T.C
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM YILLIK BRÜT ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa YAVUZDEMİR

Ankara-2014

T.C
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM YILLIK BRÜT ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ

Yüksek Lisans Tezi

Mustafa YAVUZDEMİR

Tez Danışmanı
Doç.Dr. Fazıl GÖKGÖZ

Ankara-2014

T.C
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM YILLIK BRÜT ELEKTRİK ENERJİSİ TALEP TAHMİNİ

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Fazıl GÖKGÖZ

TEZ JURİSİ ÜYELERİ

ADI-SOYADI	**İMZASI**
…….	
…….	
…….	

Tez Sınav Tarihi:

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Bu belge ile bu tezdeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun toparlanıp sunulduğunu beyan ederim. Bu kural ve ilkelerin gereği olarak, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçları andığımı ve kaynağını gösterdiğimi ayrıca beyan ederim. (…/…/2014)

MUSTAFA YAVUZDEMİR

İMZA

KISALTMALAR

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ÇEAŞ: Çukurova Elektrik Anonim Şirketi

DSİ: Devlet Su İşleri

DVM: Destek Vektör Makineleri

EİEİ: Elektrik İşleri Etüt İdaresi

EKK: En Küçük Kareler

EÜAŞ: Elektrik Üretim Anonim Şirketi

EPDK: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

GA: Genetik Algoritmalar

GSMH: Gayri Safi Milli Hasıla

GSYH: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla

IMF: Uluslararası Para Fonu

IEA: Uluslararası Enerji Ajansı

İHD: İşletme Hakkı Devri

kWh: Kilowatt-saat

MTA: Maden Tetkik ve Arama

MW: Megawatt

OECD: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Ajansı

TEK: Türkiye Elektrik Kurumu

TEAŞ: Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi

TEDAŞ: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi

TEİAŞ: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

TETAŞ: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi

US: Uzman Sistemler

Yİ: Yap İşlet

YİD: Yap İşlet Devret

YSA: Yapay Sinir Ağları

İÇİNDEKİLER **Sayfa No**

TEŞEKKÜR vi
TABLOLAR LİSTESİ…. vii
GİRİŞ 1
1. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI 4
1.1 Türkiye'de Elektriğin Kısa Tarihçesi 4
1.2 Türkiye'de Mevcut Elektrik Piyasasının Yapısı 10
1.3 Türkiye'de Elektrik Arz Ve Talebi 15
2. ELEKTRİK TALEBİ TAHMİN YÖNTEMLERİ 19
2.1 Parametrik Yöntemler 21
2.1.1 Trend Analizi 21
A) En Küçük Kareler Yöntemi 22
2.1.2 Son Kullanım (End-Use) Modelleri 26
2.1.3 Ekonometrik Modeller 27
2.2 Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler 28
2.2.1 Yapay Sinir Ağları 29
2.2.2 Destek Vektör Makineleri 31
2.2.3 Genetik Algoritmalar 32
2.2.4 Uzman Sistemler 32
2.3 Elektrik Talep Tahminine İlişkin Yapılan Çalışmalar 33
2.3.1 Dünya'da Elektrik Talep Tahminine İlişkin Yapılan Çalışmalar 33
2.3.2 Türkiye'de Elektrik Talep Tahminine İlişkin Yapılan Çalışmalar 35
3. BULANIK MANTIK 46
3.1 Bulanık Kümeler 52
3.2 Bulanık Kümelerde İşlemler 56
3.3 Üyelik Fonksiyonu ve Türleri 59
3.4 Bir Bulanık Kümenin Alfa (A) Kesiti 63
3.5 Bulanık Modellemenin Aşamaları 64
3.5.1 Bulanıklaştırma 66
3.5.2 Bulanık Kural Tabanı 67
3.5.3 Sonuç Çıkarım Aşaması 68
3.5.4 Durulaştırma 70

4. TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM BRÜT ELEKTRİK TALEP TAHMİNİ İÇİN YAPILAN UYGULAMA ÇALIŞMASI 72
SONUÇ 79
ÖZET 91
ABSTRACT 92

TEŞEKKÜR

Çalışmanın bu sürece gelmesinde bana her zaman destek olan, yol gösteren çok yardımsever ve değerli tez danışmanım Doç.Dr. Fazıl GÖKGÖZ'e, tezimin savunmasına jüri olarak katılarak bizleri onurlandıran değerli hocam, Prof. Dr. Yalçın KARATEPE' ye ve yüksek lisans eğitimimi başarıyla tamamlamamda emeği geçen Mülkiye Mektebi İşletme Bölümü'nün diğer tüm saygıdeğer hocaları ve çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarken, beni büyüten yetiştiren her zaman destekleyen canım annem ve babam ile hep birlikte geçirebileceğimiz zamanlardan feragat ederek, bu çalışmanın ortaya çıkmasında sabır ve desteklerini esirgemeyen, biricik hayat arkadaşım Merve ve canım oğlum Hüseyin Emir ile canım kızım Beyza'ya bir yürek dolusu şükran ve sevgilerimi sunuyorum.

TABLOLAR LİSTESİ **Sayfa No**

Tablo 1.1 Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi 5

Tablo 1.2. Türkiye'de Yakıt Cinsine Göre Mevcut Kurulu Güç Oranları ve Santral Sayıları 9

Tablo 1.3 Santral İşletmecisi Kuruluşlar ve Santral Sayıları 11

Tablo 1.4 2001-2012 Yılları Arası Elektrik Talebi ve Ekonomik Büyüme Artış Oranları 17

Tablo 1.5 2003 – 2012 Yılları Türkiye Elektrik Sistemi Puant Güç ve Enerji Tüketimi 18

Tablo 2.1. Trend Değerlerinin Standart Hata Formülasyonu 26

Tablo 3.1 Klasik Mantık ve Bulanık Mantık Arasındaki Temel Farklar 49

Tablo 3.2 Bulanık Mantık Uygulamalarını Kullanan Bazı Firmalar ve Uygulama Alanları 51

Tablo 4.1 Bulanık Kurallar 74

Tablo 4.2 Türkiye Yıllık Brüt Elektrik Talebinin Bulanık Mantık, Regresyon ve Zaman Serisi Yöntemleriyle Tahmin Sonuçları 78

ŞEKİLLER LİSTESİ **Sayfa No**

Şekil 1.1 Türkiye Elektrik Dağıtım Bölgeleri Haritası 13

Şekil 1.2 Ekonomik büyüme ve elektrik talebi ortalama artış miktarları 17

Şekil 2.1 F(x) Fonksiyonun Grafiksel Gösterimi 24

Şekil 2.2 Yapay Sinir Ağı Çalışma Prensibi 30

Şekil 3.1 Klasik Mantığa Göre Sıcak Hava Kümesinin Üyelik Fonksiyonu. 53

Şekil 3.2 Bulanık Mantığa Göre Üyelik Fonksiyonları. 54

Şekil 3.3 A Bulanık Kümesinin Üyelik Fonksiyonunun Gösterimi 55

Şekil 3.4 Kesişim Kümesinin Gösterimi. 57

Şekil 3.5 Birleşim Kümesinin Gösterimi. 58

Şekil 3.6 Üyelik Fonksiyonunun Bileşenleri 60

Şekil 3.7 Bazı Üyelik Fonksiyonları 62

Şekil 3.8 Klasik Sistemin Gösterimi. 64

Şekil 3.9 Bulanık Sistemin Gösterimi. 65

Şekil 3.10 Mamdani Sonuç Çıkarım Yönteminin Grafiksel Gösterimi 70

Şekil 4.1 Bulanık kümeler 73

Şekil 4.2 Ağırlık Merkezi Yöntemiyle GSYH= 330 Milyar Dolar İçin Bulanık Model Örneği 75

Şekil 4.3 Türkiye'de 1980-2012 Yılları Arasında Gerçekleşen Yıllık Brüt Elektrik Talep Değerleri ve GSYH Değerleri 75

Şekil 4.4 Oluşturulan Modellerin Grafiksel Karşılaştırılması 76

GİRİŞ

Enerji kaynakları birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Birincil enerji kaynakları, doğada kendiliğinden var olan ve başka kaynaklardan türetilmemiş, kömür, petrol, doğalgaz, rüzgar, güneş ve hidrolik enerji gibi kaynaklardır. Elektrik enerjisi, güneş, rüzgar, fosil yakıtlar, hidrolik vb. diğer enerji kaynaklarından dönüştürülmüş bir enerji türü olduğu için ikincil enerji kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır.

Günümüzde hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle elektrik enerjisinin kullanımı her geçen gün daha da artmakta ve böylece elektrik günlük yaşamın vazgeçilmez bir unsuru olmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde ekonomik büyüme ile elektrik enerjisi ihtiyacı arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde de bu ilişki kişi başına düşen gelirin, sanayi yatırımlarının ve elektrikli aletlerin kullanımının artması ile birlikte giderek artmaktadır.

Elektrik enerjisi, kullanım alanının çok geniş olması, hızlı iletilebilmesi ve verimli bir enerji kaynağı olması nedeniyle nihai enerji tüketiminde payı giderek artan tek enerji çeşididir. Elektrik enerjisinin dünya nihai enerji tüketimindeki payı 1973 yılında % 9,4 iken, 2002'de % 16,1 ve 2010 yılında % 17,7 ye yükselmiştir. Bu oranın 2030 yılında %20,2 olması beklenmektedir.[1]

[1] IEA, Uluslararası Enerji Ajansı, **2012 Key World Energy Statistics**, 2012, s.28.

Artan talebin yanında günümüzdeki teknolojik gelişmelere rağmen elektriğin henüz ekonomik olarak depolanamaması ve elektriğin üretildiği anda tüketilmesi gereken bir kaynak olması nedeniyle elektrik enerjisi talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi giderek önem kazanmaktadır.

Elektrik enerjisi arz güvenliğinin sağlanması, sürekli ve kaliteli elektrik enerjisinin kullanıma sunulması, elektriği girdi olarak kullanan tüm sektörler için hayati önem taşımaktadır. 2001 yılında yürürlüğe giren 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreye uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulmasını amaç edinmiş ve bu kanunla birlikte elektrik talep tahmin çalışmaları daha çok önem kazanmıştır.

Elektrik enerjisi talep tahminlerinin doğru yapılabilmesi durumunda elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerine yönelik hangi yatırımların ne şekilde ve ne zaman yapılması gerektiği belirlenebilmekte, elektrik enerjisi arz güvenliği için doğru yatırım kararları ve stratejiler geliştirebilmek mümkün olabilmektedir.

Elektrik enerjisi talebinin olması gerekenden düşük tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak yanlış sistem tasarımı ve planlamasına sahip olunması halinde, mecburi elektrik kesintileri gibi pek çok sıkıntının ortaya çıkması ve bu nedenle ekonomik büyüme ve bireysel refah artışının sekteye uğraması gündeme gelir. Talebin olması gerekenin çok üzerinde tahmin edilmesi ve özellikle uzun vadeli yatırım kararlarının, bu şekilde belirlenmesi durumunda ise; yüksek miktardaki kapasitenin atıl hale gelmesi, yatırımlar için harcanan paranın ihtiyaç duyulan diğer alanlara tahsis

edilememesi nedeniyle kaynak dağılımının yanlış yapılması ve kaynak israfı kaçınılmaz olur.[2]

Bu çalışmanın birinci bölümünde, elektriğin kısa tarihçesi, Türkiye mevcut elektrik piyasasının yapısı ve ülkemizdeki elektrik arz ve talebi hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde literatürde en çok kullanılan elektrik talep tahmin yöntemleri anlatılarak Dünya'da ve Türkiye'de elektrik talep tahminine ilişkin son yıllarda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise "bulanık mantık" ve "bulanık kümeler" tanımlarına yer verilerek, bulanık kümelerde işlemler, üyelik fonksiyonu ve türlerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü ve son bölümde ise Türkiye'nin yıllık brüt elektrik enerjisi talebi bulanık mantık, zaman serileri ve regresyon yöntemleriyle tahmin edilerek yapılan uygulamanın sonuçları karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

[2] M.S.Keleş, **Elektrik Enerjisi Talep Tahminleri ve Türkiye Ekonomisine Olan Etkileri**, Hazine Müsteşarlığı, Uzmanlık Tezi, 2005, s.2.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

1.1 Türkiye'de Elektriğin Kısa Tarihçesi

Ülkemizde ilk elektrik üretimi, II.Abdülhamid döneminde 1902 yılında Tarsus'ta tesis edilen 2 kW gücündeki küçük bir su türbini ile gerçekleşmiştir. İlk büyük santral ise Osmanlı Elektrik Üretim Anonim Şirketi tarafından 1913 yılında İstanbul Silahtarağa'da kurulan 15 MW güce sahip termik santral olmuştur.[3]

Kurtuluş Savaşı'nın sona ermesi ile 1923 yılında kurulan Türkiye Cumhuriyeti'ne kadar kurulu güç[4] 32,8 MW iken 31.01.2014 tarihi itibariyle 1959 kat artarak 64.267 MW'a ulaşmıştır. 1923 yılında 44,5 milyon kWh olan üretimimiz ise 5377 kat artarak bugün 239,3 milyar kWh'a ulaşmıştır.[5] (Tablo 1.1)

1930 yılında belediyeler yasasının yayımlanmasıyla beraber belediyeler kendi sınırları içinde elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı yetkisi almıştır.[6] Bununla birlikte, 1938-1944 yılları arasında yabancıların mülkiyetinde bulunan santrallerin millileştirilmesiyle elektrik piyasasında kamunun egemen olduğu bir dönem başlamıştır.[7]

---

[3] A. Özkaya, **Elektrik Piyasasında Etkin Regülasyon ve İzleme**, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Uzmanlık Tezi, 2012, s.94.

[4] Kurulu Güç: Bir elektrik üretim tesisinin birim zamanda üretebileceği enerji miktarı olup, Watt ve bin-katları (kW - KiloWatt; MW - MegaWatt; GW - GigaWatt; TW - TerraWatt) cinsinden ifade edilmektedir.

[5] TEİAŞ, Türkiye Elektrik İstatistikleri, http://www.teias.gov.tr/istatistikler.aspx, Erişim: 24.02.2014

[6] G. Altınay**, Elektriğin Ülke Ekonomisindeki Yeri ve Önemi**, Enerji Hukuku, Cilt I, Ekin Yayınları, 2007, s.3.

[7] E. Erdoğdu, **Türkiye Enerji Piyasası Reformları: Ekonomik Analiz**, EPDK Uzmanlık Tezi, Ankara, 2006, s.39.

Tablo 1.1 Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi[8]

YIL	KURULU GÜÇ (MW)	YIL	KURULU GÜÇ (MW)	YIL	KURULU GÜÇ (MW)
1913	17,3	**1953**	499,5	**1984**	8461,6
1923	32,8	**1954**	516,9	**1985**	9121,6
1924	32,9	**1955**	611,6	**1986**	10115,2
1925	33,4	**1956**	886,1	**1987**	12495,1
1926	48,6	**1957**	939,4	**1988**	14520,6
1927	51,9	**1958**	1030,0	**1989**	15808,2
1928	65,9	**1959**	1161,0	**1990**	16317,6
1929	72,1	**1960**	1272,4	**1991**	17209,1
1930	78,0	**1961**	1323,9	**1992**	18716,1
1931	101,9	**1962**	1370,8	**1993**	20337,6
1932	103,3	**1963**	1381,1	**1994**	20859,8
1933	107,8	**1964**	1418,3	**1995**	20954,3
1934	117,4	**1965**	1490,5	**1996**	21249,4
1935	126,2	**1966**	1644,3	**1997**	21891,9
1936	138,5	**1967**	1959,1	**1998**	23354,0
1937	167,1	**1968**	1966,6	**1999**	26119,3
1938	178,5	**1969**	1967,2	**2000**	27264,1
1939	215,6	**1970**	2234,9	**2001**	28332,4
1940	217,0	**1971**	2577,9	**2002**	31845,8
1941	222,0	**1972**	2711,3	**2003**	35587,0
1942	226,7	**1973**	3192,5	**2004**	36824,0
1943	236,4	**1974**	3732,1	**2005**	38843,5
1944	241,9	**1975**	4186,6	**2006**	40564,8
1945	245,9	**1976**	4364,2	**2007**	40835,7
1946	247,5	**1977**	4727,2	**2008**	41817,2
1947	251,4	**1978**	4868,7	**2009**	44761,2
1948	305,5	**1979**	5118,7	**2010**	49524,1
1949	381,8	**1980**	5118,7	**2011**	52911,1
1950	407,8	**1981**	5537,6	**2012**	57059,4
1951	423,2	**1982**	6638,6	**2013**	64267,7
1952	437,8	**1983**	6935,1		

1935 yılına gelindiğinde, Etibank, Maden Tetkik ve Arama (MTA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurulmuş, daha sonra 1945 yılında İller Bankası ve 1953 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü elektrik piyasasında faaliyet göstermeye başlamıştır.[9]

[8] TEİAŞ, Türkiye Elektrik İstatistikleri, http://www.teias.gov.tr/TürkiyeElektrikİstatistikleri/istatistik2012/istatistik%202012.htm, Erişim:24.02.2014

[9] A. Özkaya, s.95.

