fakat “yavaşça biraz ileri gidin” veya “biraz aç” , “çok güzel” veya “parçalı bulutlu” gibi, insanın karar vermek için her zaman idrak etme yeteneğini kullandığı gerçek durumlarda bulanıklık vardır, fakat bilgisayarlar ve diğer ileri teknolojiler bunu kullanamazlar (Paksoy, vd., 2013: 12).

Aristo mantığına göre insanlar kilo bakımından ya kiloludur ya da zayıftır. Hâlbuki Zadeh yaklaşımına göre zayıf olmanın değişik dereceleri vardır. Zayıf olanlardan bir tanesi gerçek zayıf olarak esas alınır, ondan biraz daha zayıf veya kilolu olanlar zayıf değil diye dışlanamazlar. Bulanık mantıkta da belli sınırlar vardır ancak, klasik mantığa göre oldukça esnektir. Esas alınan zayıflığın altında veya üstündeki kilolar için o kadar kuvvetli olmasa bile zayıf grubuna ait olma derecesi biraz daha az olmakla beraber yine de zayıf kümesine girmektedir. Böylelikle dünyadaki tüm insanların teker teker kilo açısından birer üyelik derecelerinin bulunduğunu söyleyebiliriz. Örnekler değişik ölçek ve bulanık kelimeler kullanılarak çoğaltılabilir.

Zadeh’e göre “bulanık mantığın” genel özellikleri şöyledir (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 41):

- ✓ Bulanık mantıkta kesin nedenlere dayalı düşünme yerine yaklaşık değerlere dayanan düşünme kullanılır.
- ✓ Bulanık mantıkta her şey $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- ✓ Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi sözel ifadeler şeklindedir.
- ✓ Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- ✓ Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- ✓ Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygundur.

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olursak onu o kadar daha iyi anlayabiliriz ve onun hakkındaki karmaşıklık o derece azalır fakat tamamen yok olmaz. Yeterli miktarda veri bulunmazsa incelenen sistemlerin karmaşıklığı, o kadar fazla bulanıklık yani belirsizlik içerir. Çözümlerde bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinden bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çıkarımların yapılması yoluna gidilebilir (Şen, 2009).

Bulanık mantığı diğer mantık sistemlerinden ayıran en önemli özelliklerden birisi, bulanık mantıkta bir önerme aynı zamanda hem doğru hem yanlış olamaz denilememesidir. Bu durum, doğruluğun çok değerli oluşundan ve bu çerçevede ve

bağlaçlarına yüklenen anlamdan kaynaklanmaktadır. Bulanıklık, bir önermeyle, değil arasındaki belirsizlikten kaynaklanır (Baykal, N., ve T., Beyan , 2004: 39).

3.1.2. Bulanık Mantığın Ortaya Çıkışı

Zadeh(1968) tarafından gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelenmeye alınırsa çözümün daha da bulanık hale geleceği ifade edilmiştir. İnsan sözel düşünebildiğine ve bildiklerini başkalarına sözel ifadelerle aktarabildiğine göre bu ifadelerin kesin olması zaten beklenemez.

Bulanık mantık kavramının kurucusu sayılan Zadeh (1965), bu kavramı ortaya atarak bilim de bir çığır yaratmıştır. Fakat bulanıklık kavramının 1965’den önce gündemde olmadığını söylemek yanlış olur. Birçok bilim adamının katkısıyla bulanık mantık şu günkü haline gelmiştir. Bulanık mantık kavramının ortaya çıkışına kadar payı olan bilim insanları aşağıda sunulmuştur.

Baykal ve Beyan’ın (2004) belirttikleri gibi, bulanık mantığın ortaya çıkışına ilişkin tarihsel gelişmeler sırayla şöyledir:

- Aristoteles ’den (MÖ 322- MÖ 294) iki yüzyıl kadar önce Gautama Buddha (Siddharta) (MÖ 563- MÖ 483) dünyadaki her şeyin aynı zamanda biraz doğru, biraz da yanlış olabileceği çelişkisi ile dolu olduğunu fark etmiştir. Bununla beraber, doğru ve yanlış zıtlarının ötesinde bir üçüncü bölgenin varlığını gösteren, Platon olmuştur.
- 1900’lerin ilk yıllarında, Jan Lukasiewicz (1878-1956) iki değerli Aristo mantığına karşı öneride bulunmuştur. Açıkladığı üç değerli mantık en uygun olarak “belki” tanımı ile tercüme edilebilir ve doğru ile yanlış arasında bir değere sahiptir.
- Donald Erwin Knuth (1938-), Lukasiewicz’ den aldığı üç değerli mantığı, $[0,1,2]$ tam sayı aralığı yerine $[-1,0,1]$ aralığını kullanarak ifade etmiştir. Bu alternatif yaygınlaşmamış, önemsenmemiş ve karanlıkta kalmıştır.
- Arend Heyting (1898-1980) de çok değerli mantığı genişletmiştir.
- Modern anlamda bulanık mantık düşüncesinin kurucusu sayılan California Berkeley Üniversitesinden Lotfi A.Zadeh (1921-) öznel ve bulanık insan düşüncesini temsil eden veriyi işlemede alışlageldik bilgisayar mantığının yetersiz kaldığını gözlemlemiş ve bu yaklaşımı ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında duyurmuştur. Zadeh’in yaklaşımı, 1965’de Bulanık Mantık

ve Bulanık Küme Kuramı adı altında makale olarak yayınlanmıştır. Bu çalışmasında bulanık küme teorisi ve bulanık mantıkla olan bağlantısını açıklamıştır. Böylece bulanık mantık tüm dünyaya açıklanmıştır.

Bulanık mantık ile ilgili en önemli amacı ve saptamayı yine kurucusu Lotfi Zadeh yapmıştır. Zadeh'e göre önemli olan, bulanık mantığın amaçlarına ulaşip ulaşmadığıdır. O amaçlar ise “bilgisayarların insan gibi düşünmesini ve sözcüklerle hesap yapabilmesini sağlamaktır.” Zadeh, bulanık mantığın geleceği sorulduğunda ise şunları söylemektedir:

“Benim kristal kürem bulanık. Mistik doğası ve dünyayı değiştirme iddiaları yapılmadı ama belirsizlik ve olasılık arasındaki fark vurgulandı. Şurası bir gerçek ki bilgisayarlar henüz insan gibi düşünemiyorlar. Biz de sözcüklerle hesap yapmıyoruz. Ama bu amaçları gerçekleştirmeye öncekilerden daha yakınız.” (İbrahim, A. 2006, aktaran Dalgaldere, 2014: 27).

Zadeh'den sonra popüler olan bulanık mantık, üzerine sonradan çok sayıda araştırma yapılmış, makaleler ve tezler yazılmıştır. Çeşitli alanlarda çok özel çalışmalar da yapılmıştır. Bulanık mantığın uygulama alanlarında bu konudan bahsedilmektedir.

3.1.3. Bulanıklık ve Belirsizlik

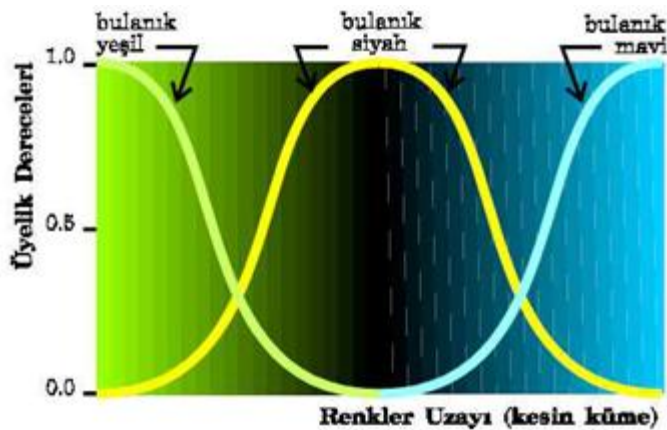
Tarih boyunca insan doğasıyla birlikte ona eşlik eden bu “belirsizlik” kavramının Zadeh (1965)'e değin düşünülmemiş olması elbette pek inandırıcı değildir. Gerçekten de bulanıklık tümüyle yeni bir fikir olarak ortaya çıkmamıştır. Belirsizliğin geçmişi, 2.500 yıl öncesine dayanmaktadır. Aristoteles, gelecekte olacak olası olaylar için ifade edilen doğru ve yanlışın dereceleri olduğunu düşünmüştür (Paksoy, vd., 2013: 16).

Belirsizlik rasgelelik ve bulanıklık olarak iki kategoride incelenir. Rasgelelik olayın meydana gelmesindeki belirsizliğin sayısal ölçüsüdür. Rasgeleliğin en önemli özelliği, sonuçların ortaya çıkmasında tamamen şans olayının rol oynaması ve gerekli öngörülerin ve tahminlerin kesin bir doğrulukla önceden yapılamamasıdır. Sözel belirsizlikler ise bulanıklık adını alır. Ne kadar çok yetersiz veri varsa bulanıklık o kadar fazla olur. Bulanıklık kelimesi genel olarak puslu, dumanlı, kesinlikle ayırt edilemeyen, kesin olmayan, belirsiz, kafa karıştıran, müphem gibi anlamlara gelir. Bulanıklık, olayın olup olmadığını değil, hangi dereceye kadar olduğunu ölçer. Bir olayın olup olmadığı

rasgeledir, yani olay olabilir de olmayabilir de. Bulanıklığın aksine, rasgelelik, bilginin artmasıyla birlikte ortadan kalkar (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 334).

Etrafımızda ilgimizi çeken birçok sorunun yorumlanmasında sayısal bilgiden ziyade fazlaca kendi görüşümüzü, değer yargımızı, düşünce ve uzman görüşlerimizi sözel olarak ifade ederek olayları inceleriz. Kullandığımız sözel ifadelerde belirsizlikler mevcut olsa da insanoğlu birbirini kolayca anlayabilmektedir. Örneğin ‘hava sıcak’ denildiğinde herkes hava kelimesinin günlük hayattaki kullanımını anlamakta ancak ‘sıcak’ kelimesinin ifade ettiği anlam göreceli olarak birbirinden farklı olabilir. Erzurum’da bulunan bir kişinin sıcak için 20°C ya algılamasına karşılık Adana’da bulunan bir kişinin 40°C ye sıcak bulabilir. Böylece ‘sıcak’ kelimesinin altında insanların ima ettiği sayısal anlayışın bir sonucu olarak belirsiz bir durum ortaya çıkar. Burada ki belirsizlik rastgele değildir ve bu şekilde kelimelerin ima ettikleri belirsizliklere bulanıklık (fuzzy) denmektedir (Şen, 2009: 18).

Aşağıdaki Şekil3.1.’de, renkler uzayında tanımlı yeşil, siyah ve mavi değişik tonlara sahiptirler. Örneğin soldan sağa doğru ilerledikçe yeşilin renk tonu koyulaşmakta ve siyaha dönüşmektedir. Şeklin tam ortasında renk tam siyahken, sağa doğru ilerleme sürdürülürse, siyahın renk tonu da açılıp mavi olmaktadır. Görüleceği gibi yeşilin bitip siyahın başladığı, siyahın bitip mavinin başladığı noktalar kesin bir şekilde ayırtılamamaktadır. Verilen üç renk bölgesi de kesin, sabit bir renk tonuna sahip değildir. Dolayısıyla bu üç renk bölgesini birer bulanık küme ile temsil etmek uygun olacaktır. Verilen şekilde sadece yeşil, siyah ve mavinin tonları bulunduğundan, sadece bu üç rengi temsil eden yeşil, siyah ve mavi bulanık kümelerini tanımlamak yeterli olacaktır (Altaş, 1999: 65, 66).



Şekil 3.1. Yeşil, siyah ve mavi renk kümeleri (Altaş, 1999)

Şekil3.1. sol yarısındaki ilk bölgede yeşilden siyaha bir geçiş vardır. Dolayısıyla, bu bölgede sağa doğru ilerledikçe, bölgenin yeşil bulanık kümesine ait olma derecesi azalırken, siyah bulanık kümesine ait olma derecesi de artmaktadır. Şekil3.1.'in sağ yarısındaki bölgede ise siyahtan maviye bir geçiş vardır. Dolayısıyla, şeklin ortasından sağa doğru ilerledikçe, bu bölgenin siyah bulanık kümesine ait olma derecesi azalmakta, mavi bulanık kümesine ait olma derecesi de artmaktadır. Yeşil-siyah tonlarının hâkim olduğu şeklin sol yarısının mavi bulanık kümesinde hiç bir üyeliği yoktur. Benzer şekilde siyah-mavi tonlarının hâkim olduğu sağ yarının da yeşil bulanık kümesinde hiçbir üyeliği bulunmamaktadır (Altaş, 1999: 65, 66).

3.1.4. Dilsel (Ya da Sözel) Değişkenler ve Sözel Eşikler

Bulanık mantığın güçlü yönlerinden birisi kelimelerle hesaplama yapabilmesidir. Gerçekten de kelimelerin açıklama gücü rakamlardan daha fazladır. Sözel değişken kavramı bulanık mantıkta ve uygulamalarda merkezi bir rol oynar. Bulanık mantığın sözel olarak değişik sıfat dereceleri ile ifade edilen doğruluk değerine sahip oluşu ve geçerliliği kesin değil, fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip oluşu ayırt edici özelliklerdir.

Genel olarak kelimelerin başlarına ilave edilen ön sıfatlarla anlamları biraz daha daraltılır veya genişletilebilir. Bu ön kelimeler arasında 'çok', 'aşağı yukarı', 'takriben', 'yaklaşık', 'oldukça', 'biraz', 'sıklıkla', 'kabaca' gibi burada tümü sayılamayacak kadar çok kelime bulunur. Ön sıfat kelimelerine sözel eşikler denir (Şen, 2009: 94). Genel olarak değişkenler sayısal değerler alırlar. Eğer bir değişkene sözel terim atanırsa sözel değişken adını alır (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 44).

3.1.5. Bulanık Mantıkta Paradoks

Türkçe'ye, Fransızca paradoxe sözcüğünden türeyerek giren paradoks sözcüğünü, etimolojik anlamda kökeni Yunanca paradoksos yani karşıt-çelişen düşüncedir. Bu Yunanca kökenli sözcüğün Latince'ye paradoxus olarak girmesi, sözcüğün daha sonra (17. yüzyılda) batı dillerinde yer almasını sağlamıştır. Kökende sözcük "kabul görmüş bir düşünceyle çelişen, karşıt bir ifade" anlamında kullanılırken, bugün bu anlamdan ziyade

felsefi ve mantıksal anlamda kullanılmaktadır. Paradoks teriminin karşılığı olarak Türkçe’de yanıltmaç, çatışkı ve çelişki sözcükleri kullanılmaktadır.

Geleneksel mantık sistemleri, sadece belirli koşullarda oluşan, kesin doğruluk değerleri doğru ya da yanlıştan birisine sahip önermelerle ilgilenirler. Belirsizlikle ilgilenmezler. Üçüncü bir durumun gerçekleşmesinin imkânsız olduğu varsayılır ve çoğu zaman bu tür durumlar paradoks olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle, doğruluk önermeleri {Yanlış, Doğru} veya sayısal olarak {0,1} kümesinin elemanlarıyla ilişkilendirilen bir küme olarak görülebilir (Baykal, N., ve T., Beyan, 2009: 9).

Sayı doğrusu bulanıklık ile ikili mantık arasındaki matematiksel çelişkiyi göstermektedir. İkili mantık sadece sayı doğrusunun köşe noktalarında veya sonlarında geçerli olmaktadır. Buna karşın bulanıklık veya çoklu değerli mantık köşelerin (veya sonların) arasında her yerde geçerli olmaktadır. Modern matematikte, sayı doğrusunun orta noktası paradokstur. Matematikçiler paradoks kelimesini orta nokta ve sınır çizgisindeki durumların istisnai durumlar olduğunu belirtmek için kullanırlar. Aslında bu durum ikili mantığın ilk aşamalarında kendini belli etmektedir (McNeill ve Thro,1994, aktaran Paksoy vd., 2013: 8).

Klasik mantıkta önermeler ya tamamen doğrudur ya da tamamen yanlıştır. Bu nedenle klasik mantığın yolundan körü körüne gittiğimizde bazen paradokslarla karşılaşırız. Aşağıda birkaç paradoks örneği verilmiştir.

>>Giritli Epimenides: “*Bütün Giritliler yalancıdır!*” diyerek bizi çelişkiye götürür. Eğer doğruyu söylüyorsa kendi önermesinin de bir yalan olması gerekir. Ancak bu durumda da önermesi yanlış olduğundan doğruyu söylemiyor olması gerekir. Klasik mantıkta önerme hem doğru hem yanlış olamaz, ikili mantığa göre bu olanaksızdır. Bulanık mantıkta önermeler kısmen doğru olabilir. Bir şey hem birbirine bakan iki yüz hem de vazoyu temsil edebilir. Epimenides’in önermesi %1 oranında doğru ve büyük oranda yanlış olabilir. Yani çok az kişi yalan söylüyordur, bunlardan biri de kendisidir. Veya %99 oranında doğru olabilir. Giritlilerin neredeyse tamamı yalancıdır. Geri kalan %1’lik doğrucu guruptan biri olarak bu önermeyi yapmış ve “Bütün Giritliler yalancıdır” demiştir.

>>20.yüzyılın başlarında mantıkçı Bertrand Russell, bu paradoksların küme teorisinin başına dert olduğunu belirtmiştir ve bunu da aşağıda ki örnekle açıklamıştır. Russell'in berberinin duvarında şu yazı asılıydı: "*Ben sadece ve sadece kendi kendine tıraş olamayanları tıraş ederim.*" Öyleyse berberi kim tıraş ediyor? Eğer kendi kendini tıraş ediyorsa, o halde duvardaki yazıya göre kendini tıraş etmiyordur. Fakat eğer kendisini tıraş edemiyorsa, o halde yazıya göre kendini tıraş ediyor demektir. Böylece aynı zamanda kendisini hem tıraş ediyor hem de etmiyor gözükmektedir. Peki, berber kendini tıraş etmeli midir? Berber bir kadınsa sorun yoktur, değilse böyle bir durum çıkarılamaz. (Paksoy vd., 2013: 8).

>>Socrates'in paradoksu ise ; "*Bildiğim tek şey hiçbir şey bilmediğimdir*".

>>Toplumumuzda "*Hem şehrim nerelisin?*" sorusuyla karşılaşmışızdır. Eğer hem şehrim deniliyorsa zaten soru yöneltilenin nereli olduğu biliniyordur veyahut nerelisin deniliyorsa hem şehri değildir. Görüldüğü üzere burada da bir paradoks vardır.

>>Kanadalı astrofizikçi Hubert Reeves: "*Doğayla savaş halindeyiz. Eğer kazanırsak, kaybedeceğiz*". Kazanıyorsak nasıl kaybediyoruz burada da paradoksun olduğundan söz edebiliriz.

>>"*Şimdi yalan söylüyorum.*" Bu önermenin doğruluk değeri nedir? Yani "şimdi yalan söylüyorum" derken doğru mu söylüyorum yoksa yalan mı söylüyorum? Bu önermenin doğru olduğunu varsayalım. Öyleyse yalan söylüyorum. Bu bir çelişkidir. Bu önermenin yalan olduğunu varsayalım. O zaman bu cümle doğru olmalıdır. Bu da başka bir çelişkidir.

>> Bir bardağın içinde biraz su kaldığını farz edelim. Ve biz bu durumu yuvarlayarak boş diyelim. Böylece köşe noktaları arasındaki bir ara değerini bir köşe değerine yuvarladık; %5 veya %10'unu, %0'a yuvarlamış olduk. Bunun da anlamı; biz sayı doğrusu üzerinde ilk önce bir ara değeri ölçüyoruz ve daha sonra en yakın köşe noktasına sıçrayarak o ara değerini köşe değerine yuvarlıyoruz (Paksoy vd., 2013: 7).

Bulanık yorumlama; bardağı, berberi ve Sokrat örneklerini ve yukarıda verdiğimiz örnekleri de orta nokta durumları olarak görmektedir. Bu durumların hepsi %50 doğrudur, ne %100 ne de %0 değildir. Eğer biz hala %100 dolu bir bardak veya %100 tıraşta ısrar edersek ikili mantığın içine düştüğü paradoksa düşeriz. Yarı boş veya yarı

dolu bardak bu durumu gösterir. Su, %50 bardağın içindedir. Bu dünyadaki gerçek durumu yansıtmaktadır. Fakat biz burada %50 olasılıkla doğru olduğundan bahsetmiyoruz. Biz burada yarı dolu bir bardaktan söz ediyoruz. Eğer biz bu durumu belli nedenlerle ikili mantığa göre sınırlarsak(tümü veya hiçbiri, doğru veya yanlış gibi) karşımıza gerçek bir çelişki çıkar (Paksoy vd., 2013: 8).