Çatalağzı Termik Santralı 1948 yılında devreye girmiş ve 1952 yılında 154 kV'luk bir enerji iletim hattı ile İstanbul'a elektrik takviyesi yapılmıştır. Üretim aşamasındaki gelişmelere paralel olarak iletim aşamasında da gelişmeler kaydedilmiş ve ülkemiz bir baştan bir başa ulusal iletim ağı ile bağlanarak, değişik güç ve tipte binlerce trafo hizmete girmiştir.[10]

1950'li yıllarda devlet ve özel sektör eliyle santrallar yapılmaya ve işletilmeye başlanmıştır. İmtiyazlı şirket olarak kurulan Adana ve İçel yöresine elektrik veren Çukurova Elektrik A.Ş. (ÇEAŞ) ile Antalya yöresine elektrik veren Kepez Elektrik A.Ş. dönemin en önemli elektrik şirketlerindendir. 1950 yılının başında kurulu gücümüz 407,8 MW'a, üretimimiz 789,5 milyon kWh'a ulaşmıştır.[11]

Birinci (1963-1967) ve İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1968-1972) dönemlerinde, Türkiye'deki elektrik üretim, iletim, dağıtım ve ticaretine ilişkin faaliyetlerin entegre bir sistem içerisinde ve bir kamu kurumu çatısı altında birleştirilmesi plan hedefi olarak öngörülmüştür. Bu hedef doğrultusunda, 1970 yılında; artan üretim, dağıtım ve tüketim miktarı ve hizmetin yaygınlaşması, kurumsal bir yapıyı zorunlu kılmış ve 1312 Sayılı Yasa ile TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) kurulmuştur.

1982 yılında Belediyeler ve Birliklerin bünyesindeki elektrik tesisleri 2705 Sayılı Yasa gereğince TEK'e devredilmiş ve böylece TEK tam olarak dikey

[10] Elektrik Mühendisleri Odası, **Türkiye'de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi ve Genel Üretim Bilgileri**, http://www.emo.org.tr/ekler/0082ac261d74f5a_ek.pdf, Erişim: 24.02.2014

[11] TEİAŞ, **Türkiye Elektrik İstatistikleri**, http://www.teias.gov.tr/istatistikler.aspx, Erişim: 24.02.2014

bütünleşik bir yapıya kavuşmuştur. Burada amaç, elektrik sektörünü mümkün olduğu kadar bir araya toplayarak özelleştirmeyi kolaylaştırıcı bir yapının oluşturulmasıdır.[12]

1984 yılında 3096 Sayılı Yasanın yürürlüğe konulmasıyla birlikte enerji sektöründeki TEK tekeli kaldırılmış, gerekli izinler alınarak kurulacak özel sektör şirketlerine de enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı konusunda olanaklar sağlanmıştır. Ayrıca yine bu yılda TEK'in hukuki bünyesi, organları ve yapısı düzenlenerek bir Kamu İktisadi Kuruluşu hüviyetine kavuşması sağlanmıştır. 1988–1992 yıllarında, elektrik sektöründe kendi yasal görev bölgesi içinde elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve ticaretini yapmak üzere yaklaşık on sermaye şirketi görevlendirilmiştir. Aynı zamanda imtiyazlı şirketlerden olan ÇEAŞ ve KEPEZ A.Ş.' ye de kendi görev bölgelerinde elektrik üretim, dağıtım ve ticaretini yapma görevi verilmiştir.[13]

Türkiye Elektrik Kurumu, kuruluşundan 23 yıl sonra çıkarılan 13.8.1993 gün ve 513 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ilgisi devam etmek üzere özelleştirme kapsamına alınmıştır. Bu düzenlemenin bir devamı olarak da Bakanlar Kurulunun 93/4789 Sayılı Kararı ile Kurum." Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş." (TEAŞ) ve " Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş." (TEDAŞ) adı altında iki ayrı İktisadi Devlet Teşekkülüne ayrılmıştır. Daha sonra, Bakanlar Kurulu'nun Resmi Gazetede yayımlanan 05.02.2001 tarih ve 2001/2026 sayılı kararı ile TEAŞ'ın; Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi

[12] TEİAŞ, **Elektrik Tarihi**, Elektronik Bülten, http://www.teias.gov.tr/eBulten/makaleler/2009/okulyeni2/tarih.html, Erişim: 24.02.2014

[13] F. H. Topçu, **Hidroelektrik Santrallarında Kamu ve Özel Sektörün Rolünün Değişimi ve Yarattığı Sorunlar, Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi**, Cilt 3, Sayı 1, 2011, s.227.

(TETAŞ) olarak üç ayrı İktisadi Devlet Teşekkülü olarak yeniden teşkilatlandırılması kararlaştırılmıştır. Bu karar doğrultusunda, TEİAŞ elektrik enerjisi iletimi, EÜAŞ üretimi ve TETAŞ da toptan satışı konusunda faaliyet yürütecek şekilde yapılandırılmıştır.

1994-1997 yılları arasında Yap-İşlet-Devret (YİD), Yap-İşlet (Yİ) ve İşletme Hakkı Devri (İHD) modelleri hakkında çıkarılan çeşitli kanunlarla kamunun kaynak yetersizliği nedeniyle gerçekleştiremediği bu alandaki yatırımların özel sektör tarafından gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.[14]

Enerji sektörünün yeniden yapılanmasına yönelik olarak 3 Mart 2001 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreye uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması amaçlanmıştır. Bu kanun, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı ve perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu faaliyetlerle ilişkili tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve yükümlülüklerini, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun kurulması ile çalışma usul ve esaslarını ve elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde izlenecek usulü kapsamakta idi.

[14] M. Karamustafaoğlu, **Elektrik Üretimi Pazarındaki Mevcut Sözleşmelerin Pazarın Rekabetçi Yapısı Üzerindeki Etkileri**, Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezi, 2006, s.30.

Son olarak, 30.03.2013 tarihli ve 28603 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Elektrik Piyasası Kanunu'nun amaç maddesi 03.03.2001 tarihli 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'ndaki şekliyle aynen korunmuş, elektrik piyasası faaliyetlerine üretim, iletim, dağıtım, toptan satış, perakende satış, ithalat, ve ihracatın yanında piyasa işletim faaliyeti de eklenmiştir. Piyasa işletim faaliyeti organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi ve bu piyasalarda gerçekleştirilen mali uzlaştırma işlemleri ile söz konusu faaliyetlere ilişkin diğer mali işlemler olarak bu Kanun'da tanımlanmış ve bu faaliyetin Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ) tarafından yürütüleceği öngörülmüştür.

Tablo 1.2. Türkiye'de Yakıt Cinsine Göre Mevcut Kurulu Güç Oranları ve Santral Sayıları[15]

Yakıt Cinsleri	**31.01.2014 İTİBARİYLE**		
	Kurulu Güç (MW)	**Katkı %**	**Santral Sayısı**
Fuel Oil + Asfaltit + Nafta + Motorin	708,3	1,1	21
Taş Kömürü + Linyit	8.515,2	13,2	20
İthal Kömür	3.912,6	3,1	7
Doğalgaz + LNG	20.247,7	31,5	221
Yenilenebilir + Atık	236,9	0,4	39
Çok Yakıtlılar Katı + Sıvı	661,1	1	8
Çok Yakıtlılar Sıvı + D.Gaz	4.365,8	6,8	45
Jeotermal	310,8	0,5	13
Hidrolik Barajlı	16.237,0	25,3	74
Hidrolik Akarsu	6.256,6	9,7	397
Rüzgar	2.815,6	4,4	74
TOPLAM	**64.267,70**	**100**	**919**

[15] TEİAŞ, **Türkiye Elektrik İstatistikleri**, http://www.teias.gov.tr/istatistikler.aspx, Erişim: 24.02.2014

1.2 Türkiye'de Mevcut Elektrik Piyasasının Yapısı

30.03.2013 tarihli ve 28603 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na göre Türkiye Elektrik Piyasası; üretim, iletim, dağıtım, piyasa işletimi, toptan satış, perakende satış, ithalat ve ihracat faaliyetleri ile bu faaliyetlere ilişkin iş ve işlemlerden oluşmaktadır.

Üretim, enerji kaynaklarının, elektrik üretim tesislerinde elektrik enerjisine dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Kanun'a göre üretim faaliyeti, lisansları kapsamında kamu ve özel sektör üretim şirketleri ile organize sanayi bölgesi tüzel kişiliği tarafından yürütülebilmektedir. Türkiye'de 31.01.2014 tarihi itibariyle işletmeye geçmiş toplam kurulu gücü 64.267,7 MW olan 919 adet elektrik üretim santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin bir kısmı Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) ve EÜAŞ'a bağlı ortaklıklar tarafından işletilmekte, bir kısmı Yİ, YİD ve İHD modeliyle piyasada faaliyet göstermekte ve bir kısmı da özel sektör tarafından işletilmektedir. (Tablo 1.3)

Tablo 1.3 Santral İşletmecisi Kuruluşlar ve Santral Sayıları[16]

Kuruluşlar	2013 YILI SONU			31.01.2014 İTİBARİYLE		
	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı
EÜAŞ	21.068,5	32,9	83	21.068,5	32,8	83
EÜAŞ'A BAĞLI ORTAKLIK SANTRALLARI	2.714,0	4,2	4	2.714,0	4,2	4
İŞLETME HAKKI DEVREDİLEN SANTRALLAR	937,5	1,5	52	937,5	1,5	52
YAP İŞLET SANTRALLARI	6.101,8	9,5	5	6.101,8	9,5	5
YAP İŞLET DEVRET SANTRALLARI	2.335,8	3,6	20	2.335,8	3,6	20
SERBEST ÜRETİM ŞİRKETLERİ	27.429,4	42,8	541	27.702,9	43,1	548
OTOPRODÜKTÖR SANTRALLARI	3.456,9	5,4	205	3.407,1	5,3	207
TOPLAM	**64.044,0**	**100**	**910**	**64.267,7**	**100**	**919**

1984 yılında kurulu güç toplamında %85 olan kamu payı 2012 yılında %43,4 seviyesine, 1984 yılında Türkiye toplam elektrik üretiminde %87,2 olan kamu payı 2012 yılında %37,8 seviyesine gerilerken buna paralel olarak da hem kurulu güç hem de toplam üretimde özel sektör payı artmıştır. 1995 yılından sonra sektörde kamu payı sürekli olarak azalırken özel sektör payı artmıştır.[17]

İletim, 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nda elektrik enerjisinin gerilim seviyesi 36 kV üzerindeki hatlar üzerinden nakli olarak tanımlanmıştır. Türkiye'de iletim faaliyeti TEİAŞ tarafından yürütülmektedir. TEİAŞ'a Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun 13.3.2003 tarihli kararıyla 49 yıl süreyle elektrik iletim faaliyeti göstermesi için iletim lisansı verilmiştir.

[16] TEİAŞ, http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/ Erişim: 25.02.2014
[17] TEİAŞ, **Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu**, 2013, s.13

Elektrik Piyasası Kanunu'na göre dağıtım, elektrik enerjisinin gerilim seviyesi 36 kV ve altındaki hatlar üzerinden nakli olarak tanımlanmıştır. Dağıtım faaliyeti, lisansı kapsamında dağıtım şirketi tarafından lisansında belirlenen bölgede yürütülmektedir. Dağıtım şirketleri, lisansında belirlenen bölgede dağıtım sistemini rekabet ortamına uygun şekilde işletmek, bu tesisleri yenilemek ve yeni yatırımlar yapmak, sayaçların okunması, bakımı ve işletilmesi hizmetlerinin yerine getirilmesinden sorumludur.

Elektrik dağıtım ve perakende satış sektöründe rekabete dayalı bir ortamın oluşturulması ve gerekli reformların yapılması amacıyla dağıtım bölgeleri baz alınarak kamu mülkiyetindeki elektrik işletmelerinin yeniden yapılandırılması ve elektrik enerjisi dağıtım hizmetlerinin özelleştirilmesine karar verilmiştir. TEDAŞ 02.04.2004 tarih ve 2004/22 sayılı Özelleştirme Yüksek Kurulu Kararı ile özelleştirme kapsam ve programına alınarak dağıtım bölgeleri yeniden belirlenmiş ve Türkiye 21 dağıtım bölgesine ayrılmıştır. (Şekil 1.1.) Son olarak Toroslar Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin özel sektöre devri ile tüm dağıtım şirketlerinin özelleştirmeleri tamamlanmış ve bu özelleştirmelerden 12,7 milyar dolar gelir elde edilmiştir.



Şekil 1.1 Türkiye Elektrik Dağıtım Bölgeleri Haritası[18]

Piyasa işletim faaliyeti 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun on birinci maddesinde "organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi ve bu piyasalarda gerçekleştirilen faaliyetlerin mali uzlaştırma işlemleri ile diğer mali işlemler" olarak tanımlanmıştır. Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi unvanı altında bir anonim şirketinin kurularak, bu şirketin piyasa işletim lisansı kapsamında işletilen organize toptan elektrik piyasalarının mali uzlaştırma işlemleri ile birlikte gerekli diğer mali işlemleri yürüteceği öngörülmüştür.

Toptan satış elektrik enerjisinin ve/veya kapasitesinin tekrar satışı için satışı şeklinde tanımlanabilir. Bu faaliyet, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından verilmiş ve yürürlükte olan toplam 168 adet tedarik lisansı sahibi şirket tarafından yürütülmektedir. Toptan ve perakende satış faaliyetleri, üretim şirketleri ile tedarik lisansı kapsamında kamu ve özel sektör tedarik şirketleri tarafından yürütülmektedir.

[18] TEDAŞ, **2012 yılı Faaliyet Raporu**, 2012, s.22.

Tedarik şirketleri, herhangi bir bölge sınırlaması olmaksızın serbest tüketicilere toptan veya perakende satış faaliyetinde bulunabilmektedirler. Serbest tüketici her yıl Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen elektrik enerjisi miktarından daha fazla tüketimi bulunduğu veya iletim sistemine doğrudan bağlı olan veya organize sanayi bölgesi tüzel kişiliğine haiz olduğu için tedarikçisini seçme hakkına sahip gerçek veya tüzel kişi olarak 6446 sayılı Kanun'da tanımlanmıştır. 2014 yılı için serbest tüketici olma limiti 23.01.2014 tarihli ve 4840 sayılı Kurul Kararı ile 4.500 kWh/yıl olarak belirlenmiştir.

Elektrik piyasasında uluslararası enterkonneksiyon şartı oluşmuş ülkelere elektrik enerjisinin ihracatı, tedarik lisansı sahibi şirketler ve üretim şirketleri tarafından, ithalatı ise sadece tedarik lisansı sahibi şirketler tarafından Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın uygun görüşü doğrultusunda 6446 sayılı Kanun ve ikincil mevzuatı uyarınca Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun onayıyla yapılabilmektedir.

Elektrik piyasasında lisanssız yürütülebilecek faaliyetler de 6446 sayılı Kanun'un on dördüncü maddesinde belirlenmiştir. Buna göre lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf faaliyetler şunlardır:

a) İmdat grupları ve iletim ya da dağıtım sistemiyle bağlantı tesis etmeyen üretim tesisleri

b) Kurulu gücü azami bir megavatlık yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri

c) Belediyelerin katı atık tesisleri ile arıtma tesis çamurlarının bertarafında kullanılmak üzere kurulan elektrik üretim tesisleri

d) Mikrokojenerasyon tesisleri ile Bakanlıkça belirlenecek verimlilik değerini sağlayan kojenerasyon tesislerinden Kurulca belirlenecek olan kategoride olanlar

e) Ürettiği enerjinin tamamını iletim veya dağıtım sistemine vermeden kullanan, üretimi ve tüketimi aynı ölçüm noktasında olan, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri.[19]

1.3 Türkiye'de Elektrik Arz Ve Talebi

Günümüzde ekonomik kalkınmanın en önemli parametrelerinden birisinin enerji arz güvenliği olduğu bugün artık tartışmasız bir gerçektir. Bununla birlikte, teknoloji ve bilim çağında elektrik enerjisi çok daha büyük bir öneme sahiptir. Elektrik enerjisi ekonomik olarak depolanamayan ve üretildiği anda tüketilmesi gereken, bu nedenle, arz-talep dengesinin sistem tarafından sürekli olarak, gerçek zamanlı korunması gereken bir üründür. Bu dengenin korunması ciddi bir planlama gerektirmektedir. Söz konusu dengenin sağlanabilmesi, sürekli olarak sistemde yeterli yedek kapasitenin tutulması, üretim, iletim ve dağıtımın anbean koordinasyonu ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca, elektrik enerjisi kalitesinin önemli parametrelerinden birisi olan sistem frekansı da arz-talep dengesi neticesinde belirlenmektedir.