3.1.6. Bulanık Küme Kavramı

Bulanık kümeler, üyelik için yeterli kriterlerin olmadığı yetersiz tanımlanmış nesneler kümesidir. Bu gibi toplulukların tanımlanmamış sınırları vardır. Öyle ki, topluluk içindeki bu nesnelerin topluluğa ait olup olmadığını tanımlamak imkânsızdır. Bu tür bilgi eksiklikleri, matematiksel modellemeyi güçleştirmekte hatta imkânsız hale getirmektedir. Gerçek hayatta karşılaşılan bazı nesne toplulukları, net olarak tanımlanmış üyelik kriterlerine sahip değildir. Örneğin, elemanları kartal, şahin, serçe olan kuşlar kümesine fasulye, fil ve yılanın girmeyeceği açıktır. Bununla birlikte yarası ve penguen için bunu söylemek o kadar kolay değildir. Fakat gerçek yaşamda, kesin olmayan şekilde tanımlanan topluluklar veya kümeler, insan düşüncesinde önemli rol oynar (Paksoy vd., 2013: 5-6).

Bulanık küme kavramı, 1960'ların ortasında Zadeh'in, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından, hoşnut kalmayışından doğdu. Zadeh, niteliklerin ikili üyelik fonksiyonuyla ifade edildiği klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edildiği bulanık kümeler tanımlamasını önerdi. Bir başka deyişle klasik küme kavramında bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda 1'e ait olmamaları durumunda 0'a eşit varsayılmıştır. Bunun arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez. $\{0,1\}$ olarak gösterilmektedir. Âmâ bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. $[0,1]$ olarak gösterilmektedir. Bir çeşit çok değerli küme kuramı olan bulanık küme kuramı, belirsizliğin bir çeşit formülleştirilmesidir. Fakat işlemleri, diğer küme kuramlarınıninkilerden farklılıklar gösterir. Kümedeki her birey, klasik çift değerli küme kuramlarında olduğu gibi üye ya da üye değil olarak değil, bir dereceye kadar üye olarak görülür (Elmas, 2003: 25; Şen, 2009: 23).

Sözel ifadelerin bilgisayara aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır. Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve bulanık mantık olarak adlandırılır. Bulanık mantık, insanın günlük yaşantısında nesnelere verdiği üyelik değerini, dolayısıyla insan davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam olarak ısısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyicileri kullanır (Elmas, 2003: 25,29).

Örnek olarak çeşitli muzlardan oluşan bir kümeyi düşünelim. Bu muzların hepsi muzlar kümesinin tam elemanı olsun. Bir tanesinin bir parçasını ısırdığımızı düşünelim. Bu muz, muzlar kümesinin elemanı mıdır? Bir ısırık daha, bir ısırık daha... Muz olma ile muz olmama arasındaki sınır neresidir? İşte tam olarak üye ya da üye değil diyemeyeceğimiz bu gibi durumlar için kısmi üyelik derecesi kavramı oldukça yardımcı olabilir.

Bir bulanık küme ögesi aynı değişken özelliğine sahip olmak üzere başka bir kümenin de ögesi olabilir. Örneğin, bir yerde hava 35 °C sıcak olmasına karşılık aynı derecede, nem miktarının artması sonucunda bunaltıcı sıcaklığı temsil eden başka bir kümenin de ögesi olabilir. Sonuç olarak bulanık küme için klasik kümelerle göre belirsiz, bulanık sınırı olan kümedir denilebilir (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 74).

Karmaşık bir sistemde eksik bilgi ve olaylardan dolayı kesin matematik yeterli olmamaktadır. Geleneksel olarak olasılık kuramı, kesin olmamayı ya da belirsizliği ele almak için başarılı bir yaklaşımdır. Örneğin bir meyve ya elmadır ya da değildir. Bu durumda olasılık, bazı bilgi ya da olayları açıklayabilmek için sınırları açıkça tanımlanan iyi bir yaklaşımdır. Fakat bir renk kırmızı ya da kırmızımsı olabilir. Kırmızı ya da kırmızımsı renklerin kümesini tanımlamak oldukça zordur. Ve böyle bir durumda olasılık kuramının mümkün tüm problemleri modelleyemediği görülür. Bulanık küme kuramı, tanımlanmayı ve kesin sınırları gerektirmeyen bu tür problemleri çözmek için geliştirilmiştir ve kısmi üyelik ilişkilerini göz önüne alır. Bulanık küme kavramı, gerçek hayatta karşılaşılan bu tür belirsizliklerin matematiksel olarak açıklanmasını ve bir fonksiyon yardımıyla ifade edilmesini öngörür (Paksoy vd., 2013: 1).

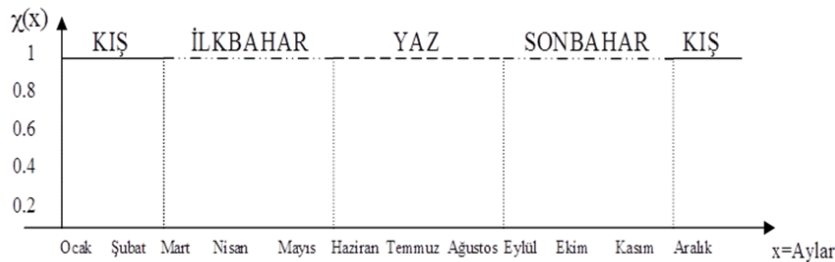
Bart Kosko, bulanık kümeleri anlatmak için pek çok konferansında şu yöntemi uygulamaktadır: Katılımcılara, “Burada bulunan erkekler el kaldırsın !” der. Salondaki

erkekler kendilerinden emin bir şekilde el kaldırırlar. Daha sonra, “Burada bulunan bayanlar el kaldırsın!” der. Bayanlar da kendilerinden emin bir şekilde el kaldırır. Fakat katılımcılara “İşinden memnun olanlar el kaldırsın” dediğinde, işte tam bu noktada, pek çok katılımcı, “oldukça kararsız” bir şekilde el kaldırırlar; bazı eller iyice kaldırılmış, bazıları kararsız, bazıları da daha az kaldırılmış olur. Klasik mantık açısından “Salondaki Erkekler Kümesinin veya “Salondaki Kadınlar Kümesinin elemanları açıkça bellidir. Klasik mantık açısından salondaki katılımcılar iki kümeden birine aittirler. Şöyle de söyleyebiliriz: Salondaki herhangi biri, örneğin Salondaki Kadınlar Kümesinin ya elemanıdır ya da elemanı değildir. Fakat “İşinden Memnun Olanlar Kümesi” söz konusu olduğunda kümeye aidiyet durumu, biraz farklılaşır, biraz karmaşıklaşır. Artık burada, salondaki herhangi birinin İşinden Memnun Olanlar Kümesinin ya elemanı ya da elemanı olmadığı kesin biçimde söylenemez. Bazılarının memnuniyeti çok fazla, bazılarının çok az, bazılarının biraz olabilir. İşte bu türden belirsizlikler içeren ve dil bilimsel değişkenlerden oluşan kümelere bulanık mantık kümeleri denir. Böylesi olgular, bulanık mantık tarafından incelenir (Işıklı, Ş. 2009, aktaran Dalgaldere 2014).

3.1.7. Üyelik Fonksiyonu

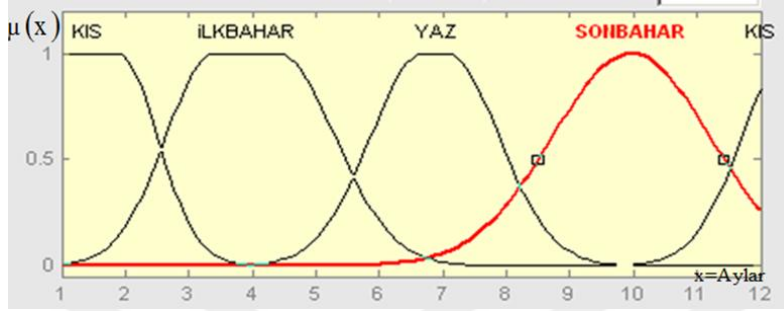
Bulanık kümelerde üyelik dereceleri arasındaki geçiş yumuşak ve sürekli bir şekilde olmaktadır. Ögeler bulanık kümeye kısmi derecede aittir. Bulanık kümelerde klasik kümelerdeki karakteristik fonksiyon, $\mu_A: E \rightarrow \{0,1\}$, yerini üyelik fonksiyonuna bırakır. Bu da; $\mu_A: E \rightarrow [0,1]$ şeklinde gösterilir. Genel olarak küme üyelik değerleri ile değişiklik gösteren eğriye *üyelik fonksiyonu* adı verilir (Baykal, N., ve T., Beyan 2004: 76).

Mart ile Mayıs bahar özelliklerini aynı derecede mi gösterirler? 31 Mayıs bahar özelliklerini gösterirken, 1 Haziran yaz özelliği mi gösterir? Gerçekten mevsim özellikleri birbirini içine geçmiştir ve bir günde böyle ani bir değişiklik göstermez.



Şekil 3.2. Aylar ve ait oldukları mevsimlerin klasik küme ile gösterimi

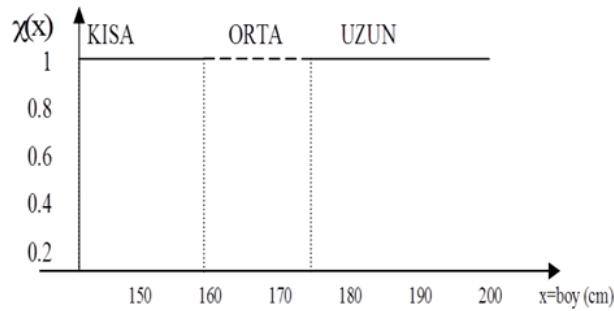
Şekil3.2’deki üyelik fonksiyonlarının tümü birer dikdörtgen şeklindedir. Tüm Aristo mantığı yaklaşımındaki alt kümelerin üyelik fonksiyonları dikdörtgen şeklindedir. Bunun anlamı herhangi bir ögenin aitlik bakımından bir ayrıcalığı yoktur ve hepsi aynı derecede o alt kümenin birer ögesidir (Şen, 2009: 38).



Şekil 3.3. Aylar ve ait oldukları mevsimlerin bulanık küme ile gösterimi

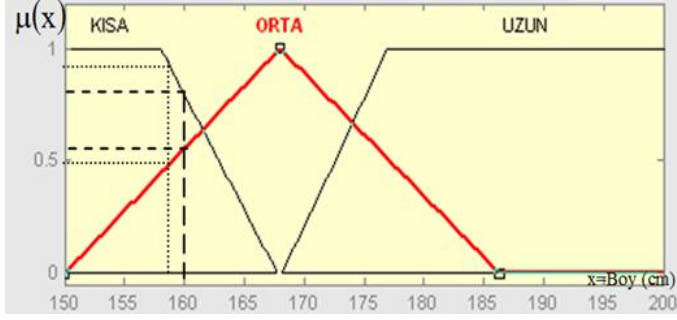
Hâlbuki günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça müphem ve şüpheli, yani bulanıktır. Böylece, mevsim alt aralıklarının birbirini ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile sonuçta şekil 3.3.’de verilen üyelik fonksiyonları ortaya çıkar (Şen, 2009: 39).

Benzer bir şekilde boy için klasik ve bulanık küme tanımlarını verelim. Klasik küme için aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 3.4. Klasik kümelerle boy sınıflaması

Klasik küme tanımlamasına bakıldığında 1.59 boyundaki biri kısa sınıfına ve ya kümesine girerken; 1.60 boyundaki arkadaşı orta boylu kabul edilmektedir. Aynı şey 1.74 boyundaki biri için de geçerlidir.



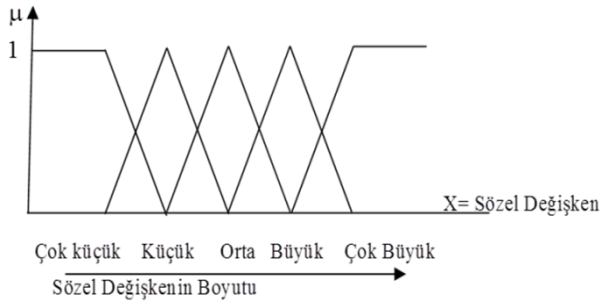
Şekil 3.5. Bulanık kümelerle boy sınıflaması

Şekil3.5.'te artık üyelik derecelerini de yorumlayabiliriz. Bu gösterimde klasik kümedekinden farklı olarak bu kişilerin birbirine yakın özellikler gösterdiği daha anlamlı bir biçimde ifade edilebilmektedir. Görüldüğü üzere klasik mantık üyelik derecesi olarak '0' ya da '1' almıştır. Yani, kümeye ya dâhil ya da değildir. Oysa bulanık mantıkta $[0,1]$ arasında belli dereceler almıştır.

3.1.8. Üyelik Derecesi Atanması

Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde atama işlemine ilk başlayanlar tarafından kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre atanmaları faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde Ross(1995)'ın kitabında kullanılan yöntemlerin başlıcaları: Sezgisel teknikler, çıkarım, sıralama, açısız bulanık kümeler, sinir ağları, genetik algoritma, tümevarımsal muhakeme, hafif bölümlendirme, meta kurallar, bulanık istatistik (Şen ,2009: 46 ; Paksoy vd., 2013: 30).

Bunlardan sezgi fazlaca yöntembilim bilgisi gerektirmemektedir. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaylara bakışları ile o olay hakkındaki uzman görüşleri önemli rol oynar (Şen, 2009: 46). Örneğin; Hemen hemen hepimizin kullandığı günümüz cep telefonları çeşitli boyutlardadır. Bazısı çok büyük iken bazısı çok küçüktür. Telefon boyutlarının belirttiği belirsiz alt kümeleri ele alalım. Bu alt kümelerin her biri üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları olarak Şekil3.6'da görüldüğü gibi temsil edilebilir.



Şekil 3.6. Telefon boyutlarının bulanık alt kümeleri

Herhangi bir yöntemle oluşturulabilen üyelik fonksiyonlarının yanında bir grup insanın fikir yürütmesi veya anket yoluyla da bulanık değişkenler için değer atanabilir (Paksoy vd., 2013: 30).

3.1.9. Üyelik Fonksiyon Tipleri

Çok sayıda üyelik tipi olmakla beraber pratikte en fazla kullanılanlar üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian ve sigmoid fonksiyonlarıdır.

Üçgen Üyelik Fonksiyonu: Bir üçgen üyelik fonksiyonu a_1 , a_2 ve a_3 olarak üç parametre ile tanımlanır.

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

Yamuk Üyelik Fonksiyonları: Bir yamuk üyelik fonksiyonu a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 olarak dört parametre ile tanımlanır. Aslında üçgen üyelik fonksiyonu yamuk üyelik fonksiyonunun özel bir durumudur.

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

Formüllerinin basit oluşu ve bilgi işlemsel etkinlikleri açısından hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları çeşitli bulanık mantık uygulamalarında oldukça sık kullanılan fonksiyonlardır.

Gaussian Üyelik Fonksiyonu: Bu tip üyelik fonksiyonu m ve σ parametreleri ile tanımlanırlar.

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

Bu fonksiyonda m fonksiyon merkezini ve σ da genişliğini ifade eder. σ değerini değiştirerek, fonksiyonun değerini değiştirebiliriz.

Çan Şekilli Üyelik Fonksiyonu: Bu tip üyelik fonksiyonu da a_1 , a_2 ve a_3 olarak üç parametre ile tanımlanır.

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

Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu: Bu tip bir üyelik a_1 ve a_2 parametreleri ile tanımlanırlar.

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

3.1.10. Bulanık Kümeler ve Olasılık

Bulanıklık kavramı ortaya atılmasından itibaren bazı araştırmacılar bulanıklık fikrini benimsemiş ancak büyük bir çoğunluğu karşı görüşte olmuştur. Karşı görüşte olanlar bulanıklaştırmanın kesin olan bilimsel ilkelere uymadığını ve hatta bilime karşı geldiğini ileriye sürmüşlerdir. Özellikle, ihtimaller teorisi ve bu konularda çalışan araştırmacılar, bulanık sistemlere karşı çıkmışlardır. Bulanık yöntemlerin yapacağı her türlü modellemenin, ihtimal ve istatistik hesaplamaları ile yapılabileceği ileri sürülmüştür. Hatta bulanıklığın bilime getirdiği yeni bir şey olmadığını istatistiğin bulanık sistemlerden çok daha iyi sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir. Ancak burada gözden kaçırılan basit bir nokta sözel bilgilerin bulunması halinde istatistiğin fazlaca işe yaramadığıdır (Şen, 2009: 14-17). Bayes teorisi gibi istatistik yöntemler ile sözel bazı ifadelerin hesaplanmasında mümkünse de bu yöntemlerin işleyişlerinde bazı temel kabullerin (normal olarak dağılmış olmak, doğrusal olmak gibi) pratikte gerçekleşmemektedir (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 334).

Olasılık ile bulanıklık arasındaki en önemli ve temel farklılık bulanıklığın tespit edilebilir belirsizlik olmasıdır (Elmas, 2003: 38). Aşağıdaki bulunan sıvı örneği bu durumu açıklamaktadır.

Susamış bir insanın karşısında iki şişe su olduğunu varsayalım. Bu şişelerden bir tanesini seçme şansı verilmektedir. Şişeler hakkında ise şu bilgiler verilmektedir. Bu şişelerden birinde bulunan içeceğin %95 ihtimalle iyi ve sağlığa yararlı su olduğu bilgisine sahip olduğunu düşünelim. İkinci şişedeki suyun ise iyi ve sağlıklı olma üyelik derecesinin 0.95 olduğu bilgisi verilmiş olsun. Acaba bu iki seçenekten hangisini seçerdiniz? %95 ihtimalle iyi ve sağlıklı olan birinci şişedeki içeceğin %5 ihtimalle zehirli veya sağlığa zararlı bir birleşen bulunabileceğini düşünür müsünüz? İşte bu bilgi ve düşünceler bulanık ve ihtimal bilgileri arasındaki farkı belirtmeye yeterlidir. İnsan doğal olarak bulanık bilgilerin bulunduğu bardağı seçecektir. Çünkü 0.95 oranında su güvenilirken, diğer şişede %95 olasılıkla bir ihtimalden bahsedilmektedir. Yani ihtimalli olan sıvı şişesinde belirsiz bir durum mevcuttur.

3.1.11. Klasik ve Bulanık Kümeler

Kümeler temel matematik ve mantık kavramlarının esaslarını teşkil etmektedir. Çeşitli eşya veya bireylerin topluluğuna kısaca küme denilmektedir. Bu topluluk akla gelen her türlü nesne olabilir. Bunlar arasında insanlar, eşyalar, yollar, ülkeler, hayvanlar, tek sayılar, harfler, atomlar, DNA'lar vs., bulunur. Kümeye giren bu nesneler birbirinden ayırt edilebilen bireylerdir, ama küme ögesi olabilmeleri için hepsinin ortak sayısal veya sözel özelliği bulunmalıdır. Örneğin, bir yerdeki kadınlar kümesi denilince çocuk, genç ve yaşlı her kadın işin içine girerek o kümenin öğelerini oluşturur. Başka bir küme, mesela, 32 yaşının altındakiler sayısal ifadesi ile oluşturulabilir.

3.1.11.1. Klasik Kümeler

Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiçbir zaman kısmi üyelik olamaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik veya yeni ürün kümelerinde elemanların üyelikleri $\{0,1\}$ değerlerini alır.

A ve B kümeleri X evrensel kümenin iki alt kümesi olsun. Buna göre;

A veya B 'ye ait tüm elemanlarının oluşturduğu kümeye A ile B 'nin birleşimi denir. Bu işlem;

$A \cup B = \{x/x \in A \text{ veya } x \in B\}$ olarak ifade edilir.

A ve B' ye ait tüm elemanların oluşturduğu kümeye A ile B'nin kesişimi veya arakesiti denir. Bu işlem;

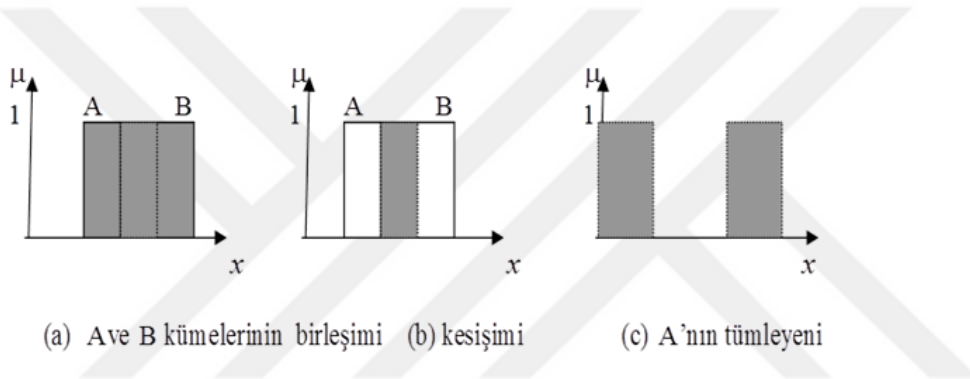
$A \cap B = \{x/x \in A \text{ ve } x \in B\}$ olarak ifade edilir.