Elektrik enerjisi sistemi planlamasında iki önemli unsur vardır. Birincisi, maksimum tüketimi karşılayacak üretim, iletim ve dağıtım kapasitesinin

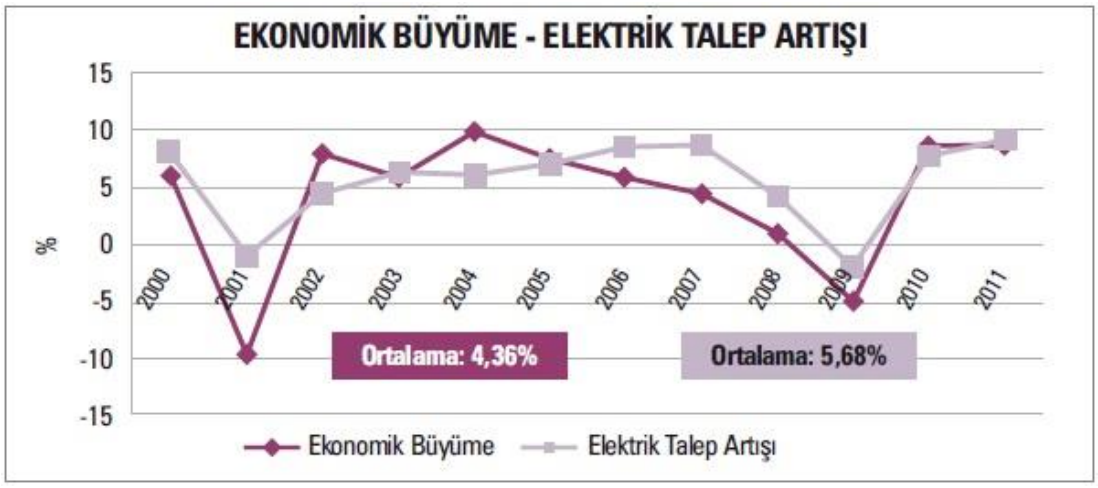
[19] 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu

bulundurulmasıdır. İkincisi ise sistemde meydana gelebilecek herhangi bir arızada, elektrik arzının devamlılığının sağlanabilmesi için yeterli üretim yedek kapasitesi, iletim ve dağıtım yedeği bulundurulmasıdır. Bu ise ancak doğru yük tahmininin yapılmasıyla mümkündür.[20]

Türkiye Elektrik Piyasası, dünyadaki en hızlı büyüyen elektrik piyasalarından biri olmayı sürdürmektedir. 2012 yılında 3.199 kWh'lik kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimiyle Türkiye, dünya ortalamasının (2.782 kWh) biraz üstünde, OECD ülkelerinin ortalamasının (8.486 kWh) ise oldukça altında bir elektrik tüketimine sahiptir. Ancak, Türkiye'de elektrik enerjisi tüketimindeki artış dünya ortalaması ve gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında çok yüksektir.[21]

Türkiye'de elektrik talebindeki artışın nüfus artışı veya yeni yerleşimlerden dolayı şebeke genişlemesinden ziyade ülkenin ekonomik gelişmesiyle orantılı olarak artacağı tahmin edilmektedir. Elektrik talebindeki artışın GSYH artışı ile yüksek bir korelasyon ile hareket ettiği bilinmekle birlikte, Türkiye'de son yıllarda elektrik enerjisi talebindeki ortalama artış GSYH artışının %1,3 kadar üzerinde seyretmektedir. İlerleyen yıllarda ekonomik büyümenin yanında elektrikli araç sayısının artması ve daha etkili enerji verimliliği politikalarının uygulanması ile ülkemizde elektrik enerjisi talebinde ekonomik büyümenin ağırlığının azalabileceği düşünülmektedir.

[20] H.Murat Polater, **Long Term Elektrical Supply-Demand Balance of Turkey**, Middle East Technical University, Electrical and Electronics Engineering, Master Thesis, 2013, s.4.
[21] İbid, s.5.



Şekil 1.2 Ekonomik büyüme ve elektrik talebi ortalama artış miktarları[22]

Tablo 1.4 2001-2012 Yılları Arası Elektrik Talebi ve Ekonomik Büyüme Artış Oranları[23]

Yıl	Elektrik Talebi (GWh)	Büyüme Oranı (%)
2001	126.871,30	
2002	132.552,60	4,48
2003	141.150,90	6,49
2004	150.017,50	6,28
2005	160.794,00	7,18
2006	174.637,30	8,61
2007	190.000,20	8,8
2008	198.085,18	4,26
2009	194.079,10	-2,02
2010	210.433,90	8,43
2011	230.306,00	8,82
2012	241.974,28	5,1

TEİAŞ verilerine göre, elektrik talebinin 2022 yılında yüksek ve düşük senaryolara göre sırasıyla 453 ve 378 milyar kWh seviyelerine ulaşması

[22] EPDK, **Enerji Yatırımcısı El Kitabı,** 2012, s.21
[23] A Plus Energy, **Turkish Electricity Market Long Term Price Forecasting Study**,2013, s.34.

beklenmektedir.[24] Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi + dış alım – dış satım) 2011 yılında %9,4 artarak 230,3 Milyar kWh, 2012 yılında ise %5,2 artış ile 242,4 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2012 yılında puant talep[25] 39.045 MW, minimum yük 13.922 MW olarak gerçekleşmiştir. 2012 yılında minimum yükün maksimum yüke oranı %36 olmuştur. Tablo 1.5 2003 – 2012 yılları arasında Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji tüketimini göstermektedir.

Tablo 1.5 2003 – 2012 Yılları Türkiye Elektrik Sistemi Puant Güç ve Enerji Tüketimi[26]

Yıllar	**Puant Güç Talebi (MW)**	**Artış (%)**	**Enerji Tüketimi (GWh)**	**Artış (%)**	**Min. Yük (MW)**
2003	21.729	3,4	141.151	6,5	9.270
2004	23.485	8,1	150.018	6,3	8.888
2005	25.174	7,2	160.794	7,2	10.120
2006	27.594	9,6	174.637	8,6	10.545
2007	29.249	6	190.000	8,8	11.100
2008	30.517	4,3	198.085	4,3	10.409
2009	29.870	-2,1	194.079	-2	11.123
2010	33.392	11,8	210.434	8,4	13.513
2011	36.122	8,2	230.306	9,4	14.822
2012	39.045	8,1	242.370	5,2	13.922

[24] TEİAŞ, **Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu**, 2013, s.19
[25] Puant Talep: Belirlenen bir dönemdeki (genellikle yıllık veya aylık) maksimum enerji talebinin güç cinsinden (MW) ifade ediliş şeklidir
[26] TEİAŞ, **Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu**, 2013, s.6.

İKİNCİ BÖLÜM

2. ELEKTRİK TALEBİ TAHMİN YÖNTEMLERİ

Elektrik talep tahminleri ve analizinin doğru bir şekilde yapılması ülkeler için hem bir ihtiyaç hem de zorunluluktur. Pek çok ülke iklim değişikliği veya hızlı sanayileşme ve teknolojik gelişmelerden dolayı artan elektrik talebi sonucunda elektrik arz sıkıntısı yaşamaktadır. Öyle ki Fransa ve İngiltere gibi pek çok ülke kurulması zahmetli olduğu halde, off-shore (kıyıdan uzak, denizde) rüzgar santralleri kurmak suretiyle elektrik enerjisi arzında çeşitliliği ve sürekliliği sağlamaya çalışmaktadırlar.

Elektrik fiyatları diğer emtialar gibi arz ve talebe göre belirlenmektedir. Eğer talep olduğundan düşük tahmin edilirse elektrik fiyatları artabilir ve mecburi elektrik kesintileri gibi pek çok sıkıntı ortaya çıkabilir. Bunun sonucu olarak ekonomik büyüme ve bireysel refah artışının sekteye uğraması gündeme gelebilir. Talebin olması gerekenin çok üzerinde tahmin edilmesi ve özellikle uzun vadeli yatırım kararlarının, bu şekilde belirlenmesi durumunda ise; yüksek miktardaki kapasitenin atıl hale gelmesi, yatırımlar için harcanan paranın ihtiyaç duyulan diğer alanlara tahsis edilememesi nedeniyle kaynak dağılımının yanlış yapılması ve kaynak israfı kaçınılmaz olur.

Uzun dönemli talep tahminleri gelecekteki üretim, iletim ve dağıtım hizmetlerinin planlanması ve geliştirilmesindeki ilk adımdır. Bu tahminlerin

sonuçlarına göre, tahmin edilen talebin en düşük maliyetle karşılanması için kaynakların etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bir elektrik sisteminin en önemli fonksiyonu büyük veya küçük ölçekteki tüm kullanıcılara elektriği en ekonomik ve en güvenilir şekilde sunmaktır. Elektrik sistemi işletmecilerinin (dağıtım ve iletim) bir diğer sorumluluğu ise müşterilerinin ihtiyaçlarını, yani taleplerini, fark etmek ve gerekli enerjiyi sunmaktır. Enerji kaynaklarının kısıtlılığı ve çevresel faktörler birlikte düşünüldüğünde, bugün elektrik enerjisinin daha etkin kullanılması gerektiği, daha verimli enerji santrallerinin ve enerji nakil hatlarının inşa edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Elektrik sistem planlamasının amacı müşterilerinin gelecekteki taleplerini en ekonomik, güvenilir ve kaliteli bir şekilde karşılayabilmektir. Bu nedenle, doğru elektrik talep tahmini etkin bir elektrik sistem planlaması için önemli rol oynamaktadır. Ancak, pek çok yılı kapsayan uzun vadede elektrik talebini doğru tahmin etmek oldukça zordur. Bu zorluk tahmin işleminin içerdiği belirsizliklerden kaynaklanmaktadır. Uzun vadeli elektrik talep tahminleri genellikle hatalıdır çünkü pik talep hava sıcaklığına oldukça bağlıdır, uzun vadeli hava tahminlerinin hata payı oldukça yüksektir, hava durum ve ekonomik verileri içeren bazı gerekli veriler yeterli sayıda bulunamayabilir, yeni elektrik üretim santralleri veya enerji nakil hatlarının yapımı uzun zaman alabilir ve bu tesisler pek çok nedenden ötürü zamanında işletmeye giremeyebilir. Dolayısıyla, uzun dönemde yapılan elektrik talep

tahminleri genellikle hatalıdır.[27] Önemli olan bu hatanın minimum seviyelere çekilebilmesidir.

Elektrik enerjisi talep tahmin yöntemleri iki geniş kategoriye ayrılabilir: Parametrik Yöntemler ve Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler. Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler ise yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, genetik algoritmalar, bulanık mantık ve uzman sistemler olarak altı sınıflara ayrılabilir. Parametrik Yöntemler yük talebini onu etkileyen faktörlere bir matematiksel model ile ilişkilendirmeye dayalıdır. Model parametreleri geçmiş yük verileri ve onu etkileyen faktörlerin geçmiş verileri ile istatistiksel teknikler kullanılarak tahmin edilir. Parametrik yük tahmin yöntemleri de kendi içinde üçe ayrılabilir: trend analizi, son kullanım (end-use) metodu ve ekonometrik modeller.[28]

2.1 Parametrik Yöntemler

2.1.1 Trend Analizi

Zaman serisi gözlem değerinin uzun zaman döneminde artma ya da azalma yönünde gösterdiği genel eğilime "trend" adı verilir. Trend doğrusal veya eğrisel olabilir. Ancak; trendin önemli bir özelliği her iki durumda da istikrarlı oluşudur. Trendin bulunmasının amacı, söz konusu seriyi mevsimlik ve konjektürel dalgalanmalarla düzensiz hareketlerin etkisinden arındırarak, sadece uzun dönemlik hareketlerin etkisi altındaki seri değerlerini ortaya çıkartmaktır. Trend uzun dönemli

[27] L.Ghods & M.Kalantar, **Different Methods of Long-Term Electric Load Demand Forecasting; A Comprehensive Review**, Iranian Journal of Electrical&Electronic Engineering, Cilt 7, No 4, 2011, s.249
[28] İbid, s.250.

bir eğilimi gösterdiğinden, trendi bulunacak zaman serisinin elden geldiğince fazla sayıda veriyi kapsaması, ancak bu veriler için aşırı değerlerin bulunmaması arzu edilir. Uygulamada en az 10–15 yıllık veriyle trend hesaplanır. Çünkü 5-6 yıllık çok kısa bir dönemde trend beliremez. Trend analizi geçmiş verilerle geleceğin tahmin edildiği bir yöntemdir. Bu yöntem geçmişteki hareket ve değişikliklere odaklanarak gelecekteki talebi tahmin eder. Trend analizinin avantajı kolay ve hızlı bir şekilde tahmin yapılabilmesidir. Bu yöntemin dezavantajı olarak ise tek bir sonuç üretmesi ve davranışın (trendin) neden bu şekilde olduğu konusunda fikir vermemesi söylenebilir. Trendin tahmini, En Küçük Kareler Yöntemi, elle çizim, hareketli ortalama ve yarıyıl ortalamalar yöntemi ile yapılabilir.[29]

Bu çalışmada en küçük kareler yöntemi kullanılarak analiz yapılmıştır. Bu nedenle en küçük kareler yönteminin ayrıntıları aşağıda anlatılmıştır.

A) En Küçük Kareler Yöntemi

Hayatın bazı alanlarında elde edilen veriler tablo halinde incelenir ve elde edilen bu verileri temsil eden matematiksel bir fonksiyon bulunmaya çalışılır. Genellikle bu verileri tam olarak uyan bir fonksiyon bulunamaz ve veri tablosuna en iyi uyan bir fonksiyon bulunur.

En Küçük Kareler yöntemi Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss tarafından 1795 yılında bulunmuştur. Bu yöntem, tıp, finans, mühendislik, ziraat,

[29] V.Yılmaz, **Enerji Talebi ve Tokat'ta Elektrik Enerjisi Talebi Üzerine Bir Uygulama**, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dali, Yüksek Lisans Tezi, 2010, s.84

biyoloji ve sosyoloji gibi çeşitli bilim dallarında çeşitli değişkenler arasındaki ilişkiler belirlenirken kullanılan en önemli araçlar arasındadır.

Bir çalışma sonucunda i = 1, 2, . . . , n için (x_i, y_i) verileri elde edilmiş olsun. Burada, her bir y_i nin x_i ye bağlı olarak değiştiği varsayılmaktadır. (x_i, y_i) düzlemde noktalar olarak düşünüldüğünde, çoğunlukla bu noktalar düzgün bir eğri üzerinde, yani, bilinen bir fonksiyonun grafiği üzerinde bulunmazlar. Ancak, yapılan ölçümlerin doğası gereği, her i = 1, 2, . . . , n için $y_i = f(x_i)$ olacak biçimde bir fonksiyonun var olduğu, ölçümlerde yapılan hata nedeniyle bu eşitliklerin bazıları veya hepsinin sağlanmadığı kabul edilebilir ve bu düşünceyle, ölçülen y_i değeri $f(x_i)$ için yaklaşık değer kabul edilerek bu yaklaşımdaki hatanın minimum olduğu f fonksiyonu belirlenmeye çalışılır. Bu amacı gerçekleştirmek için f fonksiyonunun bir takım parametrelere bağlı bir ifadesi bulunduğu varsayılıp eldeki veriler yardımıyla bu parametreler belirlenmeye çalışılır. Örneğin, f fonksiyonu

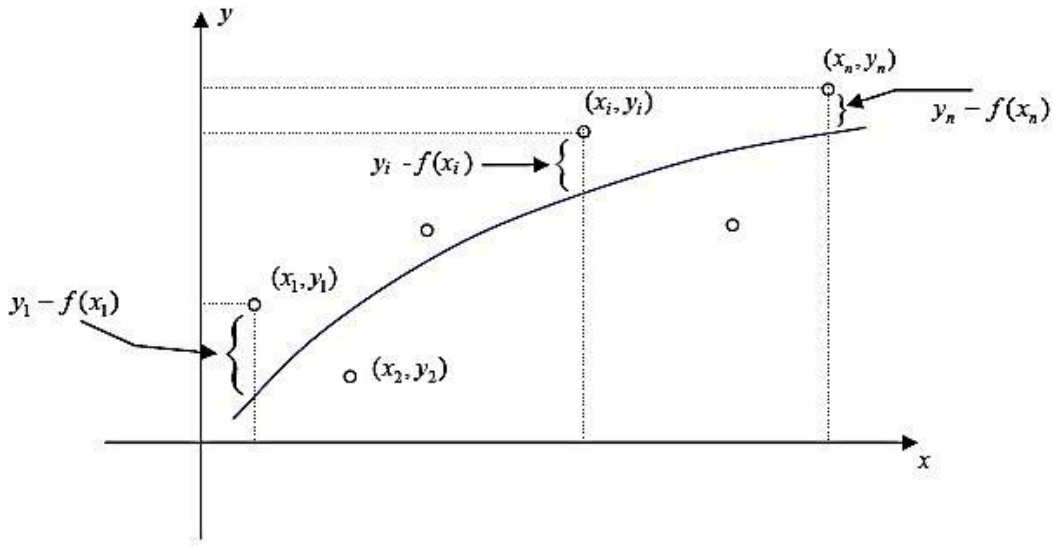
$y = f(x) = ax + b$

ifadesinde olduğu gibi bir doğrusal fonksiyon veya

$y = f(x) = ax^2 + bx + c$

ifadesinde olduğu gibi ikinci dereceden bir fonksiyon olabilir. Bu durumda belirlenmesi gereken parametreler a, b ve c'dir.

y_i değeri $f(x_i)$ için yaklaşık değer, $f(x_i) \approx y_i$, kabul edilince yapılan hata $y_i - f(x_i)$ olur.



Şekil 2.1 F(x) Fonksiyonun Grafiksel Gösterimi

En küçük kareler yönteminde aranan fonksiyon, ya da onun parametreleri, tüm artıkların [yi - f(xi)] kareleri toplamı olan eşitlik 2.1 ifadesini minimum yapacak şekilde belirlenir.

$$\sum_{i=1}^{n}(y_i - f(x_i))^2 = (y_1 - f(x_1))^2 + \cdots + (y_n - f(x_n))^2 \qquad (2.1)$$

Bu eşitlik yönteme neden en küçük kareler yöntemi dendiğini de açıklamaktadır.

Bir başka deyişle, en küçük kareler yönteminde zaman ve gözlem değerleri arasında fonksiyonel bir ilişki kurulur. Bu ilişki doğrusal veya eğrisel olabilir. Doğru veya eğrinin zaman serisinin grafiğine uygun olması ve

Yt: Gözlem Değerlerini

Yt*:Trend Değerlerini simgelemek üzere

$\sum (Yt - Yt^*)^2 = \min$

koşulunu sağlaması gerekir. Zaman serilerinde bağımsız değişken (X), gözlem değerleri ise yıllara bağlı olarak değiştiğinden bağımlı değişken (Y) durumundadır. Çeşitli fonksiyon tiplerine göre normal denklemler aşağıda gösterilmiştir.

a,b, … katsayıları normal denklemler yardımıyla bulunur.[30]

Doğrusal Fonksiyona ilişkin Normal Denklemler

$$\sum Yt = n.a + b\sum Xt \qquad (2.1)$$

$$\sum Xt.Yt = a\sum Xt + b\sum Xt^2 \qquad (2.2)$$

Parabolik Fonksiyona ilişkin Normal Denklemler

$$\sum Yt = n.a + b\sum Xt + c\sum Xt^2 \qquad (2.3)$$

$$\sum Xt.Yt = a\sum Xt + b\sum Xt^2 + c.\sum Xt^3 \qquad (2.4)$$

$$\sum Xt^2.Yt = a\sum Xt^2 + b\sum Xt^3 + c.\sum Xt^4 \qquad (2.5)$$

şeklindedir.

Burada;

Xt: Yılları

Yt: Gözlem değerlerini

n: Gözlem sayısını, simgeler.

Trend denklemine Xt değerleri uygulanarak teorik değerler bulunur. Teorik değerler değişkenin ölçü birimi cinsinden sonuç verir. Gerçek değerler ve teorik değerlen arasında şu bağıntı vardır;

$$\sum Yt = \sum Yt^* \qquad (2.6)$$

Bir zaman serisinin EKK yöntemiyle bulunan trend doğrusu veya eğrisi gözlem değerinin arasından geçer ve genellikle;

[30] İbid, s.85-87.

$$Yt \neq Yt^{*} \qquad (2.7)$$

durumu vardır. Gerçek değerler ile teorik değerle arasındaki farklara tahmin hataları denir. Trend değerlerinin standart hatası n≤30 veya n≥30 olmasına göre formüle edilir.[31]

Tablo 2.1. Trend Değerlerinin Standart Hata Formülasyonu

$n \geq 30\ ise$	$Sy = \frac{\sqrt{\sum(Yt - \overline{Yt})^2}}{n}$
$n \leq 30\ ise$	$Sy = \frac{\sqrt{\sum(Yt - \overline{Yt})^2}}{n-2}$
$n \leq 30\ ve\ Trend\ Parabolikse$	$Sy = \frac{\sqrt{\sum(Yt - \overline{Yt})^2}}{n-3}$

2.1.2 Son Kullanım (End-Use) Modelleri

Son kullanım yaklaşımı, enerji tüketimini son kullanıcılar hakkında detaylı bilgi içeren veriler, (yapılan uygulamalar, müşteri kullanımı, müşterilerin yaşları, evlerin büyüklükleri v.b) kullanarak tahmin etmeye çalışır. Müşteriler ve onlarla ilgili değişiklikler hakkındaki istatistiki bilgiler tahminin temellerini oluşturur. Bu modeller elektriğin mesken, ticari ve sanayi kullanımı gibi pek çok değişik sektördeki kullanımına odaklanır. Bu modellerin temel prensibi elektrik talebinin müşterilerinin aydınlanma ısınma ve soğutma talepleriyle ilgili olduğudur. Bu yöntemde, her bir sektöre ilişkin talep ayrı ayrı hesaplanarak, toplam talebe ulaşılmaktadır. Sektörel talepler, sektörün kendine özgü tüketim özelliklerine bağlı olarak geliştirilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır. Dolayısıyla son kullanım modelleri enerji talebini piyasadaki pek çok uygulamanın bir fonksiyonu olarak

[31] İbid.

açıklar. Aslında bu yaklaşım çok doğrudur. Ancak, kullanılan son kullanıcı verilerinin kalitesine ve miktarına oldukça duyarlıdır. Bu modelle yapılan tahminler daha az tarihsel veriye ihtiyaç duyarken müşteriler ve onların kullandıkları elektrikli aletler hakkında daha çok veriye ihtiyaç duyar. Bu modelin dezavantajlarından birisi elektrik enerjisi ile son kullanım arasında sabit bir ilişkiyi varsaymasıdır. Birkaç yıl için bu doğru olabilir ancak yirmi ya da daha fazla yıl için düşünüldüğünde, enerji verimliliği ile ilgili teknolojiler ve elektrik fiyatları hiç şüphesiz değişir ve bu ilişki sabit olmaktan çıkar.[32]

2.1.3 Ekonometrik Modeller

Ekonometrik yaklaşımda genel iktisat teorisi ve istatistik teknikleri birleştirilerek elektrik talep tahmininde kullanılır. Bu yaklaşım enerji tüketimi ile tüketimi etkileyen faktörler arasındaki ilişkiyi tahmin eder. İlişki en küçük kareler metodu veya zaman serileri kullanılarak tahmin edilir. Bu yöntem elektrik talebini etkileyen parametrelerin etkisini analiz ederek uygun bir elektrik talep modelinin geliştirilmesinde de kullanılır. Nitekim birçok araştırmacı, elektrik talebini ekonometrik yöntemlerle modelleme yoluna gitmiş ve bu çalışmalarda genellikle zaman serileri yaklaşımı kullanılmıştır. Ekonometrik yaklaşımın son kullanım metoduyla entegrasyonu son kullanım modelinde kullanılan formüllerde davranış bileşenlerini oluşturur. Ekonometrik modellerin avantajı gelecekteki elektrik talebinin seviyesi ile ilgili detaylı bilgi sunması, gelecekteki elektrik talebinin neden arttığını, ve bu talebin diğer tüm faktörlerden nasıl etkilendiğini açıklayabilmesidir. Ayrıca ekonometrik modeller, tek veya çok değişkenli kurulabileceği gibi bir veya

[32] L. Ghods & M. Kalantar, s.250

birden çok denklemli biçimde de kurulabilir. Bu modeller kullanıcıya oldukça esneklik sağlar.

Ekonometrik modellemede amaç, aynı anda bütün regresyon eşitliklerinin çözümüne ulaşmak ve modelin parametrelerini saptamaktır. Bu durumda, tahmini yapılan değişkeni etkileyen çok sayıdaki bağımsız değişken arasındaki karmaşık etkileşimleri ortaya koymak için, kaçınılmaz olarak pek çok eşitliğe ihtiyaç duyulacaktır. İşte bu nedenle ekonometrik modeller daha doğru tahmin sonuçları üretebilmektedir ancak çoğunlukla güçlü teknik uzmanlığa ihtiyaç duyan karmaşık teknikler olma eğiliminde olmaları da bu modellerin en önemli dezavantajı olarak sayılabilir.

2.2 Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler

Yapay zekâ, insan zekâsına özgü olan, algılama, öğrenme, çoğul kavramları bağlama, düşünme, fikir yürütme, sorun çözme, iletişim kurma, çıkarım yapma ve karar verme gibi yüksek bilişsel fonksiyonları veya otonom davranışları sergilemesi beklenen yapay bir işletim sistemi olarak tanımlanabilir. Bu sistem aynı zamanda düşüncelerinden tepkiler üretebilmeli ve bu tepkileri fiziksel olarak dışa vurabilmelidir.

Daha önce belirtildiği üzere, Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, genetik algoritmalar, uzman sistemler ve bulanık mantık olarak alt sınıflara ayrılabilir.

2.2.1 Yapay Sinir Ağları

Yapılan birçok çalışma geleceği tahminde, yapay sinir ağlarının (YSA) en az geleneksel metotlar kadar, hatta daha iyi neticeler verdiğini göstermiştir. YSA'nın özellikle doğrusal olmayan zaman serilerinde gösterdiği başarı, bir tahmin aracı olarak tercih edilmesini sağlamıştır. YSA'nın geleceği tahmin için kullanıldığı alanlardan biri de elektrik enerjisi talep tahminidir. [33]

İnsan beyin fonksiyonundan esinlenen yapay sinir ağları (YSA), deneme yolu ile öğrenme ve genelleştirme yapabilmektedir. YSA'nın kullanıldığı önemli alanlardan biri de geleceği tahmindir. YSA, veriler arasındaki bilinmeyen ve fark edilmesi güç ilişkileri ortaya çıkartabilir. YSA doğrusal değildir. Doğrusal modeller, önemli detayları anlayabildikleri ve açıklayabildikleri takdirde avantajlı olabilirler. Ancak ilgilenilen problemin temelindeki ilişki doğrusal olmadığı durumlarda doğrusal modeller uygun değildir. YSA, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan, herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan modellemeyi sağlayabilmektedir. Ağa, girdi bilgileri ve bu girdilere karşılık gelen çıktı bilgileri verilmekte ve ağın girdi-çıktı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanmakta, böylece ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Öğreticili öğrenme olarak adlandırılan bu yöntem genelde tercih edilen bir yöntemdir.[34]

[33] C. Hamzaçebi, F. Kutay, **Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini**, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, No:3, 2004, s.227-233.
[34] İbid.

Şekil 2.2' de gösterildiği gibi yapay sinir ağlarının genel çalışma prensibi, bir girdi setini (örnekleri) alarak onları çıktı setine çevirmek olarak açıklanabilir. Bunun için ağın kendisine gösterilen girdiler için doğru çıktıları üretecek hale gelmesi (yani eğitilmesi) gerekmektedir. Ağa gösterilecek örnekler öncelikle bir vektör haline getirilir. Bu vektör ağa gösterilir ve ağ bu vektör için gerekli çıktı vektörünü üretir. Ağın parametre değerleri doğru çıktıyı üretecek şekilde düzenlenir. Girdi vektörü, haftanın günlerini gösteren sayısal (nümerik) değerler, bir resmin gri tonları, bir parmak izini gösteren nümerik değerler, borsada bir kağıdın haftalık veya günlük değerleri, bir ürünün satış miktarı vb. gibi değişik olayları gösteren nümerik değerlerden oluşan vektörler olabilirler. Benzer şekilde çıktı vektörü de girdi vektörünün sınıfını gösterebilir. Bir değerin tahmin edilmesi olabilir. Bir resmin gri tonları olabilir. Girdi ve çıktı vektörlerinin tasarımı ağı geliştiren kişi tarafından belirlenir ve örnekler (girdiler) belirlenen formatta toplanarak eğitim esnasında ağa gösterilirler.[35]

Girdi Vektörü $X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, ...)^T$

Çıktı Vektörü $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, \ldots)^T$



Şekil 2.2 Yapay Sinir Ağı Çalışma Prensibi

Burada belirtilmesi gereken husus; bir yapay sinir ağı, herhangi bir girdi vektörünü çıktı vektörüne nasıl dönüştürdüğü konusunda bir bilgi vermez. Mühendislik açısından bakıldığında yapay sinir ağları "Kara Kutu" gibi

[35] M, Pınarbaşı, **Elektrik Enerjisi Sistemlerinde Talep Tahmin Yöntemleri ve Yapay Sinir Ağları Uygulaması**, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2009, s. 52-53.

görülebilirler. Kara kutu, dışarıdan bilgileri alıp, dışarıya ürettiği çıktıları vermektedir. İçeride neler olduğu bu çıktıların nasıl üretildiği ise bilinmemektedir. Diğer bir deyişle, yapay sinir ağının sonuçları nasıl oluşturduğunu açıklama yeteneği yoktur. Bu durum ağa olan güveni sarsmakla birlikte başarılı uygulamalar yapay sinir ağlarına olan ilgiyi sürekli artırmaktadır.[36]

2.2.2 Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümünde kullanılan güncel ve güçlü bir yöntemdir. Bu yaklaşımın temelleri İstatiksel Öğrenme Teorisine dayanmaktadır. Daha önceleri örüntü tanıma ve sınıflandırma problemleri için kullanılan yöntem daha sonra regresyon problemlerinin çözümü için kullanılmıştır. Girdi uzayında karmaşık fonksiyonlar tanımlamaya çalışan yapay sinir ağlarının aksine destek vektör makineleri, Kernel fonksiyonlarını kullanarak verileri yüksek boyutlu uzaya doğrusal olmayan haritalama yapar. Daha sonra destek vektör makineleri bu yeni uzayda basit karar sınırları oluşturmak için basit doğrusal fonksiyonlar kullanır. Yapay sinir ağlarındaki uygun ağ mimarisini seçme problemi bu yöntemde destek vektör makineleri için uygun Kernel fonksiyonunu seçmeye dönüşür.[37] Ayrıca, pek çok geleneksel sinir ağı modellerindeki deneysel risk minimizasyonu prensibinden ziyade destek vektör makinelerindeki temel prensip yapısal risk minimizasyonudur.[38]

---

[36] İbid.

[37] E.A. Feinberg, D. Genethliou, **Applied Mathematics for Restructured Electric Power Systems: Optimization, Control, and Computational Intelligence Chapter 12: Load Forecasting**, Spinger, 2005, s. 269-285.

[38] L. Ghods ve M. Kalantar, s.254.

2.2.3 Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer bir şekilde doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar. Genetik algoritmaların, tasarım, mekanik öğrenme, fonksiyon optimizasyonu ve hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Genetik algoritmalar geleneksel optimizasyon yöntemlerinin aksine, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar ve olasılık kurallarına göre çalışırken yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Bu algoritmalar, çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tarayarak etkin arama yapar ve çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar. Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan populasyonu aynı anda incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır.[39]

Genetik algoritma yaklaşımı uzun dönem elektrik tüketim tahmininde kullanılabilmektedir. Ampirik sonuçlar küçük hata oranı ile başarılı sonuçlar vermektedir. Pek çok problem için güçlü bir stokastik arama algoritması olmasından dolayı genetik algoritmalar üzerinde araştırmacıların ilgisi son yıllarda artmıştır.

2.2.4 Uzman Sistemler

Uzman sistemler (US), belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere, o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler

[39] G.G. Emel & Ç. Taşkın, **Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları**, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 21, Sayı 1, 2002, s.130.

getirebilen bilgisayar programlarıdır. İyi tasarlanmış sistemler belirli problemlerin çözümünde, uzman insanların düşünme metodolojilerini taklit ederler. Sistemin bir veya daha fazla uzmanın bilgilerini barındırmasından dolayı uzman sistem adını almıştır.

US'ler, modern bilgi sistemleri olmasına rağmen, karar verme kurallarının çok açık ve bilginin güvenilir olduğu problemlerde başarı ile uygulanabilmektedir. Son yıllarda problemlerin çözümünde bulanık mantık ve YSA gibi yöntemlerle beraber kullanılmaktadırlar. US'ler, bilgisayar destekli tasarımdan, hastalık teşhisine, arıza ve üretim hatalarının tespitinden, endüstriyel robotlara, iş ve süreç planlamadan, ekonomik analizlere, askeri uygulamalardan uzay çalışmalarına kadar birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır.[40]

Yapay zeka tabanlı yöntemlerden sonuncusu olan "bulanık mantık" bu tez çalışmasında kullanılan yöntemlerden birisi olduğu için bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

2.3 Elektrik Talep Tahminine İlişkin Yapılan Çalışmalar

2.3.1 Dünya'da Elektrik Talep Tahminine İlişkin Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda enerji tüketimi; elektrik tüketimi, petrol tüketimi gibi alt bileşenlerine ayrılarak gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) ve/veya ekonomik büyüme ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Bu ilişkiyi inceleyen bazı araştırmalar aşağıda özetlenmiştir.

[40] F. Şener, **Yük Tahmin Yöntemleri ve Ankara Merkez Metropol Alan İçin Regresyon Analizi Yöntemi Kullanılarak Uygulanması**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2005, s.26-43.

Ghosh 2002 yılındaki çalışmasında[41] Hindistan için 1950-1997 yılları arasında ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi arasındaki ilişkiyi incelemiş ve çalışma sonucunda ekonomik büyümeden elektrik tüketimine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Shiu ve Lam 2004 yılında yapmış oldukları çalışmada[42] 1971-2000 yılları arasında Çin'de elektrik tüketiminden GSYH'ya doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulmuşlardır.

Jumbe 2004 yılındaki çalışmasında[43] Malawi'de1970-1999 yılları arasındaki elektrik tüketimi ile GSYH ilişkisini incelemiş ve çalışmanın sonucunda iki yönlü nedensellik ilişkisi bulmuştur. Ancak, tarım dışı GSYH ile elektrik tüketimi ilişkisini incelediğinde, GSYH'dan elektrik tüketimine tek yönlü nedenselliğin varlığı tespit edilmiştir.

Rufael 2006 yılındaki çalışmasında[44] toplam 17 Afrika ülkesinin 1971-2001 yılları arasındaki elektrik tüketimini ve GSYH ilişkisini sınır testi yaklaşımı ile incelemiş ve 9 ülke için eş bütünleşme ilişkisi olduğu, 12 ülke için ise Granger nedensellik ilişkisi olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Bunlardan 6 tanesinde

[41] S. Ghosh, **Electricity Consumption and Economic Growth in India**, Energy Policy, Cilt 30, 2002, 125-129.
[42] A. Shiu, ve P. L. Lam, **Electricity Consumption and Economic Growth in China**, Energy Policy, 32, 2004, 47-54.
[43] C. B. L. Jumbe, **Cointegration and Causality Between Electricity Consumption and GSYH: Empricial Evidence From Malawi**, Energy Economics ,26, 2004, 61-68.
[44] Y. W. Rufael, **Electricity Consumption and Economic Growth : A Time Series Experience For 17 African Countries**, Energy Policy, 34(10), 2006, 1106-1114.

GSYH'dan elektrik tüketimine, 3 tanesinde elektrik tüketiminden GSYH'ya nedensellik ilişkisi bulunurken, 3 ülkede de iki yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur.

Mozumder ve Marathe Bangladeş için 1971-1999 yılları arasını kapsayan 2007 tarihli çalışmalarında[45] kişi başı GSYH ile kişi başı elektrik tüketimi ilişkisini incelemişler ve GSYH'dan elektrik tüketimine doğru tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulmuşlardır.

2.3.2 Türkiye'de Elektrik Talep Tahminine İlişkin Yapılan Çalışmalar

Son yıllarda Türkiye elektrik talep tahminini konu edinen birçok çalışma yapılmıştır. Birçok farklı talep tahmin yönteminin kullanıldığı çalışmalara ilişkin bilgilere aşağıda yer verilmiştir.