A kümesine ait olmayan X evrensel kümesine dâhil olan kümeye A'nın tümleyeni denir. Bu işlem;

$A^C = \{x/x \notin A, X \in X\}$ olarak ifade edilir.

A kümesine ait olup B kümesine ait olmayan elemanlardan oluşan kümeye A ile B'nin farkı denir. Bu işlem;

$A - B = \{x/x \in A \text{ ve } x \notin B\}$ olarak ifade edilir.



Şekil 3.7. Klasik kümelerin birleşimi, kesişimi ve tümleyeni

3.1.11.2. Bulanık Kümeler

Klasik kümelerde bir öğenin kümeye ait olması için üyelik derecesinin mutlaka 1'e eşit olması gerekirken, bulanık kümede nerede ise bütün öğelerin değişik derecelerde kümeye ait olmaları mümkündür. Bulanık kümelerin gösterimi örneğin, A bulanık kümesi gösterimi $\underline{A}$ veya $\underline{A}$ şeklindedir. Bulanık kümede yatay eksenindeki gerçek sayıların her biri, dikey ekseninde 0 ile 1 arasında değişken üyelik derecelerine dönüştürülür. Böylece, yatay eksenindeki bir gerçek sayı x ile gösterilirse bunun üyelik derecesi bundan sonra $\underline{u}(x)$ ile gösterilecektir. O halde $0 \leq \underline{u}(x) \leq 1$ olmaktadır. Genelde, bir klasik X kümesinin elemanları $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$ şeklinde gösterilirken bunun bulanık hali;

$$\underline{X} = \left\{ \frac{x(x_1)}{x_1} + \frac{x(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum \frac{x(x_i)}{x_i} \right\}$$

şeklinde gösterilir. Bulanık kümenin sürekli olması durumunda ise;

$$\underline{X} = \left\{ \int \frac{x(x)}{x} \right\}$$

olur. Yukarıdaki denklemlerin ilkinde artı işareti alışa geldiğimiz toplamı değil, küme öğelerinin topluluğunu ifade etmek içindir. İkinci denklemdaki integral işareti de bildiğimiz integral anlamına gelmez yine topluluğu gösteren bir işaret olarak algılanmalıdır. Her iki formülde de bulunan bölme işareti ise bölme işlemini göstermez, sadece alttaki gerçek sayıya yani küme öğelerine üstteki üyelik derecesinin karşı geldiğini belirtir (Şen, 2009: 74).

Mantık bağlaçlarından veya 'lama iki farklı bulanık küme arasında yapılabilir. Bunun için verilen iki bulanık kümenin veya'lanması ile öğelerin üyelik derecelerinin maksimizasyonu (en büyüklenmesi) kuralı geçerlidir. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerine ait üyelik fonksiyonları sırasıyla $\mu_{\tilde{A}}$ ve $\mu_{\tilde{B}}$ olsun. İki bulanık kümenin birleşiminin üyelik fonksiyonu, bireysel üyelik fonksiyonlarının maksimumu olarak tanımlanır ve veya'lama olarak da geçmektedir (Paksoy vd., 2013: 37).

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), \quad \forall x \in U$$

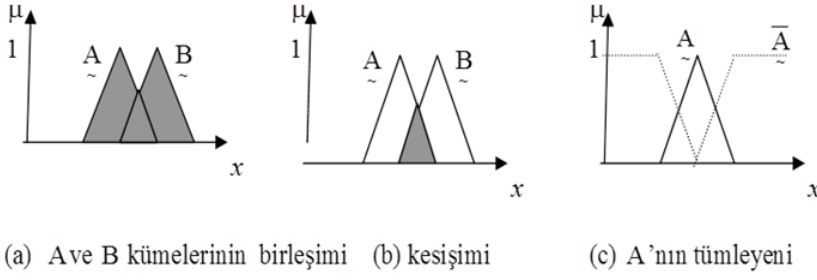
$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık sayılarının kesişimi bireysel üyelik fonksiyonlarının minimumu olarak tanımlanır ve ve'leme olarak da geçmektedir (Şen,2009).

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)), \quad \forall x \in U$$

Klasik ve sembolik mantıkta değil'leme, bir kavramın dışında kalan ve o kavrama ait olmayan öğelerin çıkarımı için kullanılmaktadır. Burada da aynı düşünce geçerli olmasına rağmen, klasik ve sembolik mantıktakinin aksine, bulanık bir kümenin değil'lenmesi ile tüm öğelerin dışlanması mümkün olmadığı görülmektedir. Üyelik dereceleri göz önünde tutulduğunda bir bulanık kümenin değil'lenmesi demek, bunun öğelerinin üyelik derecelerinin 1'den çıkarılması anlamına gelir (Şen, 2009).

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri için, $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{B}}(x)$, $\forall x \in U$ koşulu sağlanıyor ise, $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ için tümleyendir denir ve $\tilde{B} = \tilde{A}^c$ ve $\tilde{A} = \tilde{B}^c$ ile gösterilir (Paksoy vd., 2013: 39).

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümeleri, $\mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x)$, $x \in X$ koşulunu sağlıyor ise $\tilde{A}$ 'ya, $\tilde{B}$ 'nin alt kümesi ($\tilde{A} \subset \tilde{B}$) denir (Paksoy vd., 2013: 40).



Şekil 3.8. Bulanık kümelerin birleşimi, kesişimi ve tümleyeni

3.1.12. Bulanık Sistemler

Klasik mantıkta önermeler kesin ve açıktır. Klasik mantıkta, verilen önermelerden bir sonuca varmaya çıkarım denmektedir. Çıkarım ise önermelerden birbiriyle tam olarak uyduğu zaman yapılabilir (Elmas, 2003: 39).

Örneğin;

Önerme: Balıklar yüzer.

Gerçek: Yunus bir balıktır

Çıkarım: Yunus yüzer.

Günümüzde sözel verilere oldukça önem verilmektedir. Bunun sebebi, insanların bir cihaz gibi sayısal değil de yaklaşık sözel verilerle konuşarak anlaşmasıdır. Bu sözel insan verilerini bir sistem içinde formüle ederek cihazların verdiği sayısal bilgilerle beraber göz önünde tutmak gerekir. İnsanların sunduğu sözel bilgilerin sayısal hale getirilip bilgisayar veya algoritmalar tarafından algılanarak hesaplamaların yapılabilmesi için bulanık sistemlere gerek vardır (Şen, 2009: 29).

Bulanık sistemlerde girişler hakkında sonuca varma ve karar verme EĞER-O HALDE (IF-THEN) türünden kuralların kullanılması ile mümkündür.

Örneğin;

- Eğer ışık kırmızı ve hız yüksek ise fren yap
- Eğer ışık sarı, hız orta ve kavşak uzak ise fren yap
- Eğer ışık yeşil, hız çok düşük ve kavşak çok yakın ise hızlan

Bu kurallardaki ‘düşük’, ‘fazlaca’, ‘yüksek’ ve ‘az’ kelimeleri değişik kişilerde ister istemez belirli aralıkta toplanan sayısal değerler topluluğunu ima eder. İşte bu ima edilen değerler topluluğuna o kelimeyi temsil eden küme denir (Şen, 2009: 29).

3.1.13. Bulanık Mantık Denetleyicisinin Üstünlük ve Sakıncaları

Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşımlara göre bir takım üstünlük ve sakıncaları bulunmaktadır.

Üstünlükler: Bulanık mantığın uygulamada pek çok yararı bulunmaktadır. Bulanık mantık kolayca anlaşılabilir ve arka plandaki teorileri basittir. Esnek olup, kesin olmayan verileri, belirsizlik ve olasılık durumlarını, karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonları uzman görüşüne dayanılarak modelleyebilir ve uzman sistemlerin yeteneğini de artırır. Ayrıca bulanık mantık doğal olup konuşma diliyle modelleme imkânı verir (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 41-42).

Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğü oluşturmaktadır. Bilindiği gibi denetim işlemlerinin birçoğu dilsel niteleyicilerle yapılmaktadır. Matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en başarılı uygulama alanlarıdır. Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar (Elmas, 2003: 39).

Sakıncalar: Bulanık mantık uygulamalarında mutlaka kuralların uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir. Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman alabilir. Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel sorunudur. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımında üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanması çok zordur. Bunun yanı sıra belirtilen dezavantajları ise üyelik işlevlerinin ayarlanmasının zaman alması ve öğrenme yeteneği olmamasıdır (Elmas, 2003: 40).

3.1.14. Bulanık Mantığın Uygulamaları

Elmas'a göre (2003) bulanık mantığın tarihlere göre uygulanışı şöyledir:

- 1974: Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından bir buhar makinesinin bulanık denetiminin gerçekleştirilmesi olmuştur.
- 1980: Bir Hollanda şirketi çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık denetimini uygulamıştır.
- 1983: Fuji elektrik şirketi su arıtma alanları için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapılmıştır.
- 1984: Omron şirketinin 700'den fazla uygulama yapmıştır.
- 1987: 2.IFSA kongresinde ilk bulanık mantık denetleyicileri sergilenmiştir.
- 1987: Hitachi takımının tasarladığı Japon Sendai metrosu denetleyicisi çalışmaya başlamıştır. Bu bulanık mantık denetim metroda daha rahat bir seyahat, düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlanmıştır.
- 1989: Omron şirketi Japonya'nın Harumi şehrinde bulunan çalışma merkezinde yapmış olduğu bulanık sonuç-board'la yapılan depolama, tekrar etme ve bulanık sonuçlarını elde etmek için kullanılan bilgisayara dayalı olan çalışmaları tanıtmıştır.
- 1990: Bulanık kuramının uygulamalarının ürünleri Japonya'da tüketicilere sunulmuştur. Örneğin, bulanık denetimli çamaşır makinesi, bu makine çamaşırın cinsine miktarına, kirliliğine göre en etkili çamaşır yıkama ve su kullanım programını seçebilmektir.

Takip eden yıllarda birçok uygulama yapılmıştır. Bulanık mantık temeline dayanan ürünlerin pek çoğu elektrik pazarında Japonya' da üretilmektedir.

Bulanık mantığın kullanıldığı otomatik kontrol sistemleri, bilgi sistemleri, uzman sistemler, kontrol sistemleri, görüntü işleme, optimizasyon, yönetim ve karar destek sistemleri, ekonomi ve finans, biyoloji ve tıp bilimi, çevre bilimi, mühendislik ve bilgisayar bilimleri, araştırma çalışmaları, veri madenciliği, psikoloji, kontrol sistemler ve daha birçok alanda uygulamaları mevcuttur.

Tablo 3.3. Bulanık Mantık Uygulamaları (Kaynak, O., ve G., Armağan, 1993)

Kullanım Alanı	Kullanan	Kullanım Amacı
Asansör Denetimi	Fujitec/Toshiba Mitsubishi Hitachi	Yolcu trafiğini değerlendirir, böylece bekleme zamanını azaltır.
SLR Fotoğraf Makinesi	Sanyo-Fisher, Canon, Minolta	Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi odağı ve aydınlatmayı belirler.
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulması nedeni ile çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır.

Çamaşır Makinası	Matsushito	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını kumaş cinsini sezer ona göre yıkama programını seçer.
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlamanın yanı sıra, durma pozisyonunu iyi ayarlar.
Elektrikli Süpürge	Matsushito	Yerin durumunu ve kirliliğini seçer, motor gücünü uygun bir şekilde ayarlar.
Su Isıtıcı	Matsushito	Isıtmayı, kullanılan suyun miktar ve sıcaklığına göre ayarlar.
Klima Cihazı	Mitsubishi	Ortam koşullarını sezerek en iyi çalışma durumunu saptar, odaya birisi girerse soğutmayı artırır.
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar.
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chemicals	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimi yapar.

Zadeh bulanık mantığın uygulama alanının sınırlarını belirtmeye çalışırken şunları söylemiştir:

“Bulanık mantık dizgesiyle yapılacak küçük ve ucuz cihazlar yardımıyla makineler insan seslerini algılayabilecekler... Bulanık mantığa dayanan ve sese duyarlı otomatik cihazlara sıradan kelimeler ile yapmak istediklerini yaptırabilirler.” (Samed, 2000:136, aktaran Dalgaldere 2014).

Capital dergisinin (2002) Zekai Şen’le yaptığı röportaj da gelecekte bulanık mantık uygulamaları hakkında neler beklediğini şöyle belirtmiştir: *“Gelecekteki uygulamalarda klavyeler dahi ortadan kalkacak, konuştuklarınız bulanık mantık aracılığıyla ekranda yazı olarak görünebilecek. Bulanık mantık gelecekte tüm bilim dallarında ve teknolojide lider yöntem olacaktır. 90’lı yıllarda konuya artan bilimsel ve teknolojik eğilim sonucu yaşamın her alanında ürünler ve yöntemler karşımıza çıkacaktır. Örneğin, şehirlerin yönetimi, evsel aletler, fabrika yönetimi, savaş ve barış stratejileri gibi. Özellikle ekonomikliğin önemli olduğu, maliyetin ön plana çıktığı ve doğru kontrol mekanizmalarının gerektiği her yerde bulanık mantık teknolojisi ürün ve /veya teknolojisi bizimle olacaktır.”*

3.1.15. Bulanık Mantığın Doğu ve Batı Ekseninde Kültürel Yaklaşımı

Uzunca yıllar dünyada Aristo mantığı hüküm sürmüştür. Klasik mantığın artık çözüm getirmediği anlaşılmış ve günlük yaşamımızda da farkında olmadan çok fazla kullandığımız bulanıklık kavramı ortaya atılmıştır. Bulanıklığın temelleri daha önceye dayansa da, bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler California Berkeley üniversitesinde görev yapan Azerbeycan asıllı Lotfi Zadeh(1965) Amerika da yaşarken bulanık mantığı tüm dünyaya tanıtmıştır. Ancak birçok uygulama Amerika da gerçekleşmeyip Japonya da gerçekleşmiştir. Bunun sebebi Batı’da bulanık (fuzzy) kelimesi güvenilirmezliği ifade etmesi, Doğu’da ise bu güvenilirmezlikte bile güzelliklerin bulunabileceği düşüncesi olmasındandır. Doğu felsefesinin bulanıklığa çok uygun bir yapısı olmasından 1970 sonrası doğuda özellikle Japonya, Kore, Malezya, Singapur, Hindistan gibi ülkelerde bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verir (Şen, 2009).

13.yüzyıl Oxford Üniversitesi kuralı : “Aristoteles felsefesini izlemeyen lisans ve yüksek lisans öğrencileri her sapma için 5 şilin cezaya çarptırılacaklardır.” (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 14). Batı toplumunun Aristo mantığına bakış açısının çok iyi sergileyen bir durumdur.

13.yüzyılda Anadolu’da yaşamış olan Türk bilgesi Nasreddin Hoca’nın bir fıkrasında: *“Hoca bir gün mahkemedeki kadılık yaparken, iki adam gelir ve birbirlerinden şikâyetçi olduklarını söylerler. Hoca önce birini dinler ve ona haklısın der. İkicisini dinledikten sonra ona da haklısın der. Hoca ’nın yardımcısı Hoca ’ya döner ve bu iki kişinin de aynı anda haklı olamayacağını söyleyince, Nasreddin Hoca ona da döner ve sen de haklısın der.”* Kültürümüzün 800 yıllık birikimlerinden biri olan bu fıkranın aslında toplumsal bilinçaltımızdaki çok değerli/bulanık mantık kavramına olan yatkınlığı göstermesi açısından çarpıcı olduğunu vurgulayalım (Baykal, N., ve T., Beyan, 2004: 40).

Bulanık mantıkta hoşgörü vardır, ayrıştırmaz ve ötekileştirmez. Eğer toplumlar bulanık mantık felsefesiyle yetiştirilirse insan ilişkilerinde birçok sorun ortadan kalkar. Taraf olmak klasik mantığın ortaya çıkardığı olgulardan biridir. Bir tarafı savunuyorken diğer tarafa tamamen katılmıyorsunuzdur. İnsanlar bulanık mantığı tamamen benimserlerse birçok sorun ortadan kalkacak ve insanlar daha anlayışlı birbirlerine davranacaklardır. Hatta toplumlar bünyesinde düşünürsek bulanık mantığın savaşları dahi kaldırabileceğinden söz edebiliriz.

3.1.16. Bulanık Modelleme Çeşitleri

Bulanık mantık ile yaygın olarak kullanılan başlıca modellemeler; Mamdani ve Takagi – Sugeno tipi bulanık modellemelerdir

3.1.16.1. Mamdani Yöntemi

Mamdani tipi bulanık model çok kolay oluşturulur, insan davranışlarına çok uygundur. Bu nedenle çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur. İlk defa bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen sözel kontrol kuralları yardımıyla kontrolü amacıyla kullanılmıştır (Mamdani and Assilian 1975). Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir.

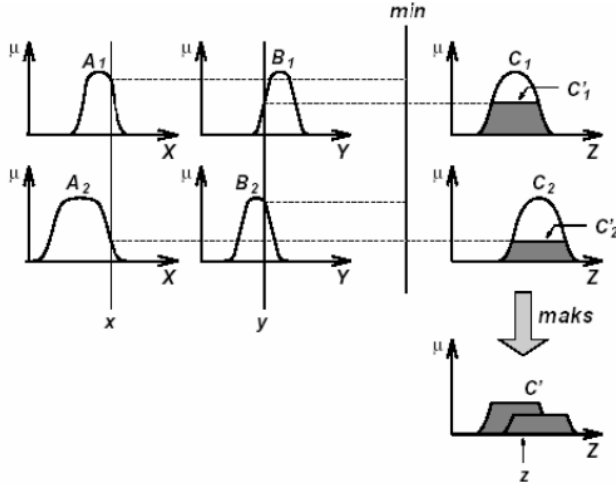
Mamdani tipi bir bulanık model aşağıdaki 5 adımda oluşturulur (Yılmaz M., ve E., Arslan 2005: 516) ;

- Girdilerin bulanıklaştırılması: öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak girdi değişkenlerine ait 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinin belirlenmesi
- Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi
- Bulanık küme mantıksal işlemcilerin (ve, veya) uygulanması
- Sonuçların toplanması: her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi
- Durulaştırma: tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması.

Şekil3.9’da x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık modelde z çıkış değerinin c_i bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmektedir (Yılmaz M., ve E., Arslan 2005: 516).

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

Kural 2: Eğer $x = A_2$ VE $y = B_2$ İse $z = C_2$



Şekil 3.9. Mamdani Tipi Bulanık Çıkarım Sistemi (Akyılmaz, 2005 aktaran Yılmaz M., ve E., Arslan 2005: 516).

Mamdani tipi bulanık modelin avantajlarını özetlemek gerekirse;

- Modelin oluşturulması basittir.
- Diğer bulanık mantık modellemenin temelini oluşturur.
- İnsan davranış ve duyularına uygundur.

3.1.16.2. Takagi - Sugeno Yöntemi

Takagi – Sugeno bulanık mantık ya da Sugeno bulanık mantık ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynıdır. İki yöntem arasındaki fark çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları lineer ya da sabittir. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman sıfırıncı derece, 1.derece doğru denklemi şeklinde olduğu zaman ise birinci derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılırlar. Böylece Sugeno tipi bulanık model, Mamdani tipi bulanık modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişlidir (Yılmaz, 2005).

Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir. Bir birinci (sıfırıncı) derece Sugeno bulanık model aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\text{Eğer } x = A \text{ ve } y = B \text{ ise } z = f(x,y) = px+qy+r \text{ (c)}$$

Burada A ve B, x ve y üyelik fonksiyonları için tanımlanmış öncül kısımdaki bulanık kümeler, p, q ve r (r) ise soncul bir parametre(ler)dir. Böylece her bir kural için

bir çıktı değeri elde edilir. Bulanık küme mantıksal işlemleri (ve-veya) basit toplama ve çarpmadır (Yılmaz,2005).

Sugeno tipi bulanık modelin avantajları aşağıda sıralanmıştır (Anonymous 2010a);

- Hesaplama için çok uygundur.
- Lineer olmayan sistemlerin kontrol edilmesi için lineer teknikler kullanılabilir.
- Optimizasyon ve uyarlanabilir (adaptive) tekniklerle birlikte iyi çalışır ve çıktı parametrelerini optimize ederek sonuçları iyileştirir.
- Çıktı uzayında sürekliliği garantiler.
- Matematiksel analiz için uygundur.