Bakırtaş ve arkadaşları 2000 yılında yaptıkları çalışmada[46] elektrik talebi ve gelir arasındaki ilişkiyi incelemiş ve ARMA modelini kullanarak 1997-2010 yılları için kişi başı elektrik tüketimi tahmininde bulunmuşlardır. Modelde 1962-1996 yılları Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH), nüfus, elektrik tüketimi ve elektrik fiyatı kullanılmıştır. Çalışmada elektrik talebinin fiyat esnekliğinin çok düşük olduğu ortaya konmuş ve elektrik tüketiminin giderek artan oranlarda büyümeye devam edeceği sonucuna ulaşılmıştır.

---

[45] P. Mozumder, ve A. Marathe, **Causality Relationship Between Electricity Consumption and GSYH in Bangladesh**, Energy Policy, 35(1), 2007, 395-402.

[46] T. Bakırtaş, S. Karbuz ve M. Bildirici, **An Econometric Analysis of Electricity Demand in Turkey** METU Studies in Development, 27, (1-2), 2000, s.23-34.

Hamzaçebi ve Kutay 2004 yılında yaptıkları çalışmada[47] yapay sinir ağları (YSA) ile yapılan elektrik talep tahminlerini Box-Jenkins ve regresyon yöntemleri ile yapılan elektrik talep tahminleri ile karşılaştırmış ve YSA ile 2003-2010 yılları için elektrik talep tahmininde bulunmuşlardır. Çalışmada 1970-2002 yıllarına ilişkin nüfus ve elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda YSA'nın elektrik talep tahmininde oldukça iyi sonuçlar verdiğini, fakat sahip olduğu kara kutu özelliği nedeniyle elektrik talep tahminlerinde YSA kullanılması durumunda geleneksel yöntemlerin tahmini desteklemede yardımcı olarak kullanılması gerektiğine ulaşılmıştır.

Yumurtacı ve Asmaz 2004 yılında yaptıkları çalışmada[48] ortalama artış yüzdeleri yöntemini kullanarak 2050 yılı nüfus, kişi başı elektrik tüketimi ve elektrik tüketim talebini tahmin etmişlerdir. Çalışmada veri olarak 1980-2002 yıllarına ilişkin nüfus, kişi başı elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır.

Öztürk ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmada[49] genetik algoritma (GA) ile 2002-2025 yılları için sanayi elektrik tüketimi ve toplam elektrik tüketimini tahmin etmişlerdir. Çalışmada iki doğrusal olmayan GA modelinde 1980-2001 yıllarına ilişkin GSMH, nüfus, ithalat, ihracat ve elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Çalışmada, GA modelleri ile elde edilen elektrik talep tahminlerinin,

[47] C. Hamzaçebi ve F. Kutay.
[48] Z. Yumurtacı ve E. Asmaz, **Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050,** Energy Sources 26, 2004, s.1157–1164.
[49] H. K. Öztürk, H. Ceylan, O. E. Canyurt ve A. Hepbaşlı, **Electricity estimation using genetic algorithm approach: A case study of Turkey,** Energy, Cilt. 30, No. 7, 2005, s.1003-1012.

TEİAŞ tarafından MAED kullanılarak yapılan elektrik talep tahminlerinden çok daha düşük hata oranlarına sahip olduğu ortaya konmuştur.

Öztürk ve Ceylan. 2005 yılında yaptıkları çalışmada[50] genetik algoritma (GA) ile 2020 yılı sanayi elektrik tüketimi ve toplam elektrik tüketimini yüksek ve düşük senaryo olmak üzere tahmin etmişlerdir. Çalışmada GA modeli ile 1980-2003 yıllarına ilişkin GSMH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca ihracat ve ithalat verilerinin modele dahil edilmesinin modelin performansını arttırdığı ortaya konmuştur.

Topallı ve arkadaşları 2006 yılında yaptıkları çalışmada[51] 2001-2002 saatlik elektrik talebini tahmin etmek üzere öğrenme süreci geliştirilmiş bir YSA modeli ortaya koymuşlardır. Ayrıca modelin etkinliğini karşılaştırmak için bir ARMA modeli oluşturulmuştur. Modellerde veri olarak 2001-2002 İstanbul saatlik elektrik tüketimi ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda YSA modelinin özellikle tatil günleri olmak üzere daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Geliştirilen modelin kısa dönemli elektrik talep tahminlerinde kullanın klasik yaklaşımların yerine kullanılabileceği belirtilmiştir.

[50] H.K. Öztürk ve H.Ceylan, **Forecasting total and industrial sector electricity demand based on genetic algorithm approach: Turkey case study**, International Journal of Energy Research, Cilt 29, No. 9, 2005, s.829-840.

[51] A. K. Topallı, İ. Erkmen ve İ. Topallı, **Intelligent Short-Term Load Forecasting in Turkey,** Electrical Power and Energy Systems, 28, 2006, s.437-447.

Akay ve Atak 2007 yılında yaptıkları çalışmada[52] gri tahmin yöntemini kullanarak 2006-2015 yılları için sanayi elektrik tüketimi ve elektrik tüketimi talep tahmininde bulunmuşlardır. Modelde 1970-2004 yıllarına ilişkin sanayi elektrik tüketimi ve elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Model sonucunda ortaya çıkan tahminlerin TEİAŞ tarafından MAED kullanılarak yapılan elektrik talep tahminlerinden çok daha düşük hata oranlarına sahip olduğu ortaya konmuştur.

Erdoğdu 2007 yılında yaptığı çalışmada[53] Türkiye elektrik piyasası için fiyat ve gelir esnekliğini tahmin ederek düzenlemeye gerek olup olmadığını araştırmış ve ARIMA modeli aracılığıyla 2005-2014 yılları için elektrik talep tahmininde bulunmuştur. Fiyat ve gelir esnekliğine ilişkin modelde 1984-2004 yılları arasında çeyreklik bazda elektrik fiyatı ve kişi başı GSYH; elektrik tüketim tahmini modelinde ise 1923-2004 yıları arasında elektrik tüketimi değerleri kullanılmıştır. İlk modele ilişkin fiyat ve gelir esnekliğinin düşük olduğu, bu nedenle düzenlemeye ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılırken, elektrik tüketim tahminine ilişkin modelde ortaya çıkan tahminlerin TEİAŞ tarafından MAED kullanılarak yapılan elektrik talep tahminlerinden çok daha düşük hata oranlarına sahip olduğu ortaya konmuş, olması gerekenden yüksek belirlenen yıllık elektrik tüketim tahminlerinin enerji politikaları ve elektrik piyasasını olumsuz etkileyeceği belirtilmiştir.

[52] D. Akay ve M.Atak, **Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey,** Energy 32(9), 2007, s.1670-1675.
[53] E. Erdogdu, **Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey,** Energy Policy, Vol. 35, No. 2, 2007, s.1129-1146.

Hamzaçebi 2007 yılında yaptığı çalışmada[54] YSA kullanarak 2003-2020 yıllarına ilişkin grup bazında elektrik tüketim tahmininde bulunmuştur. Modelde 1970-2004 yılları sanayi, konut, tarım ve taşıma elektrik tüketim değerleri kullanılmıştır. Tahmin sonuçlarının TEİAŞ tarafından MAED kullanılarak yapılan elektrik talep tahminlerinden çok daha düşük hata oranlarına sahip olduğu ortaya konmuştur.

Yüksek 2008 yılında yaptığı çalışmada[55] ortalama artış oranı kullanarak 2010, 2015 ve 2020 yılları için 8 farklı senaryo geliştirerek elektrik tüketim tahmininde bulunmuştur. Modelde literatürde yer alan çalışmalarda öngörülen nüfus ve elektrik tüketim artış oranlarının geometrik ortalamaları kullanılmıştır.

Bilgili 2009 yılında yaptığı çalışmada[56] YSA, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizini kullanarak 2008-2012 elektrik tüketimini yüksek ve düşük senaryo olmak üzere tahmin etmiştir. Çalışmada 1990-2007 yıllarına ilişkin kurulu güç, elektrik üretimi, nüfus, abone sayısı, elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Tahmin sonuçları Hamzaçebi'nin 2007 yılında yaptığı çalışma, Erdoğdu'nun 2007 yılında yaptığı çalışma ve TEİAŞ tarafından 2008 yılında MAED kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

[54] C.Hamzaçebi, **Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases,** Energy Policy, Cilt.35, No. 3, 2007, s.2009-2016.
[55] Ö. Yüksek, **Reevaluation of Turkey's hydropower potential and electric energy demand,** Energy Policy, Cilt 36, No. 9, 2008, s.3374–3382.
[56] M. Bilgili, **Estimation of Net Electricity Consumption of Turkey**, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29, 2, 2009, s.89-98.

Kavaklıoğlu ve ark. 2009 yılında yaptıkları çalışmada[57] YSA kullanarak 2007-2027 yılları için elektrik tüketim tahmininde bulunmuşlardır. Modelde 1975-2006 yıllarına ilişkin GSMH, nüfus, ithalat, ihracat ve elektrik tüketim verileri kullanılmıştır.

Toksarı 2009 yılında yaptığı çalışmada[58] karınca kolonisi optimizasyonu için doğrusal ve ikinci dereceden modeller oluşturularak 2007-2025 yılları için elektrik üretim ve tüketim tahmininde bulunmuştur. Modelde 1975-2006 yıllarına ilişkin GSMH, nüfus, ithalat, ihracat, elektrik üretimi ve elektrik tüketim verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda doğrusal ve ikinci dereceden karınca kolonisi optimizasyonun elektrik talep tahmininde kullanılabileceği, fakat ikinci dereceden karınca kolonisi optimizasyonun ekonomik göstergelerdeki dalgalanmalara daha iyi uyum sağladığı görülmüştür.

Küçükali ve Barış 2010 yılında yaptıkları çalışmada[59] bulanık mantık (BM) kullanarak 2009-2014 yılları için elektrik tüketim tahmininde bulunmuşlardır. Modelde 1980-2009 yıllarına ilişkin Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYH) verileri kullanılmıştır. Modelin etkinliğini karşılaştırmak için bir regresyon modeli oluşturulmuştur. Model sonucunda elde edilen elektrik talep tahmini regresyon analiz elektrik talep tahmini ve TEİAŞ tarafından MAED kullanılarak yapılan elektrik talep tahmini ile karşılaştırılmıştır.

---

[57] K. Kavaklıoğlu, H. Ceylan, H. K. Öztürk ve O. E. Canyurt**, Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks,** Energy Conservation and Management Cilt 50, No. 11, 2009, s.2719-2727

[58] M Duran Toksarı, **Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey,** Energy Policy 37 (3), 2009, s.1181–1187.

[59] S. Küçükali ve K. Barış, **Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach,** Energy Policy 38, 2010, s.2438–2445.

Altınay 2010 yılında yaptığı çalışmada[60] mevsimsel ARIMA modelini kullanarak 2009 yılına ilişkin aylık elektrik tüketim tahmininde bulunmuştur. Modelde veri olarak 1995-2008 yıllarına ilişkin aylık tüketim değerleri kullanılmıştır.

Küçükdeniz 2010 yılında yaptığı çalışmada[61] destek vektör makineleri (DVM) kullanarak 2009-2025 elektrik tüketimini ve kayıp-kaçak miktarını tahmin etmiştir. Çalışmada 1970-2004 yıllarına ilişkin, elektrik tüketimi ve kayıp-kaçak verileri kullanılmıştır. Tahmin sonuçları Hamzaçebi tarafından 2007 yılında yapılan çalışma, Akay ve Atak tarafından 2007 yılında yapılan çalışma ve Erdoğdu tarafından 2007 yılında yapılan çalışma ve TEİAŞ tarafından 2008 yılında MAED kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Demirel ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmada[62] adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi ve ARMA tahmin yöntemlerini kullanarak 2006-2010 yıllarına ilişkin elektrik talep tahmininde bulunmuşlardır. Çalışmada 1970-2007 yıllarına ilişkin GSMH, elektrik üretimi, kurulu güç, nüfus ve elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Modeller sonucunda oluşan talep tahminleri TEİAŞ tarafından 2008 yılında MAED kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen tahmin

[60] G. Altınay, **Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü**, Enerji, Piyasa ve Düzenleme 1, 2010, s.1-23.
[61] T. Küçükdeniz, **Long Term Electricity Demand Forecasting: An Alternative Approach With Support Vector Machines,** Istanbul Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 1, 2010, s.45-53.
[62] Ö. Demirel, A. Kakıllı ve M.Tektaş, **Anfis ve Arma Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini** Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi 25-3, 2010, s.601-610.

değerleri ile karşılaştırılmış, adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sisteminin en iyi sonuçları verdiği gözlenmiştir.

Yiğit 2011 yılında yaptığı çalışmada[63] GA yöntemini kullanarak doğrusal ve karesel modeller için 2010-2020 yıllarına ilişkin elektrik talep tahmininde bulunmuştur. Modelde 1979-2009 yıllarına ilişkin GSMH, elektrik üretimi, kurulu güç, nüfus ve elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Tahmin sonuçları Hamzaçebi tarafından 2007 yılında yapılan çalışma, Erdoğdu tarafından 2007 yılında yapılan çalışma ve TEİAŞ tarafından MAED kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada en iyi sonuçları doğrusal ve karesel GA kullanılarak oluşturulan modellerin verdiği gözlenmiştir.

Dilaver ve Hunt tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada[64] yapısal zaman serisi analizi kullanılarak 2009-2020 yıllarına ilişkin sanayi elektrik talebini yüksek ve düşük senaryolar için tahmin etmişlerdir. Modelde veri olarak 1960-2008 yıllarına ilişkin sanayi elektrik tüketimi, sanayi katma değer endeksi, sanayi elektrik fiyatı kullanılmıştır.

Dilaver ve Hunt tarafından 2011 yılında yapılan bir diğer çalışmada[65] zaman serisi analizi kullanılarak 2009-2020 yıllarına ilişkin mesken elektrik talebini yüksek ve düşük senaryolar için tahmin etmişlerdir. Modelde veri olarak 1960-2008 yıllarına

[63] V. Yiğit, **Genetik Algoritma ile Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2020 Yılına Kadar Tahmini**, International Journal of Engineering Research and Development, 3-2, 2011, s.37-41.
[64] Z.Dilaver ve L.C. Hunt, **Industrial Electricity Demand for Turkey: A Structural Time Series Analysis Energy Economics,** 33, 2011, s.426–436.
[65] Z. Dilaver ve L.C. Hunt, **Modelling and Forecasting Turkish residential Electricity Demand**, Energy Policy Energy Policy, Cilt 39, 2011, s.3117-3127.

ilişkin mesken elektrik tüketimi, hane halkı harcaması ve mesken elektrik fiyatı kullanılmıştır.

Dilaver ve Hunt tarafından 2011 yılında yapılan bir diğer çalışmada[66] yapısal zaman serisi analizi kullanılarak elektrik talebini yüksek ve düşük senaryolar için tahmin etmişlerdir. Modelde veri olarak 1960-2008 yıllarına ilişkin elektrik tüketimi, GSMH ve elektrik fiyatı kullanılmıştır. Tahmin sonuçları Hamzaçebi, tarafından 2007 yılında yapılan çalışma, Erdoğdu tarafından 2007 yılında yapılan çalışma, Öztürk ve Ceylan tarafından 2005 yılında yapılan çalışma, Kavaklıoğlu ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışma ve Akay ve Atak tarafından 2007 yılında yapılan çalışma sonucunda elde edilen tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Kavaklıoğlu tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada[67] destek vektör makineleri kullanılarak 2007-2026 yıllarına ilişkin elektrik talebini tahmin etmiştir. Modelde veri olarak 1975-2006 yıllarına ilişkin GSMH, nüfus, ithalat, ihracat, elektrik tüketimi kullanılmıştır.

Kıran ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada[68] yapay arı kolonisi ve kısmi sürü optimizasyonu yöntemleri için doğrusal ve ikinci dereceden modeller oluşturularak 2007-2025 yıllarına ilişkin elektrik talep tahmininde bulunmuştur. Modelde veri olarak 1979-2006 yıllarına ilişkin GSMH, nüfus, ithalat, ihracat ve

[66] Z.Dilaver ve L. C. Hunt, **Turkish Aggregate Electricity Demand: An Outlook to 2020,** Energy 36, 2011, s.6686-6696.
[67] K. Kavaklıoğlu, **Modeling and Prediction of Turkey's Electricity Consumption Using Support Vector Regression,** Applied Energy 88-1, 2011, s.368–375.
[68] M.S. Kıran, E.Özceylan, Mesut Gündüz ve T.Paksoy, **Swarm Intelligence Approaches to Estimate Electricity Energy Demand in Turkey**, Knowledge-Based Systems 36, 2012, s.93–103.

elektrik tüketimi kullanılmıştır. Ayrıca modelin etkinliğini karşılaştırmak için bir karınca kolonisi optimizasyonu modeli oluşturulmuştur. Yapılan karşılaştırmada ikinci dereceden yapay arı kolonisi ve ikinci dereceden kısmi sürü optimizasyonunun diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Bilgili ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada[69] YSA, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizini kullanarak 2008-2015 elektrik tüketimini yüksek ve düşük senaryo olmak üzere tahmin etmiştir. Çalışmada veri 1990-2007 yıllarına ilişkin kurulu güç, elektrik üretimi, nüfus, abone sayısı, elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır. Tahmin sonuçları Hamzaçebi'nin 2007 yılında yaptığı çalışma ve TEİAŞ tarafından 2008 yılında MAED kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen tahmin değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Oğcu ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları çalışmada[70] YSA ve destek vektör makineleri kullanarak 2010-2011 yılları aylık elektrik tüketimini yüksek ve düşük senaryo olmak üzere tahmin etmiştir. Çalışmada 1970-2011 yıllarına ilişkin aylık elektrik tüketimi verileri kullanılmıştır.

[69] M. Bilgili, B. Şahin, A.Yaşar ve E. Şimsek, **Electric Energy Demands of Turkey in Residential and Industrial Sectors**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2012, s.404– 414.
[70] G. Oğcu, O.F. Demirel ve S. Zaim, **Forecasting Electricity Consumption With Neural Networks and Support Vector Regression,** Procedia - Social and Behavioral Sciences, Cilt 58, 2012, s.1576–1585.

Hamzaçebi ve Es 2014 yılında yaptıkları çalışmada[71] gri tahmin yöntemini kullanarak 2013-2025 yılları elektrik tüketimini tahmin etmişlerdir. Çalışmada 1945-2010 yıllarına ilişkin elektrik tüketim verileri kullanılmıştır.

[71] C.Hamzaçebi ve H. A. Es, **Forecasting The Annual Electricity Consumption of Turkey Using an Optimized Grey Model**, Energy, 2014, in Press.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULANIK MANTIK

İnsanoğlu hayatını sürdürürken pek çok karar vermektedir. Karar verme işlemi ise çoğu zaman belirsizliklerin olduğu bir ortamda gerçekleşmektedir. Karar verme sürecinde klasik bilimsel yaklaşım ve bu yaklaşımın içerdiği yöntemler kullanıldığında, her önermenin ya doğru ya da yanlış olması gerekmektedir. Bu anlayışa geleneksel anlayış ya da Aristo Mantığı denir. Aristo Mantığında akıl yürütmeler yapılırken bazı ilkelere mutlaka uyulması gerekir. Bu ilkeler özdeşlik, çelişmezlik ve üçüncünün olmazlığı ilkeleridir.

Bu ilkelerden üçüncünün olmazlığı ilkesi klasik mantığın temelini oluşturmaktadır. İki değerli mantık olarak da anılan bu ilke, düşünce sistemini doğru ve yanlış şeklinde ikiye ayırmaktadır. Bu mantığa göre bir karar doğrudur veya yanlıştır (1 veya 0) üçüncü bir durum kesinlikle söz konusu olmamaktadır.[72] Ancak, gerçek hayat böyle keskin çizgilerle ayrılmamıştır. Beyaz ve siyahın yanında griler de mevcuttur. Bu noktada Prof. Dr. Üstün DÖKMEN'in "Küçük Şeyler" adlı kitabındaki şu örneği hatırlamak yerinde olacaktır. Hayatta sadece "EVET" ve "HAYIR" olsa idi size sorulan "Eroin kullanmayı bıraktınız mı?" sorusuna nasıl cevap verirdiniz? EVET mi? Bu cevabı verdiğinizde daha önce eroin kullanıyormuş gibi algılanırsınız. HAYIR mı? Bu cevabı verdiğinizde de halen eroin

[72] H. Türe, **Bulanık Doğrusal Programla ve Bir Uygulama**, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, 2006, s.5.

kullanıyormuşsunuz gibi algılanırsınız. Bu örnekten de anlaşılacağı üzere normal hayat sadece EVET-HAYIR ile sınırlı değildir. [73]

Günlük hayatta bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken kullandığımız pek çok ifade aslında bulanıklık içermektedir. Örneğin; yaşlı, genç, sıcak, soğuk, uzun, kısa, şişman, zayıf, zengin, fakir gibi kelimeler sınırları kesin olarak belli olmayan ifadelerdir.

Geleneksel olarak belirsizliğin mevcut olduğu durumlarda olasılık kuramından faydalanılmaktadır. Ancak, olasılık kuramı sınırları belirli olaylarda kullanılmak için oldukça iyi bir yaklaşımdır. Örneğin bir para atıldığında ya yazı ya da tura gelecektir veya bir zar atıldığında altı rakamdan biri gelecektir. Yani örneklem uzayının sınırları kesin ve belirlidir. İşte, sınırları kesin olmayan problemlerin çözümünde bulanık küme teorisinden faydalanılmaktadır.[74]

Karar süreçlerinde belirsizliğin nasıl öngörüleceği ve nasıl karar süreçlerinin bir parçası haline getirilebileceği yolunda yapılan çalışmaların sonucunda alternatif bilimsel yaklaşım düşüncesi ortaya atılmıştır. 1930'larda Max Black belirsizliği açıklayıcı öncü kavramlar geliştirmiş olsa da bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli orijinal makalesinde yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. Bu makalesinde Zadeh, kesin olmayan sınırlara sahip kümelerin oluşturduğu bulanık küme teorisini ortaya

[73] Ü. Dökmen, **Küçük Şeyler**, Sistem Yayıncılık, İstanbul, 2004, s.88.
[74] H. Türe, s.4.

koymuştur. Söz konusu çalışma, Aristo mantığına karşı meydan okumasından ötürü önemlidir.[75]

Bulanık küme teorisinin, üyelikten üye olmamaya dereceli geçişi ifade etmesindeki yeteneği, belirsizlikleri tanımlamada önemli bir yere sahiptir. Bulanık küme teorisi; belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasına ek olarak, dilimizde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir biçimde temsilini sağlar. [76]

Aristo mantığı üzerinde temellenen klasik küme teorisi ise verilen bir alana ait bütün bireyleri incelenen özelliğe göre kümeye ait olan elemanlar ve ait olmayanlar olmak üzere ele almaktadır. Kümeye üye ve üye olmayan elemanlar arasında kesin ve belirsiz olmayan bir ayrım vardır. [77]

Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki temel farklar Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

[75] M. Sarı, Y. Ş. Murat ve M. Kırabalı, **Bulanık Modelleme Yaklaşımı Ve Uygulamaları**, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, c.9, 2005, s.77.
[76] ibid
[77] ibid

Tablo 3.1 Klasik Mantık ve Bulanık Mantık Arasındaki Temel Farklar[78]

Klasik Mantık	**Bulanık Mantık**
A veya A değil*	A ve A değil**
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belli derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 arasında sürekli
İkili Birimler	Bulanık Birimler

* x elemanı ya A kümesinin elemanı ya da değil

** x elemanı belli bir üyelik derecesinde A kümesinin elemanı ve belli bir üyelik derecesinde A kümesinin elemanı değil.

Bir bulanık küme, çalışma yapılan alana ait her bir elemana matematiksel olarak kümedeki üyelik derecesini temsil eden bir değer atayarak tanımlanır. Bu değer, elemanın bulanık küme tarafından ifade edilen kavrama üyelik derecesini ifade eder. Bundan dolayı bireylerin kümeye ait olması farklılaşır. Üyelik dereceleri 0 ile 1 arasındaki gerçel sayılarla temsil edilirler. Tam üye olma ve üye olmama durumu, bulanık kümede sırasıyla 1 ve 0 değerleriyle karşılanır. Bundan dolayı da klasik küme kavramı bulanık küme kavramının bu iki değere kısıtlanmış özel bir şekli olarak görülebilir. [79]

[78] Ö. Görgülü, **Bulanık Mantık Teorisi ve Tarımda Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma**, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi, 2007, s.3.
[79] M. Sarı, Y. Ş. Murat ve M. Kırabalı,.

Azerbaycan asıllı bir İranlı olan Zadeh tarafından ortaya konulan bulanık ilkeler, ilk başta klasik mantıktan vazgeçmeyen batılı ülkeler tarafından kabul görmemiş, oldukça şiddetli tepkiler almış ve hatta ABD kongresinde ABD Ulusal Bilim Vakfı (NSF–National Science Foundation) kaynaklarının boşa harcanmasına örnek gösterilmiştir.[80] Japonlar, ABD'de tartışmalar halen devam ederken, bu özgün fikri benimseyip geliştirmeyi çok iyi başarmışlardır. Bulanık mantığın, teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması bugün tüm dünyada yaygın bir biçimde tanınmıştır.

Oluşturduğu kavramsal çerçeve ve sonuçları itibarıyla oldukça geniş bir perspektife sahip olan bulanık küme üzerine yapılan araştırmalar ortaya çıktığı günden bu yana hızla artmıştır. Bulanık mantık, bir bulanık kontrolcü olarak ilk kez 1970'li yılların ortasında, Londra'daki Queen Mary College'de Prof. Ebrahim H. Hamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulanmıştır. Ticari olarak ise ilk defa, 1980 yılında, Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınını kontrol etmede kullanılmıştır. Sonraki yıllarda, dünyanın birçok yerinde bulanık kavramlar kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojiye duyarlı ve yenilikçi olan Japon mühendisleri, bulanık kontrol birimlerini kurmanın kolaylığını görerek bunları birçok cihazın yapımında kullanmaya başlamışlardır. 1980 yılından sonra bulanık mantığın uygulama alanları gittikçe genişlemiş, Japonya'dan sonra Almanya, Fransa, Danimarka, Rusya ve Çin gibi ülkeler de bulanık mantık uzmanları yetişmeye

[80] Ö. Görgülü, s.1.

başlamıştır. Bu alanda lider ülke Japonya'dır ve bulanık mantıkla ilgilenen yaklaşık on bin bilim adamıyla Çin onu takip etmektedir. [81]

Bulanık mantık uygulamalarını kullanan bazı firmalar ve uygulama alanları Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Bulanık Mantık Uygulamalarını Kullanan Bazı Firmalar ve Uygulama Alanları[82]

UYGULAMA ALANI	FİRMA
Asansör Denetimi	Fujitec, Toshiba
	Mitsubishi, Hitachi
SLR Fotoğraf Makinası	Sanyo-Fisher
	Canon, Minolta
Video Kayıt Cihazı	Panasonic
Çamaşır Makinası	Matsushito
Elektrikli Süpürge	Matsushito
Su Isıtıcısı	Matsushito
Klima Cihazı	Matsushito
Otomobil Aktarma Organı	Subaru-Nissan
ABS Fren Sistemi	Nissan
Çimento Sanayi	Mitsubishi Chemicals
Üretim Planlaması	Turksen

Değişik bilim ve mühendislik konularında yayım yapan uluslararası dergilere bakıldığında, hemen her mühendislik konusunda ve teknolojik çalışmalarda artık bulanık sistem kontrollerinin ve hesaplamalarının yaygınlaştığı görülmektedir. Kısacası, uygulama alanlarının genişliği ve bu alanlarda oluşturulan sonuçların

[81] Ş. Işıklı, **Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler**, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Felsefe Bölümü Dergisi, c.19, 2008, s.105-126.
[82] S. Akı, **Eşanlı Denklem Sistemleri ve Bulanık Regresyon Analizi ile Bir Uygulama**, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2002.

etkisinden dolayı bulanık küme teorisi bugün bilimsel çalışmalarda önemli bir yer tutmaktadır.

3.1 Bulanık Kümeler

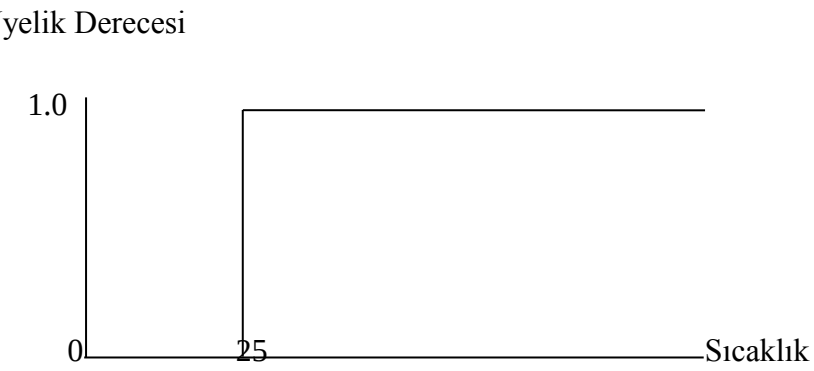
Zadeh 1965 yılında yayınladığı "Fuzzy Sets" başlıklı makalesinde bulanık kümeyi [0,1] aralığında değişen üyelik derecelerine sahip nesneler kümesi olarak tanımlamıştır.[83]

Bulanık sistemlerin en temel ögesi bulanık kümelerdir. Bulanık kümeler, klasik kümelerden farklı olarak, küme elemanlarının üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini, keskin ve ani değişen üyelik dereceleri yerine daha yumuşak ve sürekli bir üyelik derecesinin olduğunu belirtir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu durum belirsizliğin ölçülmesini ve günlük yaşamda ifade edilen sözel belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsil edilebilmesini sağlamaktadır.

Örneğin "hava sıcaklığı" göreceli bir kavramdır. Kutuplarda yaşayan bir insana göre 20 ^{o}C "sıcak" bir hava olarak tanımlanırken çölde yaşayan bir insana göre "ılık" hatta "serin" olarak tanımlanabilmektedir. Hava sıcaklığı gibi göreceli olan, sınırları belirsiz olan bir kavram, bulanık mantığa göre bulanık kümelerle ifade edilmesi gerekir. Sıcak hava 25 ^{o}C üstü sıcaklıklar olarak tanımlanırsa, klasik mantığa göre, 24 ^{o}C'lik hava bu kümenin elemanı olmayacak ve üyelik derecesi sıfır olacaktır. Oysa bulanık mantığa göre, belirli bir dereceye kadar (örneğin 0,90) sıcak

[83] L. Zadeh, "**Fuzzy Sets**", Information and Control, c.8, 1965, s.338-353.

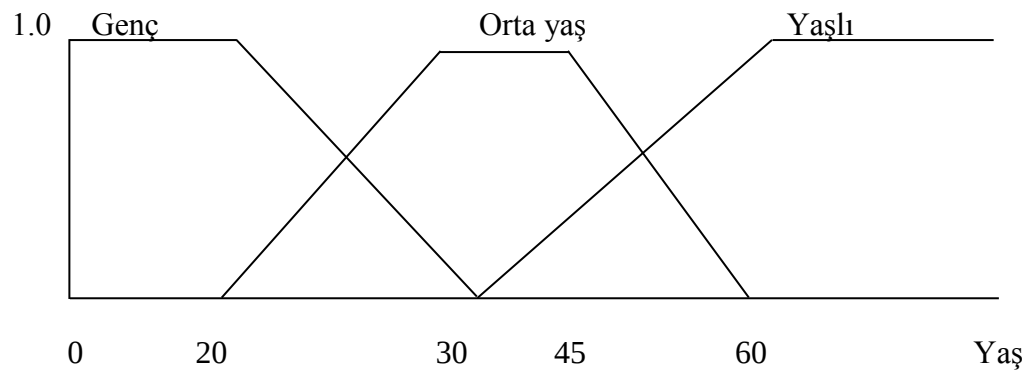
hava kümesinin üyesi olacak, belirli bir dereceye kadar da (örneğin 0,1) sıcak hava kümesinin üyesi olmayacaktır.



Şekil 3.1 Klasik Mantığa Göre Sıcak Hava Kümesinin Üyelik Fonksiyonu.

Başka bir örnek verilecek olursa, genç, orta yaşlı ve yaşlı insanlar kümesinin klasik mantığa göre bir sınıflaması yapılırsa, 0-29 yaş aralığı genç, 30-59 yaş aralığı orta yaşlı ve 60 yaş üstü insanlar yaşlı olarak kabul edildiğinde, 29 yaşındaki bir insan genç, 30 yaşındaki bir insan ve 59 yaşındaki bir insan orta yaşlı ve 60 yaşındaki bir insan yaşlı olarak nitelendirilecektir. Bulanık mantığa göre ise kısmi üyelik derecesi söz konusu olduğundan, ortaya çıkan kümeler ve üyelik dereceleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Üyelik Derecesi



Şekil 3.2 Bulanık Mantığa Göre Üyelik Fonksiyonları.

Bu gösterime göre, 29 yaşındaki bir kişi, 0,85 üyelik derecesiyle orta yaşlı insanlar, 0,15 üyelik derecesiyle de genç insanlar kümesinin elemanı olur. Aynı şekilde, 59 yaşındaki bir kişi, 0,85 üyelik derecesiyle orta yaşlı, 0,15 üyelik derecesiyle de yaşlı insanlar kümesinin elemanı olur.

Bulanık kümede yatay eksendeki gerçek sayıların her biri düşey eksende 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerine dönüştürülür. Böylece yatay eksendeki bir gerçek sayı x ile gösterilirse bunun üyelik derecesi μ(x) ile temsil edilmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, $0 \leq \mu(x) \leq 1$ olduğu anlaşılır. Genelde bir klasik A kümesinin elemanları $A=\{a_1,a_2,a_3,a_4\}$ şeklinde gösterilmektedir. Bulanık A kümesinde elamanlar kendilerine ait üyelik derecesi ile

$$A = \left\{\frac{\mu(a_1)}{a_1} + \frac{\mu(a_2)}{a_2} + \frac{\mu(a_3)}{a_3} + \cdots\right\} = \left\{\sum \frac{\mu(a_i)}{a_i}\right\} \quad (3.1)$$

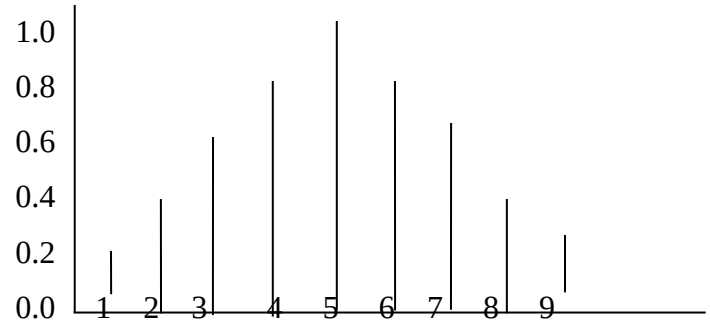
bulanık kümenin sürekli bir küme olma durumunda ise;

$$A = \left\{\int \frac{\mu(a)}{a}\right\} \quad (3.2)$$

ile ifade edilmektedir.[84]

Denklem 3.1 ve Denklem 3.2'de bölme işareti, bölme yapmak anlamında değildir. Alttaki gerçek sayıya üstteki üyelik derecesinin karşılık geldiğini belirtmektedir. Denklem 3.1'de toplam işareti, ve Denklem 3.2'deki integral işareti de yine toplama ve integral alma anlamında değil, küme üyeleri ve üyelik derecelerinin A kümesine dahil olduğunu ve küme topluluğunu göstermektedir.[85]

Örneğin, A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonunun gösterimi Şekil 3.3 deki gibiyse;



Şekil 3.3 A Bulanık Kümesinin Üyelik Fonksiyonunun Gösterimi

A bulanık kümesi

$$A = \left\{\frac{0.2}{1} + \frac{0.4}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.8}{4} + \frac{1.0}{5} + \frac{0.8}{6} + \frac{0.6}{7} + \frac{0.4}{8} + \frac{0.2}{9}\right\}$$

şeklinde gösterilir.[86]

[84] Z. Şen, **Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipler**i, Su Vakfı Yayınları, 2004, s.100-120.
[85] ibid
[86] İ. H. Altaş, "**Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı**", Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Sayı 62, 1999, s.85.