Sugeno tipi bulanık modelin dezavantajları ise (Anonymous 2010a);

- Yüksek derecedeki Sugeno bulanık modelleme kullanıldığında oldukça karmaşık bir yapıya sahip olur.
- Girdi ve alt küme sayılarının artması verilerin eğitilmesini zorlaştırır, sonuçların elde edilmesi için belirlenmesi gereken soncul parametrelerin sayısı artar.
- İnsan sezgilerine çok uygun değildir.

3.2. Yapay Sinir Ağları

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zekâ, aslında programlanmış bilgisayarlara düşünme yeteneği sağlama girişimidir. İnsan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950’li yıllardan beri süren yapay zekâ çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yayılmıştır. Yapay zekâ çalışmaları kapsamında ortaya çıkan ve bir noktada yapay zekâ çalışmalarına destek sağlamakta olan farklı alanlardan bir tanesi de Yapay Sinir Ağları teknolojisidir (Yurtoğlu, 2005: 3).

İnsan beyni bilinen en gizemli ve en karmaşık hesaplayıcıdır. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturmaya çalışan yaklaşımlardır. İstisnasız tüm YSA yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. Yapay sinir ağları, bir başka deyişle, biyolojik sinir ağlarını taklit eden bilgisayar programlarıdır. Beynin işleyiş kuralları birçok YSA modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Pek çok araştırmacı beyin fonksiyonlarını taklit edebilen

YSA modelleri üzerinde çalışmıştır. YSA, öğrenme özelliği bu yaklaşımın cazibesini artırmıştır (Sağıroğlu vd., 2003: 23). Yapay sinir ağları zaman zaman bağlantıcılık, paralel dağıtılmış işlem, sinirsel-işlem, doğal zeka sistemleri ve makine öğrenme algoritmaları gibi isimlerle de anılmaktadırlar (Elmas, 2011: 23).

3.2.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

YSA'lar için genel bir tanım vermek faydalı olacaktır. Ancak kabul görmüş genel bir tanım yoktur. Geniş ya da dar kapsamlı birçok tanımla karşılaşılabilir. Bazı genel tanımlara bu bölümde yer verilecektir.

Zurada (1992) , Yapay Sinir Sistemlerine Giriş (Introduction to Artificial Neural Systems), kitabında YSA'nı “yapay sinir sistemleri veya sinir ağları deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemlerdir” olarak tanımlamaktadır (Sağıroğlu vd., 2003: 25).

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek oldukça zor veya mümkün değildir. O nedenle, yapay sinir ağlarının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir (Öztemel, 2012: 29).

3.2.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının karakteristik özellikleri uygulanan ağ modeline göre değişmektedir. Burada bütün modeller için geçerli olan genel karakteristik özellikler verilmektedir (Öztemel, 2012: 31).

- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler.
- Yapay sinir ağlarında bilgi ağı bağlantılarının değerleri ile ölçülmekte ve bağlantılarda saklanmaktadırlar.
- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenirler.
- Yapay sinir ağlarının güvenle çalıştırılabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir.

- Görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- Şekil(örüntü) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.
- Kendi kendini organize etme ve öğrenme yetenekleri vardır.
- Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler.
- Hata toleransına sahiptirler.
- Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler.
- Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler.

Yukarıda belirtilen özelliklere ek olarak geliştirilmiş olan her modelin kendisine özgü özellikleri olabilmektedir.

3.2.3. Biyolojik Sinir Sistemi

Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinden ya da dış ortamlardan aldıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür.

Tepki sinirleri (effector) ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür (Uğurlu, 2015).

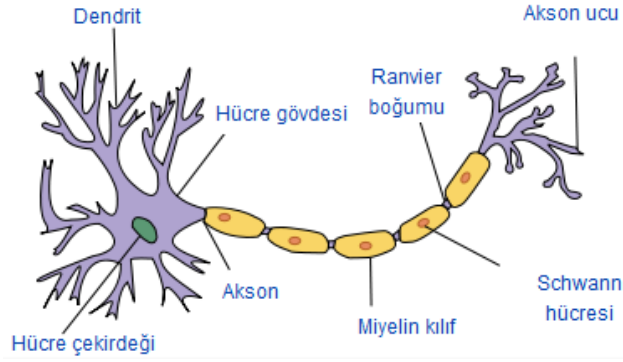


Şekil 3.10. Biyolojik Sinir Sisteminin Blok Gösterimi

3.2.4. Biyolojik Sinir Hücreleri

Yapay sinir ağlarının daha iyi anlaşılabilmesi için örnek teşkil eden doğal sinir ağı olan biyolojik sinir ağlarının yapısının ve çalışma ilkelerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Elmas, 2011: 28).

Biyolojik sinir ağları beynimizde bulunan birçok sayıda sinir hücresinin bir koleksiyonudur. Bir sinir ağı milyarlarca sinir hücresinin bir koleksiyonudur.



Şekil 3.11. Biyolojik sinir hücresinin yapısı

İnsan beyni, nöron olarak adlandırılan yaklaşık 10^{11} hesap elemanından oluşmaktadır. Biyolojik sinir ağını oluşturan nöronlar temelde dört bölgeye ayrılır. Bunlar; Sinaps, soma, akson ve dendrit’lerdir (Nabiyev, 2010: 550).

Sinapslar sinir hücreleri arasındaki bağlantılar olarak görülebilir. Bunlar fiziksel bağlantılar olmayıp bir hücreden diğerine elektrik sinyallerinin geçmesini sağlayan boşluklardır. Bu sinyaller somaya giderler. Soma bunları işleme tabi tutar, sinir hücresi kendi elektrik sinyalini oluşturur ve akson aracılığı ile dendrit’lere gönderir. Dendrit’ler ise bu sinyalleri sinapslara göndererek diğer hücrelere gönderilir (Öztemel,2012).

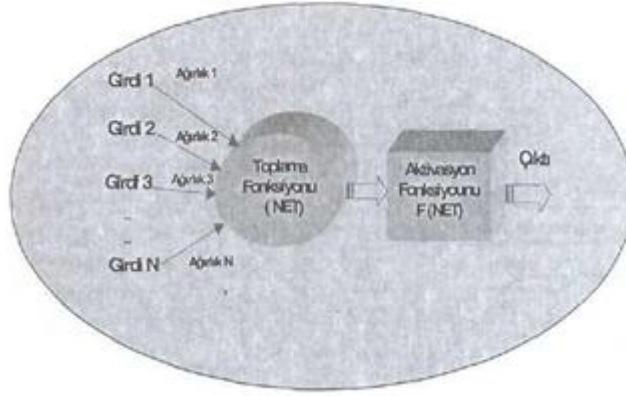
Milyarlarca sinir hücresi bir araya gelerek sinir sistemini oluşturmaktadır. Yapay sinir ağları biyolojik hücrelerin bu özelliklerinden yararlanarak geliştirilmiştir.

3.2.5. Yapay Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da yapay sinir hücreleri vardır. Yapay nöronlarda aralarında bağ kurarak yapay sinir hücrelerini oluştururlar. Aynı biyolojik nöronlarda olduğu gibi yapay nöronların da giriş sinyallerini aldıkları, bu sinyalleri toplayıp işledikleri ve çıktıları ilettikleri bölümleri bulunmaktadır (Uğurlu, 2015).

Bir yapay sinir hücresi beş bölümden oluşmaktadır;

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama fonksiyonu
- Aktivasyon fonksiyonu
- Çıktılar



Şekil 3.12. Yapay Sinir Hücresinin Yapısı (Öztemel, 2012 : 48)

Girdiler: Bir yapay sinir hücresine dış dünyadan bilgiler gelir. Yapay sinir hücresine dış dünyadan olduğu gibi başka hücrelerden veya kendi kendisinden de bilgiler gelebilir (Öztemel,2012: 49).

Ağırlıklar: Ağırlıklar bir yapay hücreye gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini gösterir. Şekil3.12’deki Ağırlık 1, Girdi 1’in hücre üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması önemli veya önemsiz olduğu anlamına gelmez. Bir ağırlığın değerinin sıfır olması o ağ için en önemli olay olabilir. Eksi değerler önemsiz demek değildir. O nedenle artı veya eksi olması etkisinin pozitif veya negatif olduğunu gösterir. Sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilirler (Öztemel,2012: 49).

Toplama Fonksiyonu: Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi değeri kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur. Bu şekilde formüle edilmektedir.

$$NET = \sum_i^n X_i W_i$$

Burada X girdileri, W ise ağırlıkları, n ise bir hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir (Öztemel,2012: 49).

Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu olarak da çıktıyı hesaplamak içinde değişik formüller kullanılmaktadır.

Genel olarak aktivasyon olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon şu formülle gösterilmektedir (Öztemel,2012: 50).

$$F(NE\text{T}) = \frac{1}{1 + e^{-NE\text{T}}}$$

Çıktılar: Çıkış, aktivasyon işlevi sonucunun dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerdir (Elmas, 2010: 33)

Beynin ve sinir sisteminin bilgisayarlardan önemli farklılıklarına rağmen bir benzerliğin olması ve nörona benzer modellerin oluşturulması önem taşımaktadır. Yapay sinir ile biyolojik sinirler arasındaki benzerlik Tablo3.6'daki gibi gösterilebilir

Tablo 3.6. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzeşimleri (Sağıroğlu vd., 2003: 33).

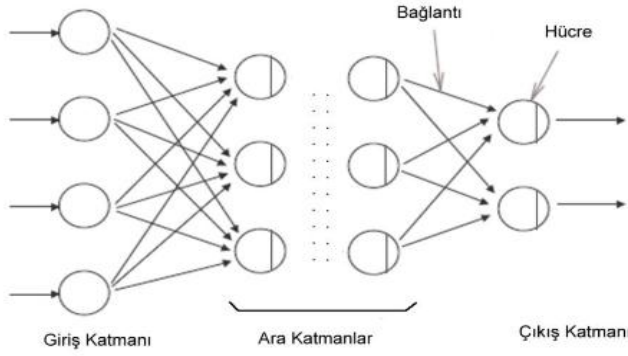
Biyolojik Sinir Sistemi	YSA
Nöron	İşlemci eleman
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Tablo 3.7. İstatistiksel yöntemlerle yapay sinir ağlarının terminolojik benzeşimleri (Sağıroğlu vd., 2003: 33).

İstatistiksel	YSA
Model	Ağ
Tahmin	Öğrenme
Regresyon	Danışmalı öğrenme
İnterpolasyon	Genelleştirme
Gözlem	Öğrenme algoritması
Parametre	Ağ parametreleri(ağırlıklar, katsayılar)
Bağımsız değişken	Giriş verileri
Bağımlı değişken	Çıkış verileri
Sınır regresyonu	Ağırlık budama işlemi

3.2.6. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluşturmaktadır. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar.



Şekil 3.13. Yapay sinir ağı yapısı (Cayıroğlu, 2015)

Girdi Katmanı: Bu katmandaki hücre elemanları dış dünyadan bilgileri alarak ara katmanlara iletmekle sorumludur. Bazı ağlarda girdi katmanında herhangi bir bilgi işleme olmaz (Uğurlu, 2015).

Ara Katman: Girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek çıkış katmanına gönderirler. Bir ağ için birden fazla ara katman olabilir (Uğurlu, 2015).

Çıktı Katmanı: Bu katmandaki hücre elemanları ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağı girdi katmanında sunulan girdi seti için üretmesi gereken çıktıyı üretir. Üretilen çıktı dış dünyaya iletilir (Uğurlu, 2015).

3.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Temel olarak, yapay sinir ağları uygulamalarının çoğu aşağıdaki sınıflardan birine girmektedir:

- Öngörü
- Sınıflandırma
- Veri birleştirme
- Veri kavramlaştırması
- Veri süzülmesi
- Resim veya Görüntü İşleme

Uygulama ile öbeklenmiş bu ağlardan bazıları, farklı türdeki sorunları çözmek için kullanılmaktadır. Uygulama alanına göre kullanılan yapay sinir ağları Tablo3.8'deki gibi sınıflandırılabilir (Elmas, 2011: 161)

Tablo 3.8. Yapay sinir ağları ve uygulama alanları(Elmas, 2011:161).

Uygulama	Ağ Türü
----------	---------

Öngörü	Geri-Yayılım Ağı Delta Bar Delta Genişletilmiş Delta Bar Delta Yüksek Seviyeli Ağlar Özörgütmeli Harita Ağı Perceptron
Sınıflandırma	Geri-Yayılım Ağı Öğrenme Vektörü Nicelemesi Perceptron Olasılıksal Sınır Ağları Kohonen Ağı Boltzmann Makinesi
Veri Birleştirilmesi	Hopfield Boltzmann Makinesi Hamming Ağı İki Yönlü Çağırışım Belleği Yığın Ağları Vektör Nicelemesi Ağı
Veri Kavramlaştırılması	Uyarlanır Rezonans Ağı Özörgütmeli Harita Ağı
Veri Süzülmesi	Yeniden Dolaşım
Resim veya Görüntü İşleme	Geri-Yayılım Ağı Perceptron

Yukarıda listelenen konularda teorik uygulamaların ötesinde günlük hayatta kullanılan finansal konulardan mühendisliğe ve tıp bilimlerine kadar birçok uygulamadan bahsetmek mümkündür. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir (Öztemel, 2012):

- Veri madenciliği
- Optik karakter tanıma ve çek okuma
- Bankalardan kredi isteyen müracaatları değerlendirme
- Ürünün pazardaki performansının tahmin etme
- Kredi kartı hilelerini saptama
- Zeki araçlar ve robotlar için optimum rota belirleme
- Güvenlik sistemlerinde konuşma ve parmak izi tanıma
- Robot hareket mekanizmalarının kontrol edilmesi
- Mekanik parçaların ömürlerinin ve kırılmalarının tahmin edilmesi
- Kalite kontrolü
- İş çizelgeleme ve iş sıralaması
- İletişim kanallarındaki geçersiz ekoların filtrelenmesi
- İletişim kanallarındaki trafik yoğunluğunu kontrol etme ve anahtarlama

- Radar ve sonar sinyallerini sınıflandırma
- Üretim planlama ve çizelgeleme
- Kan hücreleri reaksiyonları ve kan analizlerini sınıflandırma
- Kanserin saptanması ve kalp krizlerinin tedavisi
- Beyin modellenmesi çalışmaları

Bunların çoğaltılması mümkündür. Yukarıdakiler yalnızca genel olarak hangi alanlarda kullanılacaklarına göstermek amacıyla verilmiştir; yoksa hemen hemen her alanda örneklerini görmek mümkündür.

3.2.8. Yapay Sinir Ağlarının Türleri

Birçok YSA türü vardır. YSA'lar yapılarına, öğrenme algoritmalarına ve öğrenme zamanına göre sınıflandırılabilirler.

Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları: Yapay sinir ağları içerdiği nöronların birbirine bağlantı şekline göre ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılır.

İleri Beslemeli Ağlar: İleri beslemeli ağlarda nöronlar girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir. Bir katmandan sadece kendinden sonraki katmanlara bağ bulunmaktadır. Yapay sinir ağına gelen bilgiler giriş katmanına daha sonra sırasıyla ara katmanlardan ve çıkış katmanından işlenerek geçer ve daha sonra dış dünyaya çıkar (Cayiroğlu, 2015).

Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ileri beslemeli olanların aksine bir hücrenin çıktısı sadece kendinden sonra gelen hücrenin katmanına girdi olarak verilmez. Kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir hücreye de girdi olarak bağlanabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli yapay sinir ağları doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Geri besleme özelliğini kazandıran bağlantıların bağlantı şekline göre geri aynı yapay sinir ağıyla farklı davranışta ve yapıda geri beslemeli yapay sinir ağları elde edilebilir (Cayiroğlu, 2015).

Öğrenme Algoritmalarına Göre Yapay Sinir Ağları: Yapay sinir ağlarının verilen girdilere göre çıktı üretebilmesinin yolu ağı öğrenmesidir. Bu öğrenme işleminin de

birden fazla yöntemi vardır. Yapay sinir ağları öğrenme algoritmalarına göre danışmanlı, danışmansız ve takviyeli öğrenme olarak üçe ayrılır.

Danışmanlı Öğrenme: Danışmanlı öğrenme sırasında ağa verilen giriş değerleri için çıktı değerleri de verilir. Ağ verilen girdiler için istenen çıkışları oluşturabilmek için kendi ağırlıklarını günceller. Ağıın çıktıları ile beklenen çıktılar arasındaki hata hesaplanarak ağıın yeni ağırlıkları bu hata payına göre düzenlenir. Hata payı hesaplanırken ağıın bütün çıktıları ile beklenen çıktıları arasındaki fark hesaplanır ve bu farka göre her hücreye düşen hata payı bulunur. Daha sonra her hücrenin kendine gelen ağırlıkları günceller (Cayiroğlu, 2015).

Danışmansız Öğrenme: Danışmansız öğrenmede ağa öğrenme sırasında sadece örnek girdiler verilmektedir. Herhangi bir beklenen çıktı bilgisi verilmez. Girişte verilen bilgilere göre ağ her bir örneği kendi arasında sınıflandıracak şekilde kendi kurallarını oluşturur. Ağ bağlantı ağırlıklarını aynı özellikte olan dokuları ayırabilecek şekilde düzenleyerek öğrenme işlemini tamamlar(Cayiroğlu, 2015).

Destekleyici Öğrenme: Bu öğrenme yaklaşımında ağıın her iterasyonu sonucunda elde ettiği sonucun iyi veya kötü olup olmadığına dair bir bilgi verilir. Ağ bu bilgilere göre kendini yeniden düzenler. Bu sayede ağ herhangi bir girdi dizisiyle hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak işlemeye devam eder (Cayiroğlu, 2015).

Öğrenme Zamanına Göre Yapay Sinir Ağlar: Yapay sinir ağları öğrenme zamanına göre de statik ve dinamik öğrenme olarak ikiye ayrılır.

Statik Öğrenme: Statik öğrenme kuralıyla çalışan yapay sinir ağları kullanmadan önce eğitilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra ağı istenilen şekilde kullanılabilir. Ancak bu kullanım sırasında ağıın üzerindeki ağırlıklarda herhangi bir değişiklik olmaz(Cayiroğlu, 2015).

Dinamik Öğrenme: Dinamik öğrenme kuralı ise yapay sinir ağlarının çalıştığı süre boyunca öğrenmesini öngörerek tasarlanmıştır. Yapay sinir eğitim aşaması bittikten sonra da daha sonraki kullanımlarında çıkışların onaylanmasına göre ağırlıklarını değiştirerek çalışmaya devam eder(Cayiroğlu, 2015).

3.2.9. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

Şen'in (2004) belirttikleri gibi, yapay sinir ağının ortaya çıkışına ilişkin tarihsel gelişmeler sırayla şöyledir:

- YSA üzerindeki ilk çalışmanın 1943 yılında başladığı kabul edilir. McCulloch ve Pitts (1943) ilk olarak yapay sinir tanımını yaparak hücre modelini geliştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada sinir hücreleri sabit eşik değerli mantıksal elemanlar olarak modellenmiştir. Yapısında ± 1 sabit bağlantı ağırlıklarına sahip olan bu model aritmetik mantık hesaplama elemanları olarak da adlandırılmıştır.
- Öğrenme üzerine çalışmaların yoğunlaştığı 1949'lu yıllarda, bilim insanlarının insan öğrenme sürecini modellemeye uğraşmaları ile artmıştır. Hebb (1949), YSA' daki öğrenme için başlangıç sayılabilecek bir kuralı geliştirmiştir.
- YSA konusunda ikinci büyük çıkışı Rosenblatt (1958) tekli doğrusal algılayıcı (TDA) (perceptron) modeli ve öğrenme kuralı ile yaptı. Önerilen bu model aynı zamanda bugünkü makina öğrenme algoritmasının da temeli oldu.
- Çalışmaların hızlandığı 1960'lı yılların başında yeni bir yaklaşım olarak Widrow ve Hoff (1960) tarafından ADALINE (Adaptive Linear Combiner) geliştirildi. Bununla birlikte yeni ve güçlü bir öğrenme kuralı olarak Widrow-Hoff öğrenme kuralı ortaya atıldı.
- YSA üzerine ilk yöntemlerin karmaşık problemleri çözemeyecek kadar zayıf olması bu konudaki çalışmaların ilerlemesini engelledi. 1970'li yılların başından başlayan durgunluk 1980'li yıllara kadar devam etti.
- Hopfield (1982) tarafından eğrisel ağları geliştirdi. Kohonen (1982) ve Anderson (1983) tarafından yapılan çalışmalr sonucunda eğiticişiz öğrenen ağların geliştirilmesiyle çalışmalar yeniden ivme kazanmıştır.
- Bugün YSA üzerinde yapılan çalışmalar dünyada büyük bir hızla devam emektedir. Her geçen gün değişik öğrenme algoritmaları ve ağ mimarileri hakkında yeni önermeler yapılmaktadır.