3.2 Bulanık Kümelerde İşlemler

Klasik kümelerde olduğu gibi, benzer şekilde bulanık kümlerde de kesişim, birleşim ve değil işlemleri yapılmaktadır.

3.2.1 Kesişim İşlemi

İki bulanık kümenin ortak elemanlarının üyelik derecelerinin büyüklüğü dikkate alınarak kesişim noktaları ve bu noktalara ait üyelik dereceleri tespit edilir. Zadeh, ortaya koyduğu bulanık küme teorisinde bu üyelik derecelerinden en küçük olanlarının alınacağını belirtmiştir. A ve B olarak isimlendirilen iki bulanık kümenin kesişimi

$$A \cap B = \{\forall x \in E \mid \min(\mu_A(x), \mu_B(x)\}) \quad (3.3)$$

şeklinde gösterilir.

Eşitlik 3.3'te verilen kesişim kümesinin üyelik fonksiyonu da

$$\mu_{A\cap B}(x) = \{ \forall x \in E \mid \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanır.[87]

Örnek: A ve B

A={0/0+0,5/3+1/6+0,5/9+0/12}

B={0/6+0,5/9+1/12+0,5/15+0/18}

şeklinde iki bulanık küme olsun. Bu kümelere ait evrensel küme

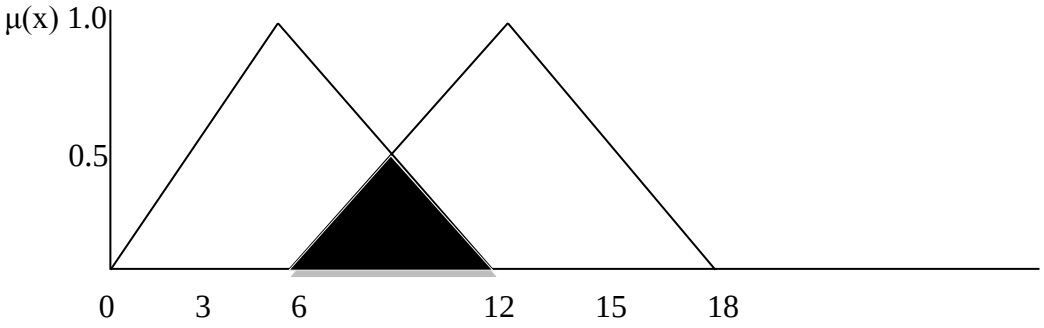
E = {0,3,6,9,12,15,18}

şeklindedir. A ve B bulanık kümelerine ait kesişim kümesi Eşitlik 3.3.'de verilen tanıma göre

[87] Ö. Görgülü, s.16.

$A \cap B = \{0 / 6 + 0.5 / 9 + 0 / 12\}$

olur. İki bulanık kümenin kesişim işlemi Şekil 3.4'te grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Kesişim Kümesinin Gösterimi.

3.2.2 Birleşim İşlemi

İki bulanık kümenin birleşim kümesinin elemanları maksimum işlemci ile gösterilir. Her iki kümede üyelik değeri olan elemanlardan en büyük üyelik derecesine sahip olan elamanlar birleşim kümesini oluşturmaktadır. İki bulanık kümenin birleşimi

$$A \cup B = \{ \forall x \in E | maks.(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.5)$$

şeklinde gösterilir. Bu birleşim kümesinin üyelik fonksiyonu da

$$\mu_{A \cup B}(x) = \{ \forall x \in E | maks.(\mu_A(x), \mu_B(x))\} \quad (3.6)$$

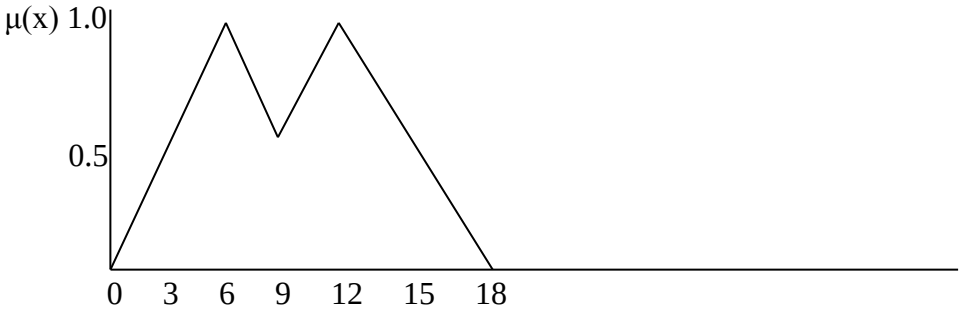
şeklinde tanımlanır.[88]

Örnekte verilen A ve B bulanık kümelerinin birleşim kümesi Eşitlik 3.5' de verilen tanıma göre

[88] Ö. Görgülü, s.17.

$A \cup B = \{0 / 0 + 0.5/ 3 + 1/ 6 + 0.5/ 9 + 1/12 + 0.5/15 + 0 /18\}$

olur. Birleşim işlemi Şekil 3.5' de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Birleşim Kümesinin Gösterimi.

3.2.3 Tümleyen İşlemi

A bulanık kümesinin tümleyeni ($\bar{A}$) , A kümesinin değili olarak tanımlanır.

Bulanık A kümesinin tümleyeni,

$$\bar{A} = \{\forall x \in E \mid \mu_{\bar{A}(x)} = 1 - \mu_A(x)\} \qquad (3.7)$$

şeklinde gösterilir. Burada görüldüğü gibi üyelik dereceleri 1'e tamamlanarak tümleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Örnek'te verilen A ve B bulanık kümelerinin tümleyenleri Eşitlik 3.7'de verilen tanıma göre

$\bar{A} = \{1/ 0 + 0{,}5/ 3 + 0 / 6 + 0{,}5/ 9 + 1/12\}$

$\bar{B} = \{1/ 6 + 0{,}5/ 9 + 0 /12 + 0{,}5/15 + 1/18\}$

olur. [89]

[89] ibid

3.3 Üyelik Fonksiyonu Ve Türleri

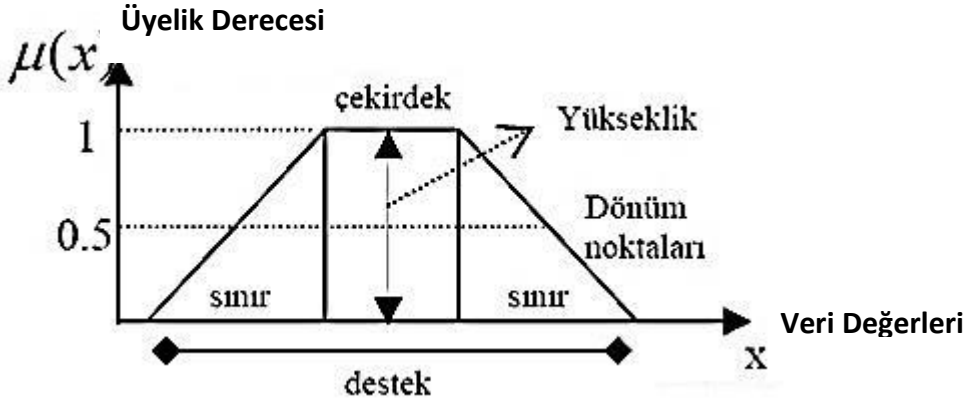
Bir nesnenin bulanık kümeye aitlik derecesini gösteren üyelik değerinin hesaplanmasını sağlayan fonksiyona üyelik fonksiyonu denir. Fonksiyonun genel yapısında; yatay eksen veri değerlerini gösterirken düşey eksende üyelik dereceleri yer alır. Üyelik fonksiyonları bir bulanık kümenin içerdiği tüm bilgileri açıkladığından, bu fonksiyonların çeşitli görünümlerini ve kısımlarını açıklamakta fayda vardır.

Bir üyelik fonksiyonu temel olarak 5 kısımdan oluşur. Bunlar, üyelik fonksiyonunun çekirdeği, desteği, sınırları, dönüm noktası ve yüksekliğidir (Şekil 3.6). $\mu_A(x) = 1$ şeklinde gösterilen üyelik fonksiyonunun çekirdeği (özü), bulanık kümenin tam üyeliğe sahip elemanlarının oluşturduğu topluluğa denir. Destek ise üyelik derecesi sıfırdan büyük olan elemanların oluşturduğu topluluktur. Cebirsel olarak $DESTEK_A = \{x \in E\ \mu_A(x) > 0\}$ şeklinde gösterilir. [90]

Daha önce de belirtildiği gibi bir üyelik fonksiyonunun sınırları, 0 (sıfır) ile 1 (bir) arasında üyelik derecelerine sahip elemanların oluşturdukları bölgedir. Genellikle tüm üyelik fonksiyonlarında biri çekirdeğin sağında ve biri de solunda olmak üzere iki sınır bölgesi vardır. Bulanık kümelerde 0,5 üyelik derecesine sahip elemanların oluşturdukları bölge üyelik fonksiyonunun dönüm noktası olarak tanımlanır. Bir bulanık kümenin yüksekliği ise üyelik derecesi en yüksek olan elemana karşılık gelir. Elemanlardan en az birine ait üyelik derecesi 1 (bir) ise bu bulanık küme normal bulanık küme olarak tanımlanır. Normal olmayan bulanık

[90] ibid, s.25

küme için normalleştirme işlemi kümede bulunan tüm elemanların üyelik derecelerinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi ile yapılabilir.[91]



Şekil 3.6 Üyelik Fonksiyonunun Bileşenleri

Literatürde birçok üyelik fonksiyonu bulunmasına rağmen uygulamada yaygın olarak 4 tip fonksiyondan yararlanılmaktadır. Bunlar; üçgen (triangular), yamuk (trapezoid), normal dağılım (Gaussian) ve çan şekilli (bell-shaped) fonksiyonlarıdır (Şekil 3.7). Ayrıca, sigmoidal ve S-tipi üyelik fonksiyonları da kullanım amacına bağlı olarak sınırlı olarak kullanılmaktadır. Formüllerin basit oluşu ve hesaplamaların kolaylığı açısından hem üçgen hem de yamuk üyelik fonksiyonları, çeşitli bulanık mantık uygulamalarında oldukça sık kullanılan fonksiyonlardır.[92]

Üçgen üyelik fonksiyonları, sadece bir maksimumu olan problem yapılarında basitliği nedeniyle tercih edilmektedir. Tipik bir üçgensel üyelik; a, b, c olarak gösterilen üç parametre ile tanımlanabilir. Eşitlik 3.8 üçgen üyelik fonksiyonu kullanıldığında fonksiyonun aldığı değerleri göstermektedir.

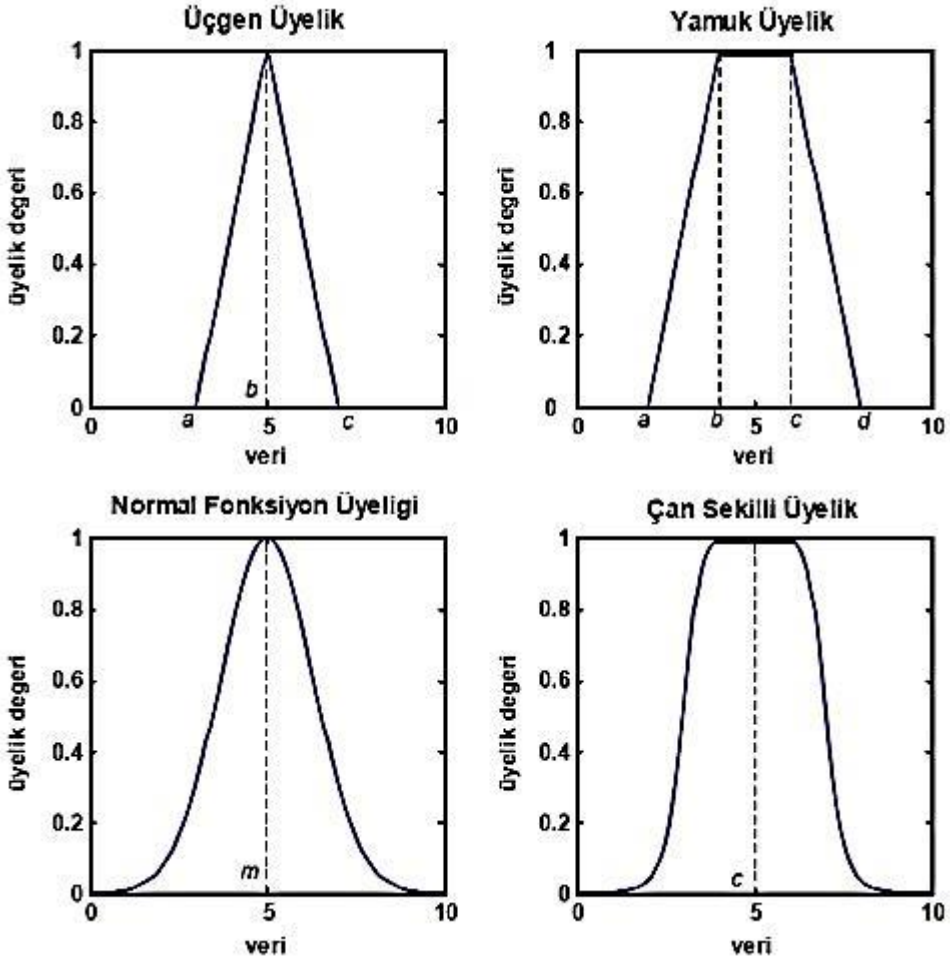
[91] ibid
[92] F. Şahin, **Çimento Hammadde ve Üretim Sürecinde Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Kullanımı**, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, 2009, s. 14-16.

$$\mu_A = (x;a,b,c) = \begin{cases} (x-a) / (b-a), & a \leq x \leq b \\ (c-x) / (c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x < a \text{ ya da } x > c \end{cases} \quad (3.8)$$

Üçgen üyelik fonksiyonlarının özel bir biçimi olarak tanımlanabilen yamuk üyelik fonksiyonlarında maksimum üyelik belirli bir nokta yerine belirli bir aralık olarak tanımlanır. Bu tip fonksiyon kullanıldığında üyelik fonksiyonunun aldığı değerler Eşitlik 3.9'da gösterilmiştir.[93]

$$\mu_A = (x;a,b,c,d) = \begin{cases} (x-a) / (b-a), & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (d-x) / (d-c), & c \leq x \leq d \\ 0, & x < a \text{ ya da } x > d \end{cases} \quad (3.9)$$

[93] ibid



Şekil 3.7 Bazı Üyelik Fonksiyonları[94]

Gaussian (normal) üyelik fonksiyonu, m ve σ parametreleriyle,

$$\mu_A = (x; m, \sigma) = \exp(-(x-m)^2 / 2\sigma^2) \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlıdır.

Bu fonksiyonda m fonksiyona ait olan dağılımın merkezini, σ da dağılımın şeklini belirler. Dolayısıyla, m Gaussian üyelik fonksiyonun çekirdeğini gösterirken m'nin sağında ve solunda kalan bölge ise fonksiyonun sınırlarını oluşturur. σ ne

[94] ibid, s.15.

kadar küçük olursa üyelik fonksiyonunun göstermiş olduğu dağılım da o kadar sivri olur. Bu değer büyüdükçe dağılım daha yayvan bir hal alır.

Çan şekilli üyelik fonksiyonu da a_1,a_2 ve a_3 parametreleriyle aşağıdaki gibi tanımlanabilir[95];

$$\mu_A(x; a_1, a_2, a_3) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - a_3}{a_1}\right|^{a_2}} \tag{3.11}$$

3.4 Bir Bulanık Kümenin Alfa (A) Kesiti

Bir A bulanık kümesinde, üyelikleri α'ya eşit veya daha büyük olan elemanların oluşturduğu kümeye α kesiti (kesim kümesi) denir. Bu küme

$$A_\alpha = \{x \in E \mid \mu_A(x) \geq \alpha\} \tag{3.12}$$

şeklinde gösterilir. α değeri isteğe bağlı olarak seçilebilir. Eşitlikte ≥ yerine > kullanıldığı takdirde, yani kesit kümesi α'ya eşit veya büyük üyelik derecesine sahip olan elemanlar değil de sadece büyük olan elemanlardan oluşturuluyorsa bu kesite güçlü α kesit kümesi denir.