3.3. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

ANFIS, *Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi* (Adaptive Networkbased Fuzzy Inference System) veya *Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi* (Adaptive

Neuro Fuzzy Inference System) anlamına gelmektedir. ANFIS kelimesi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)'in baş harflerinden oluşmaktadır. Bulanık sinir ağları (Adaptive Neural Networkbased Fuzzy Inference Systems-ANFIS), bulanık mantık (Fuzzy Logic - FL) ve yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks - ANN) metotlarının avantajlı yönlerini ön plana çıkaran ve son yıllarda çok farklı alanlarda uygulama alanı bulan bir yapay zekâ tekniğidir.

ANFIS, 1993 yılında Jang tarafından ortaya atılmıştır ve Jang'ın ANFIS modeli olarak adlandırılmaktadır. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), ele alınan problem için oluşturulan yapıya göre olası tüm kuralları atayabilmekte veya kuralların veriler yardımıyla uzman tarafından atanmasına olanak vermektedir. ANFIS'in kural oluşturabilmesi veya kural oluşturulmasına olanak sağlaması uzman görüşlerinden faydalanması anlamına gelmektedir. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi, yapay sinir ağlarının öğrenme yeteneği ve bulanık mantığın insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylığı gibi üstünlüklerinin birleştirilmesi fikrine dayanmaktadır. Bu sayede, bulanık mantık çıkarım sistemlerine yapay sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilebilirken, yapay sinir ağlarında bulanık mantık çıkarım sistemlerinin insan gibi karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılmış olmaktadır (Saraç, 2012).

ANFIS sadece Sugeno tipi modelleri çalıştırmaktadır. Mamdani tipi modellemenin modifikasyonu şeklindedir ve giriş verilerine uygulanacak işlemler aynıdır. Tek farklılıkları çıktı verilerinde bulunmaktadır. Sugeno tipi modellemede çıktı değişkenleri girdilerin bir fonksiyonu şeklinde üyelik fonksiyonlarına sahip olmaktadır ve çıktı üyelik fonksiyonları lineer veya sabit olmak zorundadır. ANFIS, Matlab'da Fuzzy Logic Toolbox 'ın altında bulunan bir fonksiyon dosyasıdır. Bu program bulanık çıkarım tekniklerini kendisine verilen verilere uygulamakta ve uygun veri modelleri üretmektedir. Diğer bulanık çıkarım sistemlerinde olduğu gibi ANFIS de de üyelik fonksiyonları parametrelere bağlıdır. Parametreler değiştikçe üyelik fonksiyonları değişecek ve ANFIS kendi kendine üyelik fonksiyonları atayacaktır (Öztürk vd., 2010).

ANFIS, yalnızca görev tahmini ya da tek çıktılı doğrusal olmayan fonksiyonların tahmininde kullanılabilir. Bu nedenle birçok tahmin probleminde yapay sinir ağlarına uzman görüşlerinden faydalanma imkânı tanıdığı için ortalama hata kareler kriterine göre

daha iyi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. ANFIS’e giriş ve çıkış değerleri verilir, ANFIS bu değerlerden geri yayımlı öğrenme algoritmasını kullanarak veya en küçük kareler metodunu kullanarak bir bulanık çıkarım modeli oluşturur (Zadeh, 1975). Kuralların sonuç kısımları girişlerin doğrusal bir işlevi olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem kontrol, zaman serisi tahmini, gürültü giderme, sınıflama, tanıma ve eğri uydurma gibi birçok alanda başarı ile uygulanmaktadır (Kırıış, 2008).

ANFIS modelleme tekniğinin basitleştirilerek ifade edilmesi adına bulanık çıkarım sistemi x ve y olmak üzere iki girdili ve tek çıktılı z olarak değerlendirilmiştir. Aynı zamanda kural tabanının aşağıda ifade edildiği gibi Takagi ve Sugeno tipi iki adet eğer ise kurallarını içerdiği kabul edilmiştir (Jang, 1993).

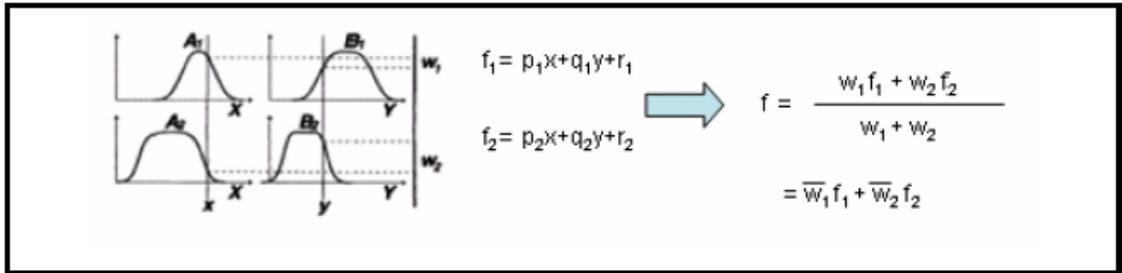
Kural 1: Eğer x , A_1 ve y , B_1 ise $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

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 $f_n = p_nx + q_ny + r_n$

olarak ifade edilmektedir (Jang,1993).



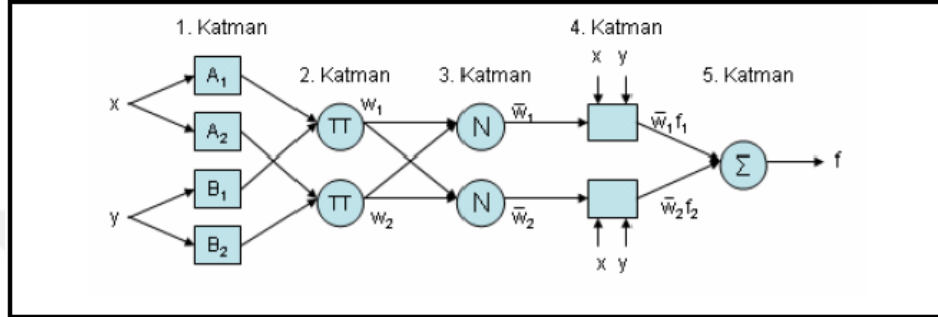
Şekil 3.14. Bulanık Çıkarım Sistemi (Jang, 1993).

ANFIS’in avantajları (Saraç,2012); Öğrenme yeteneği, paralel işlem, yapılandırılmış bilgi temsili, diğer tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme şeklindedir.

3.3.1. ANFIS Modelinin Mimarisi

“Eğer-ise” bulanık kurallarına göre oluşturulan ANFIS ağ yapısında, girişte bulanık üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma çarpımı, normalleştirme, toplama ve Sugeno tipinde doğrusal çıkış fonksiyonu katmanları bulunmaktadır. Şekil 3.15’de

görüreceği üzere ANFIS yapısı 5 katmanlı bir mimariye sahiptir. Beş katmandan oluşan ANFIS 'de, her katmandaki sinirler aynı işlemleri içermektedirler. Katmanlarda farklı şekillere sahip düğümler değişik işlevlere sahip fonksiyonları içerir. Kare şeklinde gösterilen düğümler adaptif düğümler olarak adlandırılır ve düğümlere ait parametreler ağırlar eğitimi sırasında ayarlanır. Daire şeklinde gösterilen düğümler ise sabit düğümlerdir (Jang, 1993). Katmanların özellikleri aşağıda yer almaktadır:



Şekil 3.15. Anfis Mimarisi (Jang, 1993)

Katman 1 (Bulanıklaştırma Katmanı): Bulanıklaştırma katmanında giriş değerlerini bulanık kümeler ayırmada üyelik fonksiyonu olarak genelleştirilmiş çan eğrisi aktivasyon fonksiyonunu kullanmaktadır (Gedik,2011).

$$\mu_{Ai}(x; a_i, b_i, c_i) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}}$$

$\{ a_i, b_i, c_i \}$ parametreleri öncül parametrelerdir. Hibrit metot ile sistem eğitilirken bu parametreler güncellenerek, üyelik fonksiyonlarını şekillendirecektir (Gedik, 2011).

Katman 2 (Kural Katmanı): Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı, 1. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır (Gedik, 2011).

$$\theta_i^2 = w_i = \mu_{Ai}(x_1) \times \mu_{Bk}(x_2) \quad i=(1 \dots 66), j=(1,2,3) \text{ ve } k=(1..5)$$

Katman 3 (Normalleştirme Katmanı): Buradaki her bir düğüm, 2 katmandan gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş tetikleme seviyesini hesaplamaktadır (Gedik, 2011).

$$\theta_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum i w_i}$$

Katman 4 (Arındırma Katmanı): Arındırma katmanı olarak adlandırılan bu katmanda Takagi-Sugeno bulanık çıkarım yöntemine göre oluşturulan kuralların ağırlıklı sonuç değerleri hesaplanmaktadır. 4.katmandaki i. düğümün çıkış değeri ise,

$$\theta_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i)$$

formülüne göre hesaplanır. Buradaki (p_i, q_i, r_i) değişkenleri, i. kuralın sonuç parametreleri kümesidir (Gedik, 2011).

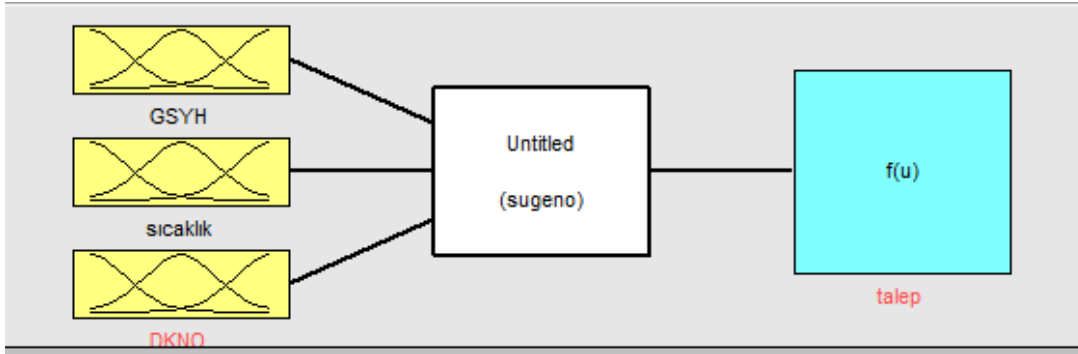
Katman 5 (Toplam Katmanı): Toplama katmanıdır ve sadece bir düğüm vardır. Bir önceki katmandan gelen düğümlerin çıkış değerleri toplanarak ANFIS sisteminin gerçek çıkış değeri elde edilir. Bu hesaplama aşağıdaki formül ile gerçekleştirilir (Gedik, 2011).

$$\theta_i^5 = y = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum i w_i f_i}{\sum i w_i}$$

BÖLÜM 4: UYGULAMA

4.1. Modelin Genel Yapısı

Bu tez çalışmasında Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi, ANFIS kullanılarak, sosyo-ekonomik parametrelere dayalı Türkiye'nin doğalgaz talep tahmini yapılmıştır. Talep tahmini için oluşturulacak sinirsel bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1. Talep tahmin modeline ilişkin BÇS'nin temel yapısı

ANFIS, sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini ve melez öğrenme (hybrid learning) algoritmasını kullanır.

4.2. Modelde Kullanılan Parametrelerin Derlenmesi

Bu tez çalışmasında GSYH (TL), sıcaklık (°C), doğalgaza kavuşan nüfus oranı ve doğalgaz tüketim verileri (m^3), 2002-2014 yılları arası aylık dönemlere ait veriler kullanılmıştır.

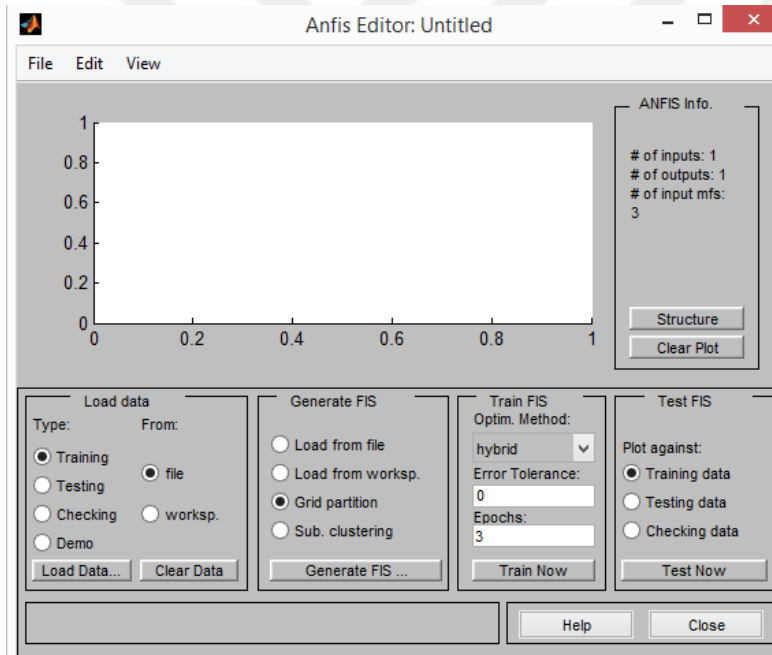
- GSYH değerlerine Türkiye İstatistik Kurumu ilgili web sayfasından 2002-2014 yılları arası çeyrek döneme ulaşılmıştır. Her bir çeyrek dönemlik veriler de üçe bölünerek aylık verilere dönüştürülmüştür.
- Sıcaklık değerlerine Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı ilgili web sayfasından 2002-2014 yılları arası aylık °C cinsinden ulaşılmıştır.
- Doğalgaza kavuşan nüfus oranı (DKNO) ise her yıl için doğalgaza kavuşan nüfusun toplam nüfusa bölünmesiyle elde edilerek, 2002-2014 yılları arasında her yıl için aylık olarak sabit alınmıştır (Söyler, 2014).

- Doğalgaz tüketim verileri de BOTAŞ'ın ilgili web sayfasından 2002-2014 yılları arası aylık verilere ulaşılmıştır.

Veri toplama çalışmaları sonucunda 2002-2014 yılları arası her bir parametreye ait 13 yıllık, toplam 156 veriye ulaşılmıştır. Derlenen verilen sonucunda 3 girdi sütunu, 1 çıktı sütunu olarak, çıktı sütunu en sonda olmak koşuluyla düzenlenmiştir. Excel'e yüklenen bu dosyalar MATLAB programında çağrılmıştır.

4.3. Modelin Oluşturulma Süreci

MATLAB R2013 programı içerisinde yer alan Fuzzy Logic Toolbox'ın bir fonksiyonu olarak ANFIS GUI (Graphical user interface –Grafiksel kullanıcı ara yüzü) kullanılmıştır. Komut penceresine anfisedit komutu verilerek Şekil4.2 görüntüsü gelmektedir.



Şekil 4.2. ANFIS açılış ekranı

Excel'de oluşturduğumuz veriler “Çalışma Alanı (Workspace)” aktarılıp kaydedilir. Kaydedilen bu dosya “İçeri Aktar (Import Data)” butonu kullanılarak veriler içeriye aktarılır.

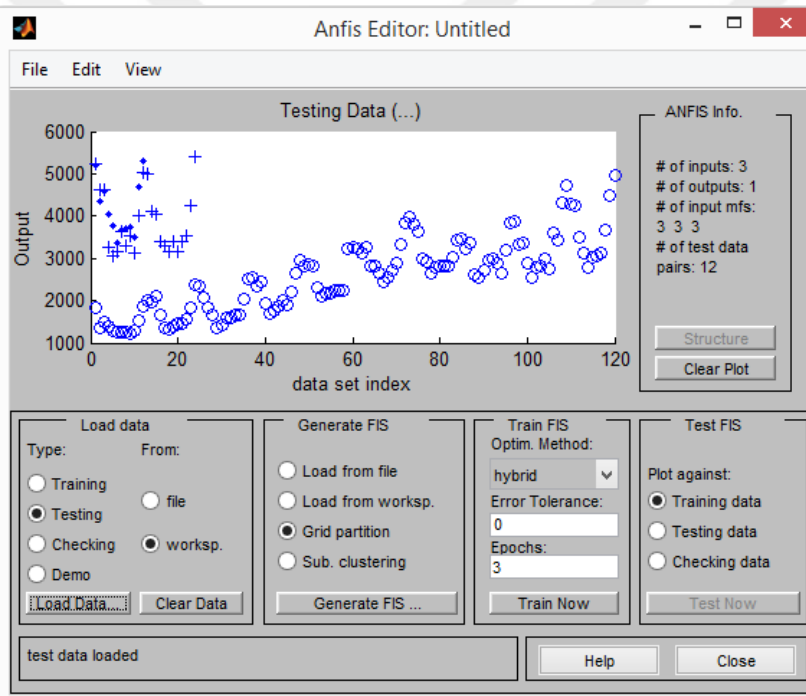
Talep tahmin modeli oluşturulurken, veriler 3 ayrı veri kümesine ayrıştırılmıştır.

- Eğitim (train) veri seti

- Kontrol (checking) veri seti
- Test (test) veri seti

Ağı eğitmek amacıyla kullanılan eğitim veri seti 120 veri satırı, kontrol veri seti için 24 veri satırı ve test veri seti için de yaklaşık 12 veri satırına ayrılmış ve üç ayrı dosyası olarak kaydedilmiştir.

ANFIS ekranında görülen “Veri Yükle (Load Data)” butonu kullanılarak veri kümeleri kategorilerine göre modele yüklenmiştir. Şekil4.3’de görülen yuvarlak şekiller eğitim veri setini, artı işaretleri kontrol veri setini ve nokta işaretleri ise test veri setlerini göstermektedir.



Şekil 4.3. Eğitim, kontrol ve test verilerinin ANFIS’e yüklenmesi

Eğitim verileri, ağ girdi-çıkı verileri arasındaki ilişkiyi öğrenmekte ve üyelik fonksiyonu parametrelerini, belirtilen devir sayısına ya da istenen hata düzeyine erişinceye kadar düzenlemektedir.

Modelin eğitim aşamasında eğitim veri setiyle beraber kontrol setinin de modele yüklenmesinin sebebi, kontrol verisi modelin aşırı öğrenme potansiyelini kontrol etmede kullanılmasıdır. Kontrol verisi ANFIS’e girildiğinde, FIS modeli kontrol verisinin hatasını minimum yapacak şekilde parametreleri ayarlar.

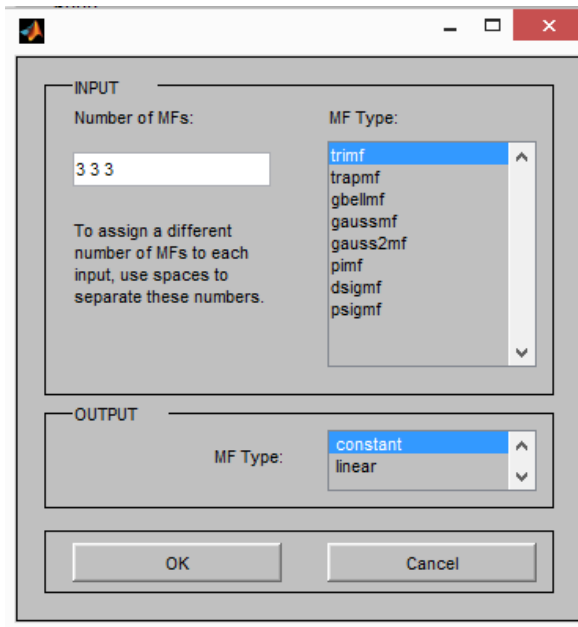
Eğitim aşamasında eğitim hatası azalırken belli bir noktada kontrol setinin hatası aniden yükselmektedir. İşte bu noktaya “aşırı uyum noktası (overfitting point)” denir. Eğitim süreci, eğitim hata değeri sabitlenene ya da kontrol veri seti için “aşırı uyum” oluşana kadar devam eder. Bu noktalardan birinde eğitime son verilir ve test aşamasına geçilir.

Test veri seti ile de eğitilen ve parametreleri düzenlenen modelin daha önce hiç karşılaşmadığı veriler karşısında genelleme kabiliyeti ölçülmektedir.

Veri setleri yüklendikten sonra “BÇS oluştur (generate FIS)” başlığı altında bulanık çıkarım sistemini (BÇS) oluşturmak için alternatif iki yöntemden biri seçilir. Bu yöntemler;

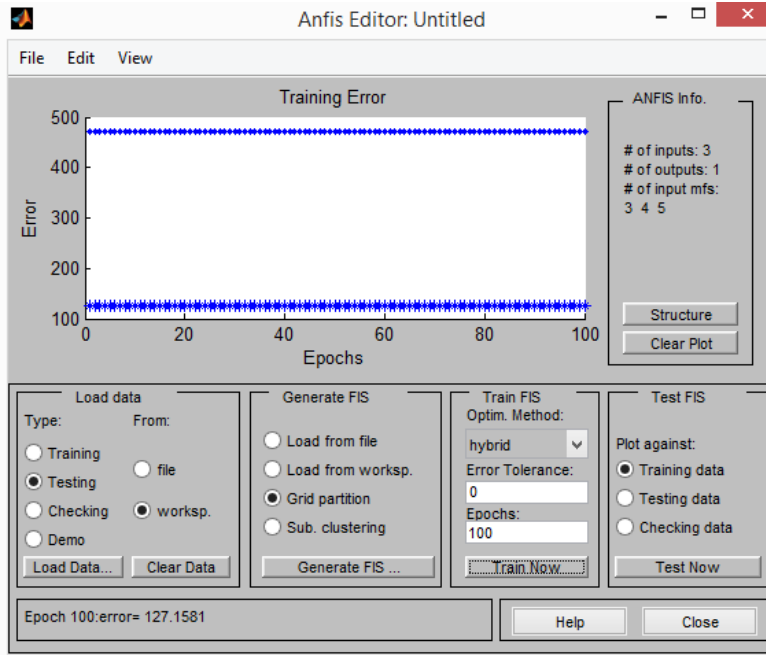
- Izgara bölümlleme (Grid partition)
- Alt kümeleme (Sub-clustering)

Bu çalışmada Izgara bölümlleme (Grid partition) için model oluşturulmuştur. Alt kümeleme (Sub-clustering)’de ayarlanması gereken çok sayıda parametre olduğundan dolayı bu seçenek kullanılmamıştır.



Şekil 4.4. Alternatif girdi/çıktı üyelik fonksiyonu tipleri

ANFIS ekranında görülen “ızgara bölümleme (grid partititon)” yöntemi seçildiğinde bulanık çıkarım sisteminin oluşturulması için Şekil4.4’de görülen ekran açılır. Açılan ekran aracılığıyla BÇS’nin girdi üyelik fonksiyon sayısı, girdi üyelik fonksiyon tipi ve çıktı tipi belirlenir. Daha sonra ANFIS ekranına dönülüp “karma (hybrid)” seçeneği seçilir ve “devir (epoch)” satırına istenen iterasyon sayısının da girilmesinin ardından “ağı şimdi eğit (train now)” butonuna basılır.



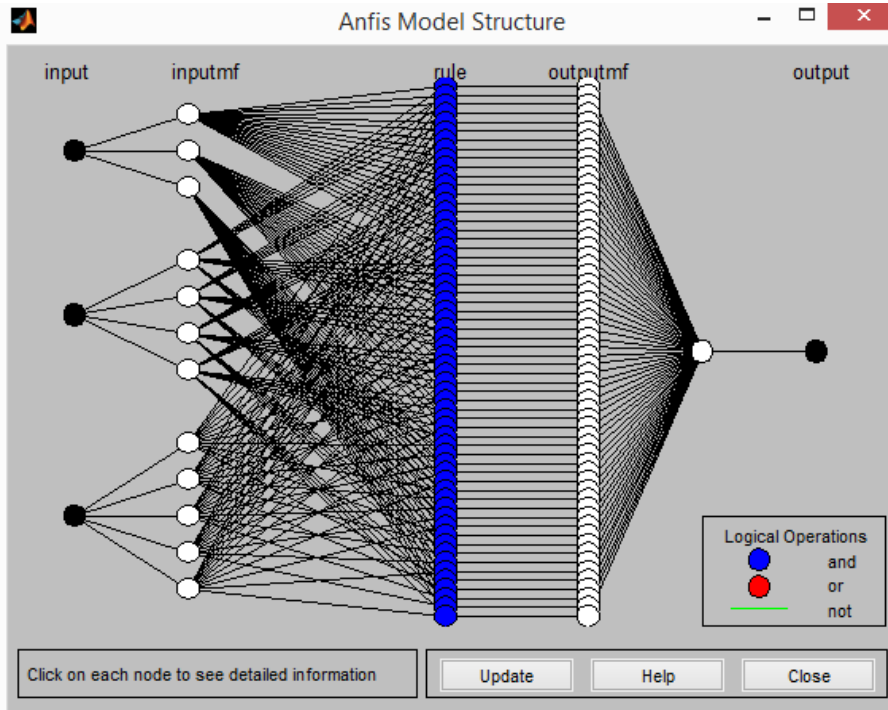
Şekil 4.5. Eğitilmiş ANFIS editörü

Eğitim süreci, eğitim hata değeri sabitlenene ya da kontrol veri seti için “aşırı uyum” oluşana kadar devam eder. Burada ise eğitim hata değeri sabitlenmiştir. Eğitim sürecine son verilir. Daha sonra ağ daha önce hiç görmediği test veri kümesi ile test edilir. Ağın ne kadar hata ile test verilerini tahmin ettiği ekranın sol alt köşesinde görülür. Bu hata oranı kabul edilebilir sınırlarda ise, istenilen ağ yapısına ulaşılmış demektir. Fakat hata oranı büyükse ağın eğitim aşamasına geri dönülerek parametreler değiştirilir. İstenilen hata oranına ulaşıldığında oluşturulan modelin tahmin başarısı değerlendirilir.

Bu tezde, birçok üyelik fonksiyon sayısı, tüm üyelik fonksiyon tipleri ve çıktı tipi constant/linear için tek tek denenmiştir. En iyi sonuca ise GSYH girdisi için 3 üyelik fonksiyon sayısı, sıcaklık girdisi için 4 üyelik fonksiyon sayısı ve DKNO girdisi için ise

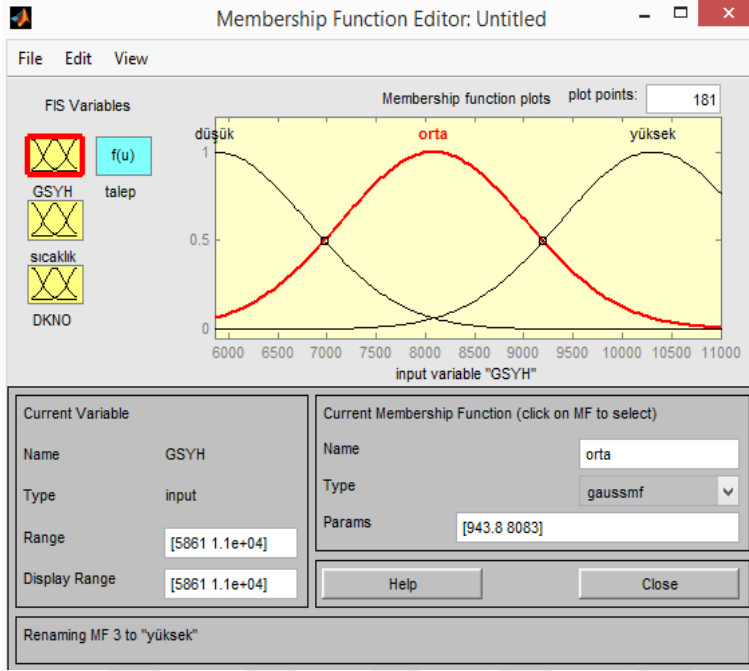
5 üyelik fonksiyon sayısı, gaussmf fonksiyon tipi ve sabit (constant) çıktı tipinde test hatası en düşük çıkmıştır.

Şekil4.6’da ANFIS modelinin yapısı görülmektedir. İlk adımda üç bağımsız değişken girdi olarak sisteme girilmektedir. İkinci aşamada girdi değerleri sıraya 3, 4 ve 5 üyelik fonksiyonuna belli bir üyelik derecesinde sistem tarafından atanmışlardır. Sonraki sütunda üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan 60 kural yer almaktadır. Bulanık ağ modeli en iyi öğrenmeyi gerçekleştireceği 60 kural belirlemiş ve her bir kuraldan bir değer üretmiştir. Elde edilen çıktı üyelik fonksiyonu değerleri tek bir çıktı değerine dönüştürülmüştür.



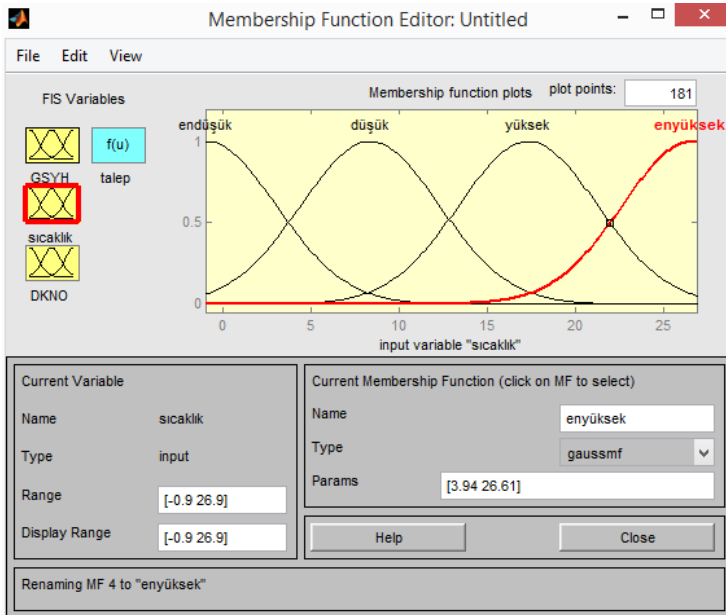
Şekil 4.6. Izgara bölümlleme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan modelin ağ yapısı

Şekil4.7. modelin ilk girdisi olan GSYH verisine ilişkin üyelik fonksiyonları yer almaktadır. Düşük, orta ve yüksek olarak tanımlanan üyelik fonksiyonları, herhangi bir değer için hangi fonksiyona hangi oranda ait olduğunu göstermektedir.

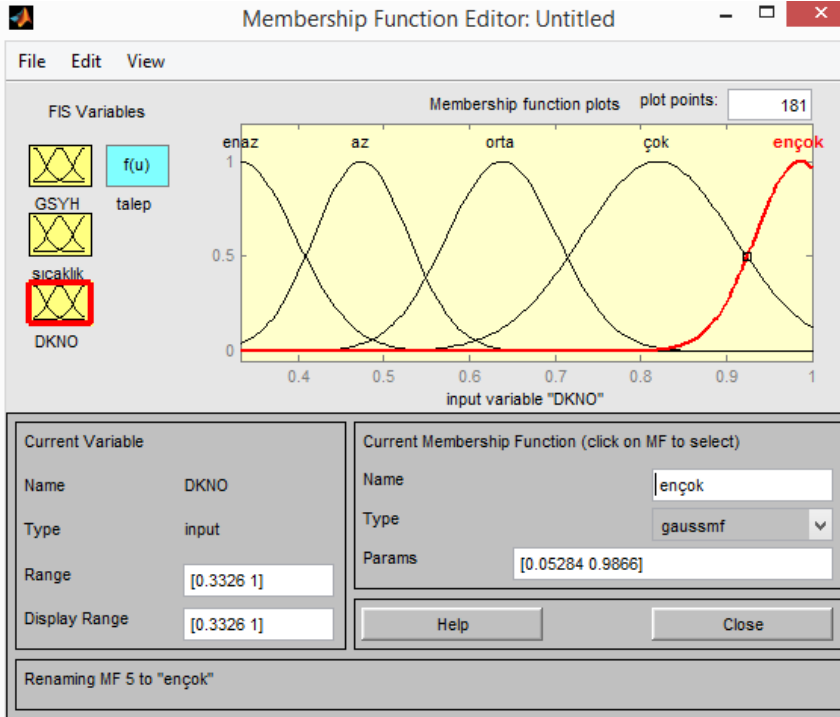


Şekil 4.7. GSYH verisine ait üyelik fonksiyonları

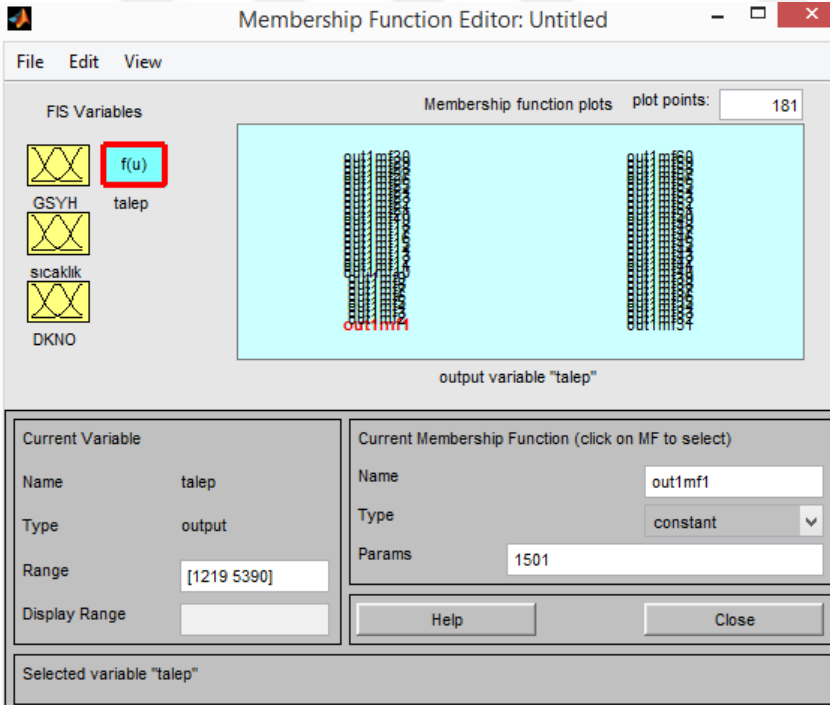
Örneğin GSYH 6000 (milyon TL) olması durumunda söz konusu değer, düşük olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna yaklaşık 1 oranında üye olmakta, 7000 (milyon TL) olması durumunda ise hem düşük hem de orta olarak tanımlanan üyelik fonksiyonuna yaklaşık 0,5 oranında üye olmaktadır. Modelin diğer iki girdisi (sıcaklık ve nüfus) için de Şekil4.8 ve Şekil4.9 da verilmiştir.



Şekil 4.8. Sıcaklık verilerine ait üyelik fonksiyonları

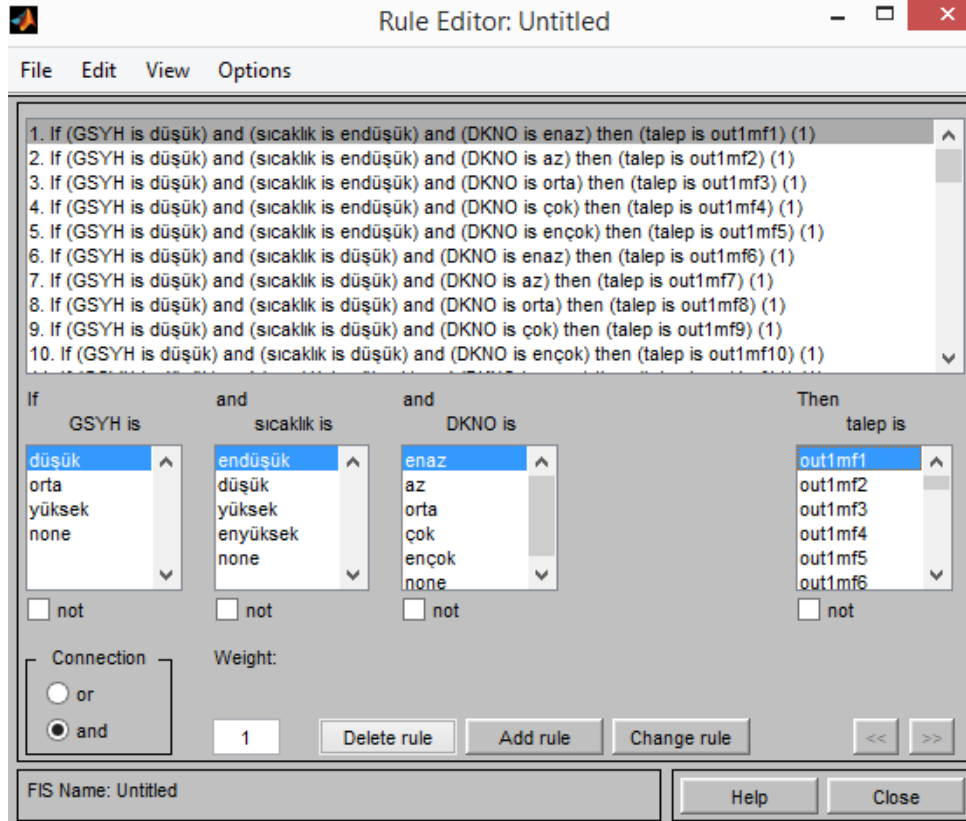


Şekil 4.9. Nüfus verilerine ait üyelik fonksiyonları



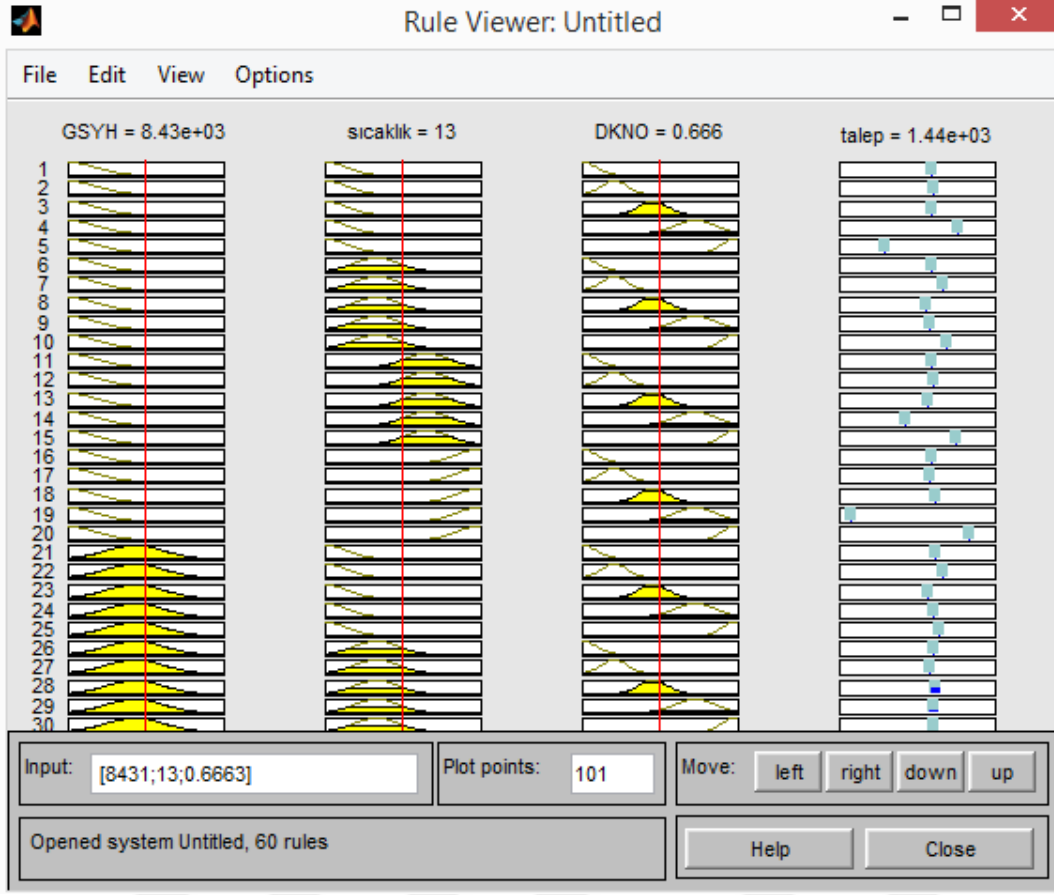
Şekil 4.10. Izgara bölümlene yöntemi ile oluşturulan modelin çıktı üyelik fonksiyonları

Bu çalışmada GSYH girdisine ilişkin 3 üyelik fonksiyonu, sıcaklık girdisine ilişkin 4 üyelik fonksiyonu ve nüfus girdisine ise 5 üyelik fonksiyonu geliştirilmiştir. Sonrasında ise bu üyelik fonksiyonları kullanılarak sistem tarafından 60 kural oluşturulmuştur. Sinirsel bulanık ağ modeli her kural için bir değer üretmiştir. Sonuçta 60 çıktı üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Şekil4.10’ da bu çıktı üyelik fonksiyonu kümeleri görülmektedir.



Şekil 4.11. ANFIS modelinin oluşturulduğu kurallar

Şekil4.11’de bulanık sinir ağı tarafından oluşturulan kurallar, Şekil4.12’de ise girdi ve çıktı değerleri arasındaki ilişkinin grafiksel gösterimi sunulmuştur. Oluşturulan 60 kural doğrultusunda girdilerin hangi değerleri almasıyla çıktının nasıl oluşacağı görülmektedir.



Şekil 4.12. ANFIS'in belirlediği kuralların grafiksel gösterimi

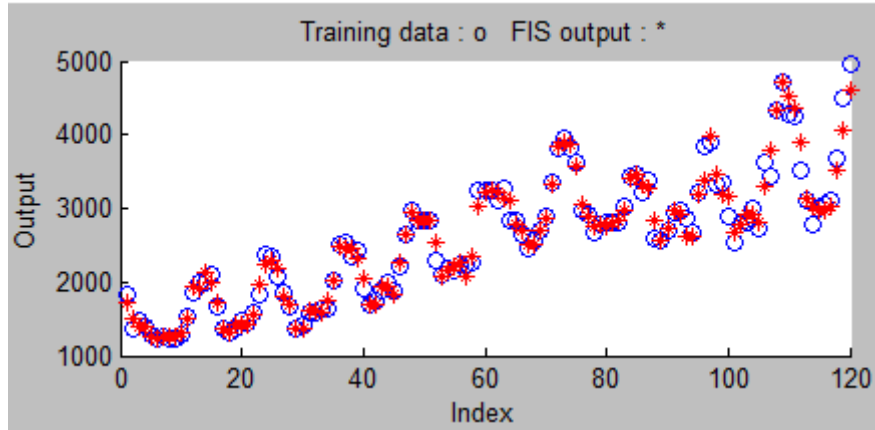
4.4. Modelin Tahmin Sonuçları

Tablo4.1'de ızgara bölümleme (grid partition) metodunun alternatif girdi/çıkı üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen hata değerleri görülmektedir. Tablo4.1'deki sonuçlar incelendiğinde en düşük test hatasının (290) gaussmf üyelik fonksiyon tipi ve GSYH girdi değeri için 3 üyelik fonksiyonu, sıcaklık girdi değeri için 4 üyelik fonksiyonu ve nüfus girdi değeri için 5 üyelik fonksiyonu belirlenmesi halinde gerçekleşmektedir. Ayrıca Tablo4.1'deki tüm sonuçlardan anlaşılacağı üzere çıktı üyelik fonksiyonu tipi de sabit (constant) olmalıdır.

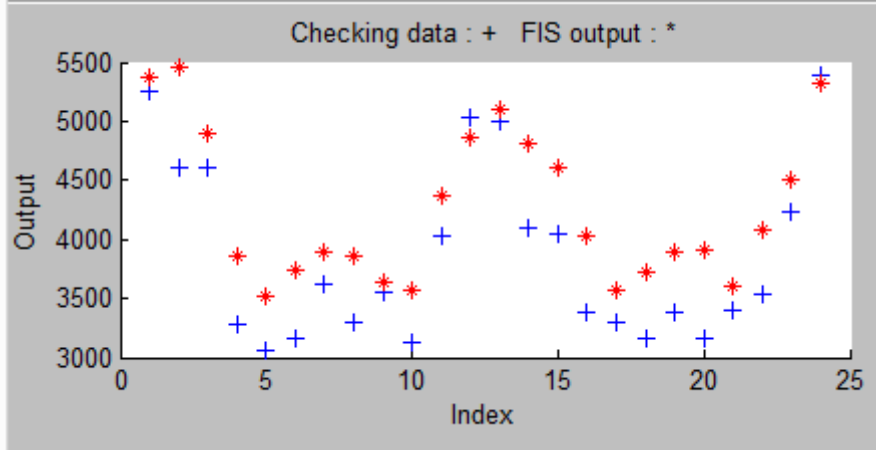
Tablo 4.1. Alternatif üyelik fonksiyonlarına karşılık gelen test hata değerleri

Sabit (Constant)										
üyelik fonksiyon sayısı	3 3 3	3 4 5	3 5 3	4 3 3	4 3 5	4 4 4	5 3 5	5 5 4	5 5 5	
fonksiyon tipi	trimf	452	402	492	448	324	405	428	457	486
	trapmf	605	536	534	554	551	485	1061	1061	1061
	gbelmf	557	321	542	1531	437	1043	2906	6057	5832
	gaussmf	590	290	478	1048	405	668	690	18695	14497
	gauss2mf	596	536	538	697	560	504	5193	1941	731
	pimf	620	551	546	579	578	503	1061	1061	1061
	dsigmf	712	1483	1959	539	551	452	600	4031	595
	prsigmf	713	482	1973	539	552	2566	599	1118	451
Doğrusal (Linear)										
üyelik fonksiyon sayısı	3 3 4	3 4 4	3 5 5	4 3 4	4 4 5	4 5 5	5 3 4	5 4 3	5 4 4	
fonksiyon tipi	trimf	11463	658	1659	1526	2746	6521	12330	2020	1824
	trapmf	1650	1109	1501	2095	3416	2285	1061	1061	1061
	gbelmf	1977	1957	9708	5788	10314	10459	37823	15485	42249
	gaussmf	982	2351	3054	3595	41622	6249	5749	14414	32597
	gauss2mf	5195	2213	1825	2409	3721	2458	141120	10073	15487
	pimf	1116	930	1596	1824	2581	1836	1061	1061	1061
	dsigmf	4515	7495	1980	2311	3425	4506	42352	9984	11137
	prsigmf	1497	15680	1607	2343	5453	2929	519081	11275	2180

Testi yaparken epoch:20 olarak sabit alınmıştır.

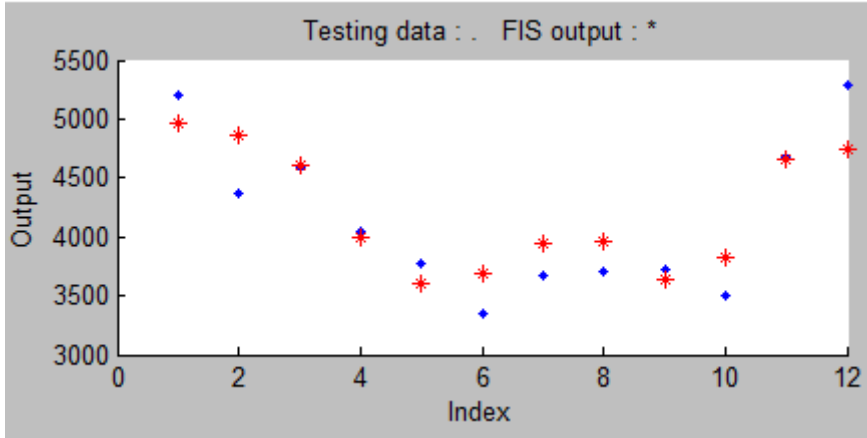
**Şekil 4.13.** Eğitim veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin oluşması (O gerçek değerler, * model çıktıları)

En iyi sonucu veren girdi/çıktı üyelik fonksiyonu tipi kullanılarak ağ eğitildiğinde ağın eğitim hatası RMSE (Root Mean Square Error-Ortalama hatanın karekökü) cinsinden 127.1581'dir. Eğitim veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı Şekil4.13'de görülmektedir.



Şekil 4.14. Kontrol veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi (+ gerçek değerler, * model çıktıları)

Şekil 4.14’de kontrol veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin kontrol hatası RMSE cinsinden 470.6076’dır.



Şekil 4.15. Test veri seti için gerçek değerlerle tahmin değerlerinin örtüşmesi(• gerçek değerler, * model çıktıları)

Şekil4.15’de ise test veri setinde gerçek değerlerle tahmin değerlerinin ne oranda çakıştığı görülmektedir. Modelin test hatası RMSE cinsinden **290.8493**’dir.

Tablo 4.2’de doğalgaz tüketim verilerinin gerçek değerleri gösterilmektedir. Tablo 4.3’de ANFIS’in yaptığı tahmini doğalgaz tüketim verileri gösterilmektedir. Tabloların gidişatı ise örneğin; 2002 1. , 2002 yılının 1. ayını göstermekte ve bu şekilde ilerlemektedir.

Tablo 4.2. Aylık Doğalgaz Tüketim Verilerine İlişkin Gerçekleşen Değerler (milyon m^3)

Aylar	Gerçekleşen	aylar	Gerçekleşen	Aylar	Gerçekleşen	aylar	Gerçekleşen
2002 1.	1839	2005 4.	1839	2008 7.	2773	2011 10.	3685
2002 2.	1372	2005 5.	1372	2008 8.	2810	2011 11.	4495
2002 3.	1483	2005 6.	1483	2008 9.	2821	2011 12.	4959
2002 4.	1395	2005 7.	1395	2008 10.	2817	2012 1.	5245
2002 5.	1278	2005 8.	1278	2008 11.	3035	2012 2.	4610
2002 6.	1239	2005 9.	1239	2008 12.	3425	2012 3.	4611
2002 7.	1252	2005 10.	1252	2009 1.	3475	2012 4.	3274
2002 8.	1245	2005 11.	1245	2009 2.	3225	2012 5.	3056
2002 9.	1219	2005 12.	1219	2009 3.	3372	2012 6.	3162
2002 10.	1297	2006 1.	1297	2009 4.	2601	2012 7.	3625
2002 11.	1541	2006 2.	1541	2009 5.	2562	2012 8.	3296
2002 12.	1855	2006 3.	1855	2009 6.	2713	2012 9.	3547
2003 1.	2001	2006 4.	2001	2009 7.	2957	2012 10.	3135
2003 2.	1981	2006 5.	1981	2009 8.	2980	2012 11.	4027
2003 3.	2114	2006 6.	2114	2009 9.	2872	2012 12.	5033
2003 4.	1654	2006 7.	1654	2009 10.	2667	2013 1.	5006
2003 5.	1367	2006 8.	1367	2009 11.	3207	2013 2.	4102
2003 6.	1324	2006 9.	1324	2009 12.	3840	2013 3.	4041
2003 7.	1378	2006 10.	1378	2010 1.	3890	2013 4.	3390
2003 8.	1467	2006 11.	1467	2010 2.	3321	2013 5.	3301
2003 9.	1451	2006 12.	1451	2010 3.	3352	2013 6.	3164
2003 10.	1574	2007 1.	1574	2010 4.	2886	2013 7.	3387
2003 11.	1842	2007 2.	1842	2010 5.	2539	2013 8.	3168
2003 12.	2385	2007 3.	2385	2010 6.	2792	2013 9.	3402
2004 1.	2357	2007 4.	2357	2010 7.	2820	2013 10.	3532
2004 2.	2085	2007 5.	2085	2010 8.	2989	2013 11.	4239
2004 3.	1844	2007 6.	1844	2010 9.	2737	2013 12.	5390
2004 4.	1660	2007 7.	1660	2010 10.	3618	2014 1.	5204
2004 5.	1365	2007 8.	1365	2010 11.	3441	2014 2.	4363
2004 6.	1419	2007 9.	1419	2010 12.	4332	2014 3.	4593
2004 7.	1579	2007 10.	1579	2011 1.	4712	2014 4.	4051
2004 8.	1594	2007 11.	1594	2011 2.	4284	2014 5.	3776
2004 9.	1648	2007 12.	1648	2011 3.	4239	2014 6.	3348
2004 10.	1653	2008 1.	1653	2011 4.	3514	2014 7.	3670
2004 11.	2030	2008 2.	2030	2011 5.	3110	2014 8.	3710
2004 12.	2514	2008 3.	2514	2011 6.	2786	2014 9.	3730
2005 1.	2531	2008 4.	2531	2011 7.	3011	2014 10.	3500
2005 2.	2336	2008 5.	2336	2011 8.	3060	2014 11.	4679
2005 3.	2439	2008 6.	2439	2011 9.	3109	2014 12.	5289

Tablo 4.3. Aylık Doğalgaz Tüketim Verilerine İlişkin Tahmini Değerler (milyon m^3)

Aylar	tahmin	Aylar	Tahmin	Aylar	tahmin	Aylar	tahmin
2002 1.	1770	2005 4.	1948	2008 7.	2770	2011 10.	3712
2002 2.	1526	2005 5.	1856	2008 8.	2756	2011 11.	3984
2002 3.	1396	2005 6.	1823	2008 9.	2848	2011 12.	4643
2002 4.	1401	2005 7.	1867	2008 10.	2521	2012 1.	5461
2002 5.	1254	2005 8.	1867	2008 11.	2757	2012 2.	5618
2002 6.	1181	2005 9.	1931	2008 12.	3285	2012 3.	4976
2002 7.	1203	2005 10.	2177	2009 1.	3423	2012 4.	3763
2002 8.	1221	2005 11.	2598	2009 2.	3350	2012 5.	3522
2002 9.	1270	2005 12.	2811	2009 3.	3298	2012 6.	3076
2002 10.	1414	2006 1.	3033	2009 4.	2654	2012 7.	2871
2002 11.	1602	2006 2.	2847	2009 5.	2587	2012 8.	2944
2002 12.	2048	2006 3.	2511	2009 6.	2729	2012 9.	3193
2003 1.	1880	2006 4.	2510	2009 7.	2827	2012 10.	3558
2003 2.	2113	2006 5.	2390	2009 8.	2821	2012 11.	4141
2003 3.	1963	2006 6.	2243	2009 9.	2797	2012 12.	4944
2003 4.	1543	2006 7.	2212	2009 10.	2836	2013 1.	5188
2003 5.	1358	2006 8.	2143	2009 11.	3250	2013 2.	4844
2003 6.	1323	2006 9.	2318	2009 12.	3451	2013 3.	4457
2003 7.	1460	2006 10.	2567	2010 1.	3739	2013 4.	3807
2003 8.	1457	2006 11.	2948	2010 2.	3526	2013 5.	3412
2003 9.	1493	2006 12.	3201	2010 3.	3280	2013 6.	3164
2003 10.	1601	2007 1.	3304	2010 4.	3144	2013 7.	2981
2003 11.	1889	2007 2.	3243	2010 5.	2989	2013 8.	2959
2003 12.	2176	2007 3.	3014	2010 6.	2915	2013 9.	3325
2004 1.	2247	2007 4.	2963	2010 7.	2853	2013 10.	3825
2004 2.	2158	2007 5.	2629	2010 8.	2827	2013 11.	4242
2004 3.	1784	2007 6.	2520	2010 9.	2941	2013 12.	5474
2004 4.	1594	2007 7.	2525	2010 10.	3388	2014 1.	5016
2004 5.	1484	2007 8.	2527	2010 11.	3603	2014 2.	4887
2004 6.	1494	2007 9.	2661	2010 12.	4199	2014 3.	4400
2004 7.	1564	2007 10.	3006	2011 1.	4741	2014 4.	3785
2004 8.	1564	2007 11.	3307	2011 2.	4469	2014 5.	3507
2004 9.	1564	2007 12.	3528	2011 3.	4156	2014 6.	3208
2004 10.	1603	2008 1.	4334	2011 4.	3761	2014 7.	2908
2004 11.	1976	2008 2.	4163	2011 5.	3376	2014 8.	2871
2004 12.	2433	2008 3.	3375	2011 6.	3115	2014 9.	3281
2005 1.	2670	2008 4.	2982	2011 7.	2883	2014 10.	3697
2005 2.	2686	2008 5.	2944	2011 8.	2807	2014 11.	4471
2005 3.	2359	2008 6.	2836	2011 9.	3144	2014 12.	4672

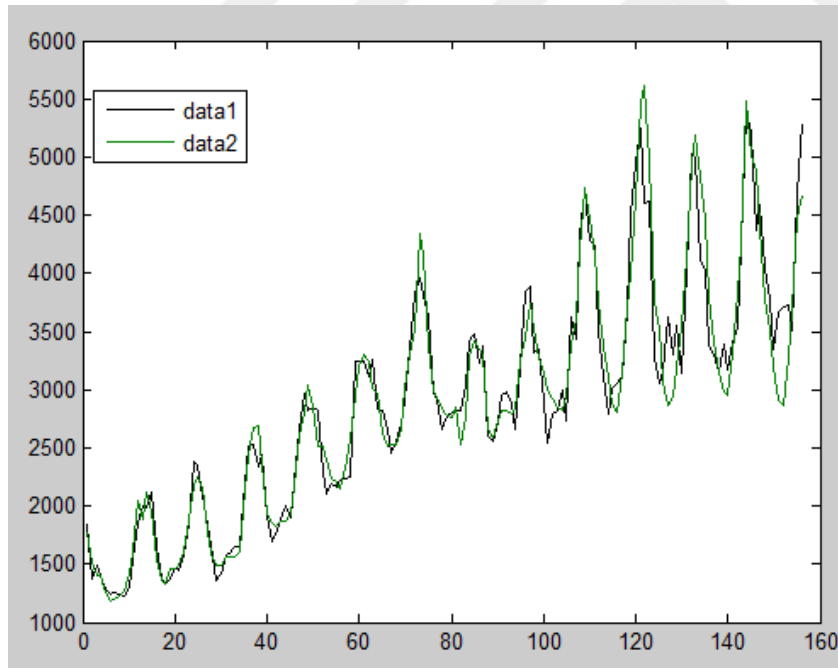
Tablo 4.2’de doğalgaz tüketim verilerinin gerçek verileriyle ve Tablo 4.3’de ANFIS’in yaptığı tahmini doğalgaz tüketim verileriyle MAPE hesaplanır.

Model performansının ölçümü için kullanılan MAPE (Mean Absolute Percentage Error-ortalama mutlak hata yüzdesi) denklem’de verilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - y_i}{x_i} \right| * 100\%$$

Bu eşitlikte, i ayrık veri indeksini, n hata ölçümü için kullanılan ayrık çıkış verilerinin sayısını, x_i sistemin gerçek çıkış verisini, y_i sistem modelinin çıkışını temsil etmektedir.

Izgara bölümlleme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan ANFIS modelinin 156 veri seti üzerinden MAPE hesaplanır. Hesaplanan sonuçta ortalama mutlak hata yüzdesi %5,7713 çıkmaktadır. Bu sonuçtan anlaşılacağı üzere oluşturulan uyarlamalı (adaptif) model ile başarılı bir tahmin sonucuna ulaşılmıştır.

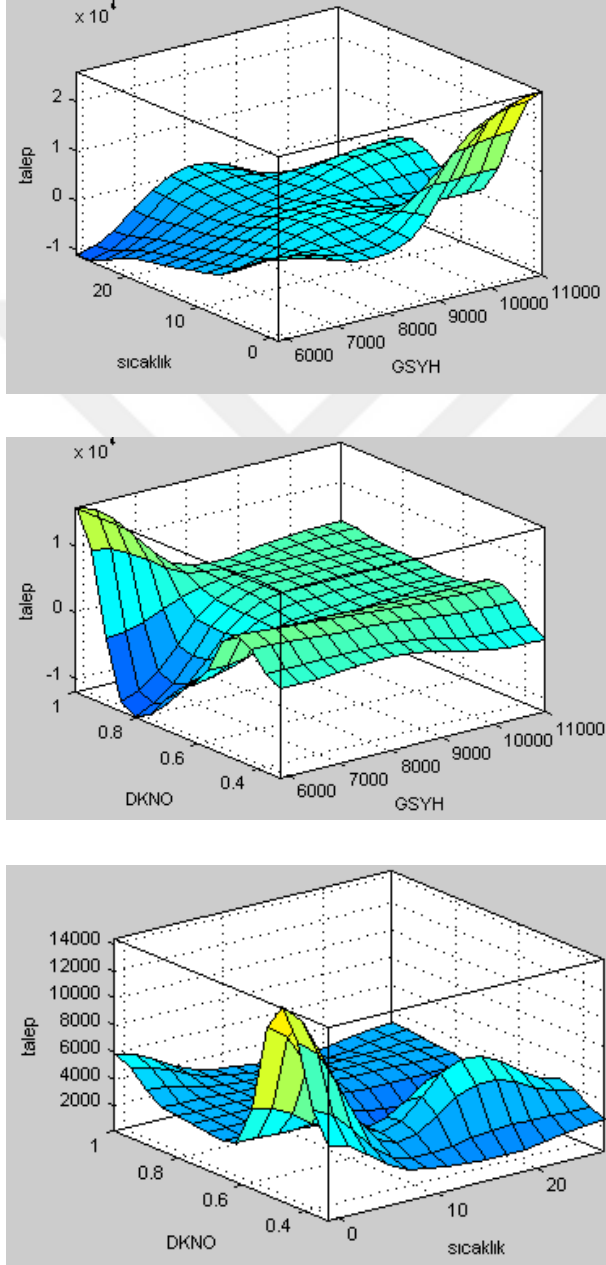


Şekil 4.16. ANFIS’de gerçek değerlerle, tahmin edilen değerlerin grafik olarak gösterimi

Şekil4.16’da verilerin gerçek değerleriyle, modelin tahmin ettiği değerlerler grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekilde data1 gerçek değerleri, data2 tahmin edilen

(modelin çıktısı) değerleri göstermektedir. Şekilden 'de anlaşılacağı üzere birbirine yakın değerler oluşmuştur. ANFIS'in başarılı bir tahmin yaptığı görülmektedir.

Şekil 4.17 de bazı değişkenler arasındaki ilişkilerin üç boyutlu gösterimi görülmektedir.



Şekil 4.17. Alt kümeleme yöntemiyle oluşturulan (grid partition) yöntemi ile oluşturulan modelde değişkenler arası üç boyutlu ilişki

4.5. 2015 Yılı Doğalgaz Tüketim Tahmini

- 2015 yılında GSYH büyümesi yüzde 4 olarak öngörülmüştür (Kalkınma Bakanlığı, 2014: 8).
- 2015 yılında doğalgaza kavuşan nüfus oranı 0,9883 olduğu varsayılmıştır (Söyler, 2014).
- Sıcaklık ise üç şekilde olma ihtimali göz önüne alınmıştır.
 - i. 2002-2014 yılları sıcaklık verilerinden her ayın en düşük sıcaklığı
 - ii. 2002-2014 yılları sıcaklık verilerinden her ayın en yüksek sıcaklığı
 - iii. 2002-2014 yılları sıcaklık verilerinden her ayın ortalaması alınmıştır.

Bu senaryoları göz önüne alınarak 2015 yılı doğalgaz tüketimi aylar olarak tahmin edilmiştir. Matlab’da gerekli işlemler yapıldıktan sonra Tablo4.4’ de 2015 yılı her ay için doğalgaz tüketim tahmini verileri verilmiştir.

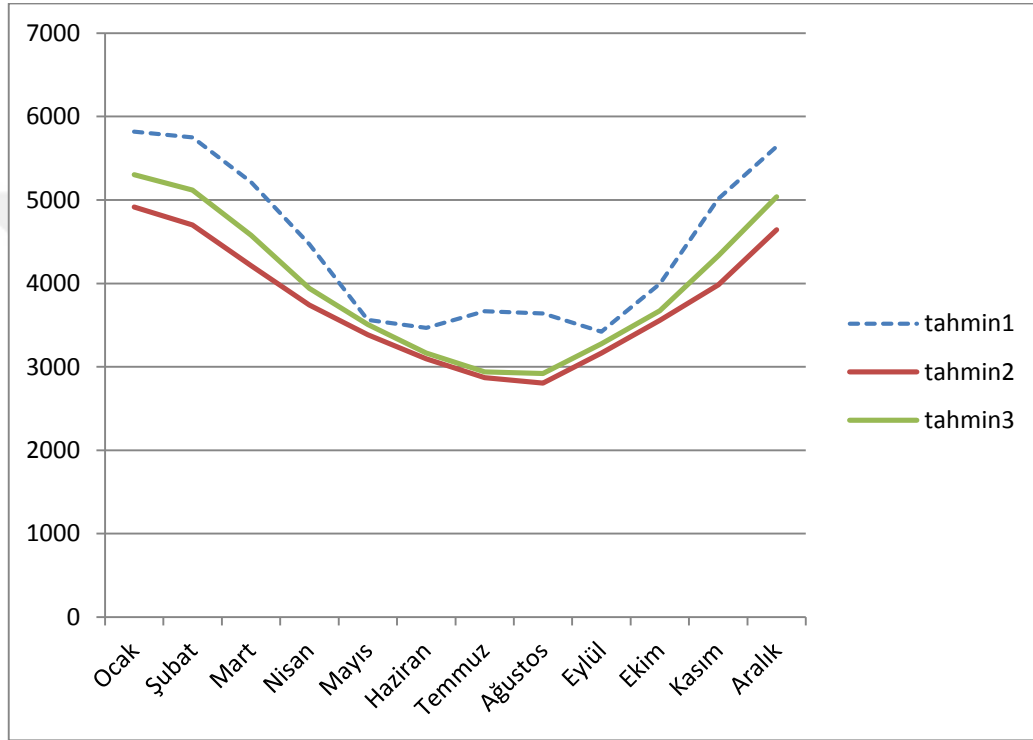
Tablo 4.4. 2015 yılı aylar olarak doğalgaz tüketim tahmini verileri (milyon m^3)

Aylar	tahmin1	tahmin2	tahmin3
Ocak	5821	4916	5304
Şubat	5750	4701	5120
Mart	5218	4213	4578
Nisan	4469	3741	3940
Mayıs	3564	3383	3507
Haziran	3467	3098	3166
Temmuz	3666	2871	2939
Ağustos	3639	2805	2920
Eylül	3422	3164	3278
Ekim	3998	3558	3671
Kasım	5013	3984	4334
Aralık	5641	4643	5038

Tablo 4.4’de verilen 2002-2014 yılları arasındaki gerçekleşen sıcaklıkların en düşük olması durumunda ANFIS’in yaptığı tahmine tahmin1, sıcaklıkların en yüksek olması durumunda ANFIS’in yaptığı tahmine tahmin2, sıcaklıkların ortalaması olması durumunda ANFIS’in yaptığı tahmine tahmin3 olarak adlandırılmışlardır. Tablo4.4’deki

sonuçlar incelendiğinde sıcaklık değerlerinin en düşük olduğu takdirde doğalgaz tüketimi artmaktadır. Sıcaklık değerlerinin en yüksek olduğu dönemde doğalgaz tüketimi azalmaktadır. Bu da sıcaklıkla ters orantılı bir şekilde doğalgaz tüketiminin olduğunu göstermektedir. Görülmektedir ki sıcaklığın doğalgaz tüketiminde oldukça bir etkisi vardır.

şekil 4.18’de tahmin sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi verilmiştir.



şekil 4.18. Tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

BÖLÜM 5: SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Doğalgaz, kullanım kolaylığı ve temiz bir enerji kaynağı olması, yanma verimi yüksek olması gibi birçok nedenden dolayı, son yıllarda tüm dünyayla birlikte Türkiye’de de önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Ülkemiz doğalgaz konusunda dışa bağımlıdır. Biz kullanıcıların herhangi bir aksilikte mağdur olmamamızı sağlamak için uzun ve kısa dönemli tahminler yapılması gerekmektedir. Ne kadar tüketileceği tahminen bilinirse dış anlaşmalar ona göre yapılabilir. Böylelikle olumsuz durumlarda çıkabilecek sorunlardan korunmuş oluruz. Doğalgaz tüketim tahmini son yıllarda tüm dünya ile birlikte ülkemizde de yapılmaktadır. Bu amaçla Türkiye’de ki doğalgaz tüketiminin doğru tahmin edilebilmesi için bu çalışma yapılmıştır.

Geçmiş yıllara ait 2002-2014 yılları için aylık GSYH, sıcaklık, doğalgaza kavuşan nüfus oranı verileri derlenip 13 yıllık toplam 156 veri kullanılarak modele uygun bir şekilde yüklenmiştir.

Matlab R2013 Fuzzy Logic Toolbox’ın içerisindeki ANFIS grafiksel kullanıcı arayüzü kullanılmıştır. Eğitim, kontrol ve test olmak üzere üç veri setine ayrılan 13 yıllık 156 veriden 120’si adaptif ağırlık eğitimi, 24’ü kontrol ve 12’si testi için kullanılmıştır. Bu eğitim sürecinde kullanılacak bulanık çıkarım sisteminin oluşturulması için ANFIS içinde ızgara bölümlendirme (grid-partition) ve alt kümeleme (sub-clustering) olmak üzere iki alternatif yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada ızgara bölümlendirme (grid-partition) bölümü incelenmiştir.

Bu çalışmada, birçok üyelik fonksiyon sayısı, tüm üyelik fonksiyon tipleri ve çıktı tipi constant/linear için tek tek denenmiştir. En iyi sonuca ise GSYH girdisi için 3 üyelik fonksiyon sayısı, sıcaklık girdisi için 4 üyelik fonksiyon sayısı ve nüfus girdisi için ise 5 üyelik fonksiyon sayısı, gaussmf fonksiyon tipi ve constant çıktı tipinde test hatası en düşük çıkmıştır. Modelin test hatası RMSE cinsinden **290.8493**’dir.

İlk adımda üç bağımsız değişken girdi olarak sisteme girilmektedir. İkinci aşamada girdi değerleri sıraya 3, 4 ve 5 üyelik fonksiyonuna belli bir üyelik derecesinde sistem tarafından atanmışlardır. Sonraki sütunda üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan 60 kural yer almaktadır. Bulanık ağı model en iyi öğrenmeyi gerçekleştireceği 60 kural belirlemiştir.

Izgara bölümlendirme (grid partition) yöntemi ile oluşturulan ANFIS modelinin 156 veri seti üzerinden MAPE (Mean Absolute Percentage Error-ortalama mutlak hata

yüzdesi) hesaplanır. Tahmin modeli %5,7713 hata ile doğalgaz talep tahmininde bulunmuştur. Uyarlamalı (adaptif) model ile başarılı bir tahmin sonucuna ulaşılmıştır.

Bu tez çalışmasında 2015 yılı için veriler belli senaryolarda derlenip, Matlab'da gerekli işlemler yapılarak 2015 doğalgaz tüketimi aylar olarak tahmini yapılmıştır.

Doğalgaz tüketimini etkileyen pek çok faktör olmasına rağmen, bu çalışmada sadece gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), sıcaklık ve doğalgaza kavuşan nüfus oranı üç değişken girdi olarak ele alınmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda doğalgaz tüketimini etkileyen başka faktörler ele alınabilir. Yapılan çalışmanın uygulama bölümünde bulanık çıkarım sistemini (BÇS) oluşturmak için alternatif yöntemlerden biri olan Izgara bölümlleme (Grid Partition) seçilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda ise Alt kümeleme de (Sub-clustering) seçilebilir.

KAYNAKÇA

- Alcı, M., & Karatepe, E. (2002). *Bulanık Mantık ve Matlab Uygulamaları*. Ege Üniversitesi Yayınları.
- Altaş, İ. H. (1999). “Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı”. *Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi*, (62), 80-85.
- Anonymous, 2010a. Fuzzy Logic Toolbox, <http://www.mathworks.com/products/fuzzylogic>, (12.04.2015).
- Anonymous, 2010b. Anfis and the ANFIS (Editor GUI), <http://www.mathworks.com/help/toolbox/fuzzy/fp715dup12.html> (12.04.2015).
- Azadeh, A., Saberi, M., Nadimi, V., Iman, M., & Behrooznia, A. (2010). An integrated intelligent neuro-fuzzy algorithm for long-term electricity consumption: cases of selected EU countries. *Acta Polytechnica Hungarica*, 7(4), 71-90.
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- BOTAŞ, <http://www.botas.gov.tr/index.asp> (05.05.2015)
- CAPİTAL (2002), “Teknolojide Bulanık Dönem: Zekai Şen ile Yapılan Röportaj”, 1 Şubat. <http://www.capital.com.tr/teknoloji/teknolojide-bulanik-donem-haberdetay-2961> (20.01.2015).
- Cayıroğlu, İ., “İleri Algoritma Analizi-5 Yapay Sinir Ağları” Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını <http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/IleriAlgoritmaAnalizi/IleriAlgoritmaAnalizi-5.Hafta-YapaySinirAglari.pdf> , (27.04.2015)
- Civelekoğlu, G. (2006). Arıtma proseslerinin yapay zeka ve çoklu istatistiksel yöntemler ile modellenmesi (Yayımlanmamış doktora tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Çakiroğlu, M. A., Erenoğlu, E., Kasap, S., & Ekız, Y. (2011). Çelik Lif Katkılı Betonların Tahribatsız Deney Yöntemleriyle Elde Edilen Basınç Dayanımının ANFIS Metoduyla Tahmini. *SDU International Journal of Technological Science*, 3(3).

Çoban, O., Özcan, C. C., (2011). Sektörel Açıdan Enerjinin Artan Önemi: Konya İli İçin Bir Doğalgaz Talep Tahmini Denemesi.

Çolakoğlu, M., Ediz G. (2012). Liberalising natural gas in Turkey, PWC, Feb. http://www.pwc.com.tr/tr_TR/tr/publications/industrial/energy/assets/turkiyede-dogalgaz-piyasasinin-liberallesmesi-raporu.pdf (10.04.2015).

Dalgaldere, S. (2014). *İletişim araçlarında bulanık mantık uygulamaları* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Gazetecilik Anabilim Dalı Bilişim Bilim Dalı, İstanbul.

Demirel, Ö., Kakilli, A., & Tektaş, M. (2010). Anfis ve arma modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3).

Doğalgaz Araştırma, <http://arastirma.dogalgaz.com.tr/index.asp?dgz=1> (01.06.2015)

Dokuzlar, B. (2006). *Dünya güç dengesinde yeni silah doğalgaz:(Orta Asya'dan-Avrupa'ya)*. IQ Kültür Sanat Yayıncılık.

Elmas, Ç. (2003). *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Elmas, Ç. (2007). *Yapay Zeka Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Elmas, Ç. (2011). *Yapay zeka uygulamaları*. Seçkin Yayıncılık, Ankara.

EPDK- TC Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (2012), *Doğal Gaz Piyasası 2011 Sektör Raporu*, Ankara.

EPDK (2013), *Doğal Gaz Piyasası 2012 Sektör Raporu*, Ankara.

EPDK, Doğal Gaz Piyasası 2013 Sektör Raporu, ANKARA, 2014.

Erdal, C. (2008). Bulanık Mantık ve Firmaların Başarı Kriterlerinin Tanımlanarak Bulanık Mantık ile Ölçülmesinin Bir Uygulanması, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi),

Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü, İşletme Anabilim Dalı, Kırıkkale.

Fırat, M., Yurdusev, M. A., & Mermer, M. (2008). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Aylık Su Tüketiminin Tahmini. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(2), 449-457.

Gedik, F. A. (2011). İletişim Ağ Problemlerinin Çözümünde Neuro-Fuzzy Yaklaşımı, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Giovanis, E. (2012). Study of Discrete Choice Models and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System in the Prediction of Economic Crisis Periods in USA, *Economic Analysis and Policy*, 42(1), 79-95.

Hattuşa Enerji, <http://www.hattusaenerji.com.tr/tr-TR/dogal-gazi-taniyalim/1726/Page.aspx> (01.06.2015).

Jang, J. S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 23(3), 665-685.

Kalkınma Bakanlığı, 2014 Orta Vadeli Program, 2015-2017, Ankara: 8.

Karlık, B., Kızılaslan, (2009). Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle İstanbul Doğalgaz İhtiyacının Tahmin Edilmesi Ve Gaz Tüketim Hesaplama Programının Yazılması, Araştırma Projesi.

Kaynak, O., & Armağan, G. (1993). Bulanık Denetim ve Endüstriyel Uygulamaları. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi CAD/CAM ve Robotik Bölümü.

Kaynar, O. vd (2010). Ham Petrol Fiyatlarının ANFIS İle Tahmini, *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, Ocak, S.17 (3-14).

Kaynar, O., Taştan, S., & Demirkoparan, F. (2011a). “Yapay Sinir Ağları İle Doğalgaz Tüketim Tahmini”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25.

Kaynar, O., Yilmaz, I., & Demirkoparan, F. (2011b). Forecasting of natural gas consumption with neural network and neuro fuzzy system. *Energy Education Science and Technology Part A–Energy Science and Research*, 26(2), 221-238.

Kırış, ř., (2008). Hizmet Sektörü İçin Bir Tepkisel Çizelgeleme Sistem Önerisi Acil Servis Kontrol Sistemi, (Yayımlanmamış doktora tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Köse, M., Terzi, Ö., İlker, A., & Ergin, G. (2011). Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi İle Kızılırmak Nehri'nin Akım Tahmin, 6.International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 16-18 May 2011.

Kula, K. ř., Dalkılıç, T. E., & Apaydın, A. (2010). Bağımlı değişkenin simetrik bulanık sayı olması durumunda parametre tahmini, *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik ve Aktüerya*, 3(2).

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, 7(1), 1-13.

Mendel, J. M., & McLaren, R. W. (1994, January). Reinforcement-Learning Control and Pattern Recognition Systems, In A prelude to neural networks (pp. 287-318). Prentice Hall Press.

Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı , <http://www.mgm.gov.tr/kurumsal/birimler> (03.05.2015).

Nabiyev, V. V. (2012). *Yapay Zeka: İnsan-Bilgisayar Etkileşimi*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Ok, Y., Mehmet, A. T. A. K., & Akçayol, M. A. (2011). Yalın Sinirsel Bulanık Bir Model İle Sinirsel Bulanık Bir Model İle İMKB 100 Endeksi Tahmini, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4).

Özlem, D. (2004). *Mantık: klasik sembolik mantık, mantık felsefesi*, İnkılap Kitabevi, İstanbul.

Öztemel, E. (2012). *Yapay sinir ağları*, Papatya Yayıncılık.

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, T., vd., (2013), Bulanık Küme Teorisi, Nobel Yayınevi, Ankara.

Pervan, N., (2006). Türkiye’de Doğalgaz Piyasasının Yeniden Yapılandırılması ve Sonuçları, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Ankara Üniversitesi SBE, Ankara.

PETFORM (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Petrol İşleri Müdürlüğü), http://www.petform.org.tr/images/etkinlikler/istisare_toplantisi_pigm_omer_koca_3.pdf (06.05.2015).

PİGM-Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (TC Enerji ve Tabi kaynaklar Bakanlığı) , 2015 <http://www.pigm.gov.tr/index.php/istatistikler> (06.05.2015)

Qanbari, M., Javadi, S., & Sabbaghi-Nadooshan, R. (2013). The Forecasting of Iran Natural Gas Consumption Based On Neural-Fuzzy System Until 2020. *International Journal of Smart Electrical Engineering*, 2(3), 181-184.

Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., & Erler, M. (2003). *Mühendislikte yapay zeka uygulamaları-1: Yapay sinir ağları*. Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık.

Saraç, E. (2012). Bir Çağrı Merkezindeki Projelerin Anfis Metodu ile Değerlendirilmesi ve Seçimi, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Sistem Mühendisliği Programı, İstanbul.

Sarwar, F., M., Rashid, M., & Ghosh, D. An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System based Algorithm for Long Term Demand Forecasting of Natural Gas Consumption.

Simon, H. (1999). *Neural Networks A Comprehensive Foundation*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Soysal, C., Yüce C.Ö., vd. (2012). Doğalgaz Sektör Araştırması, Rekabet Kurumu, Ankara .

Söyler, H., (2014). *Türkiye'nin Enerji Simülasyonu ve Senaryo Analizleri*, Medipres Yayıncılık, Malatya.

Şanlı, B., Ekiz, N. (2013).Türkiye'nin Doğalgaz Arz Güvenliğinin Analitik Bir Değerlendirmesi, www.barissanli.com/calismalar/2013/bsanlinekiz_dogalgaz_arz_guvenligi-May2013.pdf (29.04.2015).

Şen, Z. (2004). *Yapay sinir ağları ilkeleri*. Su Vakfı.

Şen, Z. (2009). *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme*, Üçüncü Baskı, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Şen , Z. (2011). *Mühendislikte Felsefe, Mantık, Bilim ve Etik*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Şengün, G., (2012). Doğalgaz Talep Tahmini Bayburt İli Üzerine Bir Uygulama, (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Erzurum.

TEİAŞ, Türkiye Elektrik Üretim- İletim İstatistikleri, 2014; <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>. (01.05.2015).

TEPAV (2009), *Türkiye’de Doğalgaz Sektörünün Yeniden Yapılandırılması: Sekiz Yıllık Deneyimin Arz Güvenliği ve Rekabet Politikası Perspektifinden Yeniden Değerlendirilmesi*, Mayıs.

TPAO-Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (2014), *2013 Yılı Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu*, Mayıs, www.tpao.gov.tr. (10.05.2015).

TÜİK, *2015 Temel İstatistikler*, <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>. (10.05.2015).

Türkiye'nin Autocad Portalı, <http://www.autocadturk.com/frmp1281/> (01.06.2015).

Uğurlu, B., (2015) “<http://members.comu.edu.tr/borauğurlu/courses/ai/Presentation7.ppt> (15.05.2015).

Yaşar F., Aydın, H. vd ., (2009). Batman İlinin Doğalgaz Tahmini Tüketiminin Matematiksel Yöntemlerle Modellenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13-15 Mayıs.

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.

Yörük, N., Karaca, S. S., Hekim, M., & Tuna, İ. (2013). Sermaye Yapısını Etkileyen Faktörler ve Finansal Oranlar ile Hisse Getirisi Arasındaki İlişkinin ANFIS Yöntemi ile İncelenmesi: İMKB 100’de Bir Uygulama.

Zadeh, L. A. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning—II. Information sciences, 8(4), 301-357.