Eşitlik 3.12'de verilen tanıma göre verilen örnekte yer alan A ve B bulanık kümelerinin α = 0.5 kesit kümeleri

$A_{0.5} = \{3, 6, 9\}$; $B_{0.5} = \{9, 12, 15\}$

[95] H. Armağan, **Öğrenci Akademik Performans Değerlendirmesi için Yeni Bir Yaklaşım**, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2008, s.7.

olur.[96]

3.5 Bulanık Modellemenin Aşamaları

Bulanık mantık, daha önce de belirtildiği gibi bir sistem içindeki belirsizlikleri ifade etmekte ve ayrıca, bir sistemi kontrol etmek için karar vericilere problemin çözümü için sistematik bir yaklaşım geliştiren bir yöntemdir. Bulanık fonksiyonlar, belirsizlikleri azaltmak için eldeki verilere üyelik dereceleri atayarak verileri analiz aşaması için ayarlamaktadır.[97]

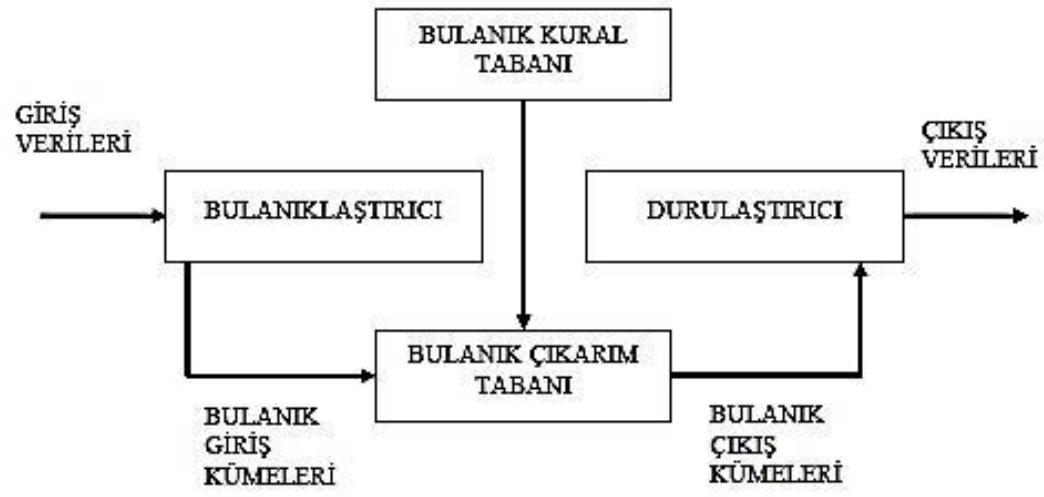
Klasik yöntemlerde öğrenilen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.8'de gösterilen üç ayrı birimden oluşmaktadır. Bunlar, giriş, girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı denilen bir kutu ve çıkış birimleridir.



Şekil 3.8 Klasik Sistemin Gösterimi.[98]

Bulanık sistemlerin klasik sistemlerden farkı, sistem davranışı biriminin ikiye ayrılarak girişlerin sayısal olmaması durumunda bulanıklaştırılmasına yarayan bulanıklaştırıcı birim ile yine bulanık olan çıktıların sayısallaştırılmasına yarayan durulaştırıcı birim ilave edilerek Şekil 3.9'daki gibi birimlerden oluşmasıdır.

[96] Ö. Görgülü, s.21.
[97] H. Kuşan, s.37.
[98] H. Kuşan, s.38.



Şekil 3.9 Bulanık Sistemin Gösterimi.[99]

Karar verme sürecinde, elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına katılarak incelenen olayın kontrolünde anlamlı çözümlere varılabilmelidir. Bu bakımdan bulanık küme mantığı ve sistem ilkeleri, uzman kişilerinde vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar. Bulanık mantık yardımı ile özellikle belirsizlikler içeren ve eksik verilerin bulunduğu problemler kolayca modellenebilmektedir. Bu yapısı nedeni ile öncelikle kontrol ve karar verme problemleri olmak üzere pek çok alanda bulanık mantık yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bulanık modellemenin ilk aşaması, problemin tanımlanması ve buna göre uygun parametrelerin seçilerek üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasıdır. Daha sonra ilgili parametreler ve oluşturulan bulanık alt kümelere göre problemin çözümünü içeren kurallar dizisi veya kural tabanı oluşturulur. Üçüncü aşamada ise çıkarım

[99] ibid

yöntemleri seçilir. Son aşamada ise bulanık olan değerin tekrar durulaştırılması veya klasik sayılara dönüştürme yöntemi belirlenir.[100]

3.5.1 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, giriş parametrelerinin, bulanık işlem mekanizmasında değerlendirilmesi için bulanık kümelere dönüştürülmesi işlemidir. Bulanıklaştırma, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Bu aşamada, kullanılacak olan üyelik fonksiyon türü seçilir ve her bir öğenin üyelik dereceleri belirlenir. Bunun için, bir aralıkta bulunabilecek öğelerin hepsinin, üyelik derecesinin 1'e eşit olması yerine, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması gerektiği düşünülür ve bazı öğelerin belirsizlik içerdikleri kabul edilir. Bu belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilir. Daha önce de belirtildiği gibi, hesaplamaların kolaylığı açısından üçgen, yamuk veya Gaussian biçimli üyelik fonksiyonları ile gösterilen bulanıklaştırma şekilleri en çok kullanılan üyelik fonksiyon çeşitleridir.[101]

Üyelik fonksiyonunun belirlenmesi ve üyelik derecelerinin atanması için çeşitli yaklaşımları kullanılabilir. En yaygın olan sezgi yöntemi, fazlaca teknik bilgi gerektirmemektedir. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışları önemli rol oynar. Derecelendirme yönteminde, bir bulanık değişken için konuyla ilgili kişilere anket uygulanarak, üyelik derecelerinin atanmasına çalışılır.[102]

[100] M. Sarı, s.79.
[101] H. Kuşan, s.45.
[102] H. Kuşan, s.46.

3.5.2 Bulanık Kural Tabanı

İnsan düşünce sisteminin ilk aşamaları oldukça bulanıktır ve zaman içinde berraklaşıp durulaşarak daha belirgin hale gelir. İnsan düşünce öğeleri kelimelerle ifade edilir. İşte bu 'az-çok', 'aşağı-yukarı', 'yaklaşık', 'oldukça', 'biraz', 'sıklıkla' vs. gibi dilsel ifadeler bulanık kümelerle modellenerek sözel ifadelerden sayısal ifadelere geçiş için önemli bir köprü elde edilmiştir.

İnsanlar sözel ifadelerle etkileşim içinde bulunduğu zaman bu ifadeleri inceleyerek sorun ile ilgili olanları yargılama ve ilişkilendirme sonucu bir takım kurallar çıkarırlar. Bu makul ve mantıksal olan kuralları bugün için matematikte bilinen yöntemler, diferansiyel ve integral hesaplamalarla ifade etmek mümkün değildir. Çünkü bu yöntemlerin kullanılabilmesi için belirginlik gereklidir. [103]

Gerekli çözümlere ulaşabilmek için basit bulanık küme hesaplamaları ile bulanık alt kümeler arasında geçerli ilişkiyi sağlayacak bulanık küme kural yapılarının iyice bilinmesi gereklidir. Doğal lisanlar ne kadar karmaşık, şüpheli ve bulanık olsalar bile, insan iletişiminin temelini teşkil etmeleri bakımından çok önemlidir. Bunun için bulanık söz ve ifadeleri, kümelerle işleyebilecek kural ve işlemlere gerek vardır.[104]

[103] H. Kuşan, s.47-48.
[104] T. Paksoy, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ders Notları, Erişim: http://www.turanpaksoy.com/dersnotlari/bulanikkumeteorisi5.pdf, 29.12.2012.

Bilgiyi temsil etmek üzere, bulanık sistemler çoğunlukla dilsel kuralları kullanırlar. EĞER-İSE tarzında ifade edilen bir kural standart olarak Denklem 3.13'teki gibidir.

$$\text{EĞER } a_1 \text{ ve } a_2 \text{ …….. ve } a_n \text{ İSE b} \qquad (3.13)$$

Bir kuralın "EĞER" kısmı; bulanık kümelerin girdi kısmının üyelik derecesine referanstır ve "öncül kısım" olarak adlandırılır. "İSE" kısmı da sonuca referanstır ve "soncul kısım" veya "kural çıkarımı" olarak adlandırılır. Toplam kural sayısı, sistemi karakterize eden bulanık alt kümelerin sayılarının çarpımlarının toplamına eşittir. Bir sistemin modellenmesinde birden fazla bulanık kurallara ihtiyaç vardır. Sistemin bütünü için tek bir sonuç elde etmek, her bir kuralın çıkarım kısmında ortaya çıkan sonuçların harmanlanması ile olur.[105]

3.5.3 Sonuç Çıkarım Aşaması

Bulanık sonuç çıkarım mekanizması, bulanık dilsel tanımlamaların değerlendirilmesi için kullanılan hesaplama yöntemleridir. Bulanık Eğer-İse kuralları bir dilsel değişkenin diğer birine olan bağlantısını tanımlar. Eğer-İse kurallarının analitik formlarına bulanık işlem ilişkileri denilir. Literatürde 40 farklı tür ilişki tanımlanmakla beraber en çok kullanılan, üyelik dereceleri ile ilgili sonuç çıkarım işlemcileri olarak; "Zadeh max-min", "Mamdani min", "Larsen çarpımı",

[105] U. Ş. Çavuş, **Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (fuzzy logic modelling) ile Değerlendirilmesi**, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2004, s.34-35.

"Aritmetik", "Boolean", "Sınırlanmış (bağlı) çarpım", "Etkin çarpım", "Standart dizi" ve "Gödelian" sonuç çıkarma sistemleri olduğu söylenebilir.[106]

"Mamdani min" yöntemi, literatürde tanımlanan bulanık sonuç çıkarma sistemleri içerisinde en çok kullanılanıdır. Bu yöntem ayrıca bulanık küme teorisi ele alınarak oluşturulan ilk kontrol sisteminde kullanılan bulanık sonuç çıkarım yöntemidir. Bu yöntemin kural yapısı

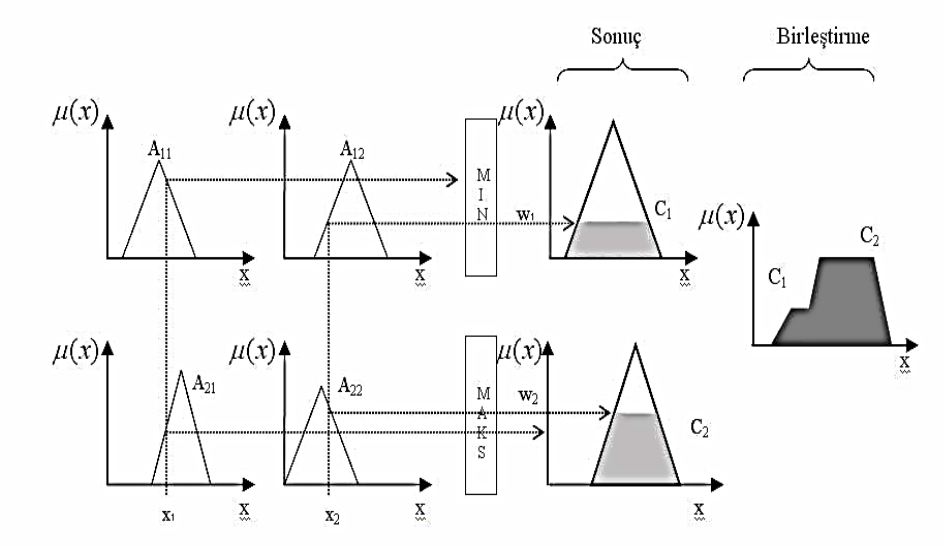
EĞER ($x_1=A_{11}$) ve ($x_2=A_{12}$) İSE ($z_1=C_1$)

EĞER ($x_1= A_{21}$) veya ($x_2=A_{22}$) İSE ($z_2=C_2$)

şeklindedir.

Bu kural yapısının grafiksel gösterimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Burada x_1 ve x_2 girdi değişkenleri, z ise çıktı değişkenidir. A_{11} ve A_{12} girdi değişkenlerinin alt seviyelerini temsil eden üyelik fonksiyonlarıdır. C ise her kuralın sonunda çıkan bulanık sonuç kümesidir. C bulanık kümeleri Mamdani min çıkarım yönteminde sonuç kısmında eşik değerinin kestiği noktanın altında kalan alandan oluşmaktadır. Eşik değeri (w_i) birinci kuralda "ve" mantıksal bağlantısı kullanıldığı için en küçük üyelik derecesine, ikinci kuralda "veya" mantıksal bağlantısı kullanıldığı için de en büyük üyelik derecesine eşit olmaktadır.[107]

[106] ibid, s.36.
[107] Ö. Görgülü, s.34.



Şekil 3.10 Mamdani Sonuç Çıkarım Yönteminin Grafiksel Gösterimi[108]

Konunun uzmanından alınan bilgiler ve girdi değişkenlerinin seviyelerine bağlı olarak oluşturulan tüm kurallardan elde edilen bulanık sonuç kümeleri birleşim aşamasında eşitlik 3.5 yardımıyla bulanık kümelerde birleşim kuralı gereği birleştirilerek birleşim kümesi elde edilmektedir. Birleşim aşamasında kesin bir değer değil bulanık bir küme elde edildiği için, Mamdani yönteminde bu bulanık küme durulaştırma işlemine tabi tutulmaktadır.[109]

3.5.4 Durulaştırma

Bulanık model oluşturmanın son aşaması olan durulaştırma, bulanık bilgilerin kesin sonuçlara dönüştürülmesi işlemidir. Durulaştırma işlemi sayısal verilerin bulanıklaştırılmasının tersi bir işlem olarak düşünülebilir. Pratik uygulamalarda karar verme işlemi için çoğu zaman kesin sayılara gerek duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların

[108] Ö. Görgülü, s.35.
[109] ibid, s.34.

verilebilmesi için kullanılan çok sayıda durulaştırma yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları, ağırlıklı ortalama yöntemi, en büyük üyelik ilkesi, ortalama en büyük üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, en büyük alanın merkezi, en büyük ilk ve son üyelik derecesi yöntemleridir.[110]

[110] ibid, s.40

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. TÜRKİYE'NİN KISA DÖNEM BRÜT ELEKTRİK TALEP TAHMİNİ İÇİN YAPILAN UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bir ülkenin elektrik tüketimi ya da elektrik talebi ülkedeki mevcut hava koşulları, elektrik fiyatları, ülkenin demografik özellikleri, kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasıla veya ekonomik büyüme gibi pek çok parametre ile ilişkilendirilebilir. Ancak, resmi tahmin modelleri ve literatür incelendiğinde, elektrik talebinin tahmin edilmesinde gayrisafi yurtiçi hasılanın Türkiye için güvenilir bir parametre olduğu görülmektedir.

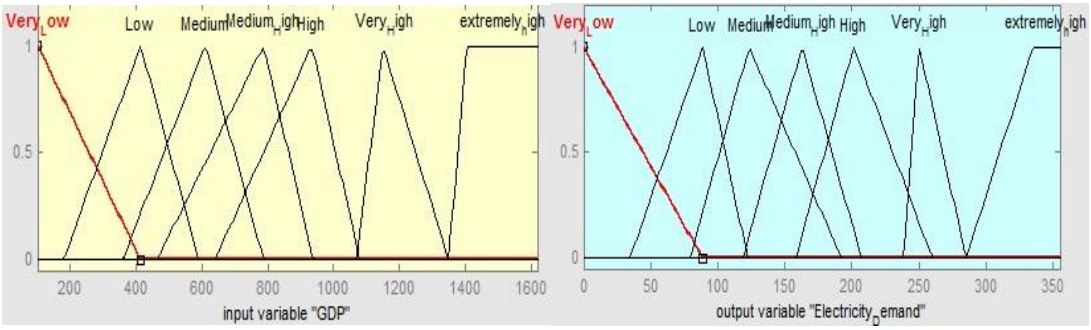
Daha önce çalışmanın ikinci bölümünde de bahsedildiği üzere, bir çok farklı ülke için gayrisafi yurtiçi hasıla ile elektrik talebi arasında tek veya çift yönlü nedensellik ilişkisinin bulunduğunu gösteren pek çok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, tek parametreli modelin oluşturulması hem daha pratik ve kolaydır hem de karar vericiler ve yatırımcılar için daha anlaşılır ve basit bir alternatif sunmaktadır. Bu nedenle bu tezde gayrisafi yurtiçi hasıla girdi ve enerji talebi çıktı olarak seçilerek Türkiye'nin kısa dönem elektrik talebi tahmini için bir bulanık mantık modeli oluşturulmuş ve bu model zaman serisi ve regresyon analizi ile elde edilen modeller ile karşılaştırılmıştır.

Gayri safi yurtiçi hasıla bir ülkenin ekonomik performansının temel ölçülerinden biridir ve bu parametre sabit fiyatlar, cari fiyatlar ve satın alma gücü

paritesine göre hesaplanabilir. Bu çalışmada satın alma gücü paritesine göre hesaplanmış gayrisafi yurtiçi hasıla değerleri kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan brüt elektrik enerjisi talep verileri TEİAŞ, gayri safi yurtiçi hasıla değerleri ise IMF'den alınmıştır.

Bulanık model çalışmasında, "Enerji talebi" (E) ve "GSYH" nin dağılım diagramı bulanık kümeleri ve bulanık mantık kural tabanını oluşturmak için kullanılmıştır. Ayrıca bulanık kümelerin sınırları ile girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiler de E-GSYH dağılım grafiğine göre oluşturulmuştur. Bulanık kümeler zirve noktaları maksimum üyelik dereceleri olacak şekilde üçgen ve yamuk şeklinde gösterilmiştir. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Bulanık Kümeler

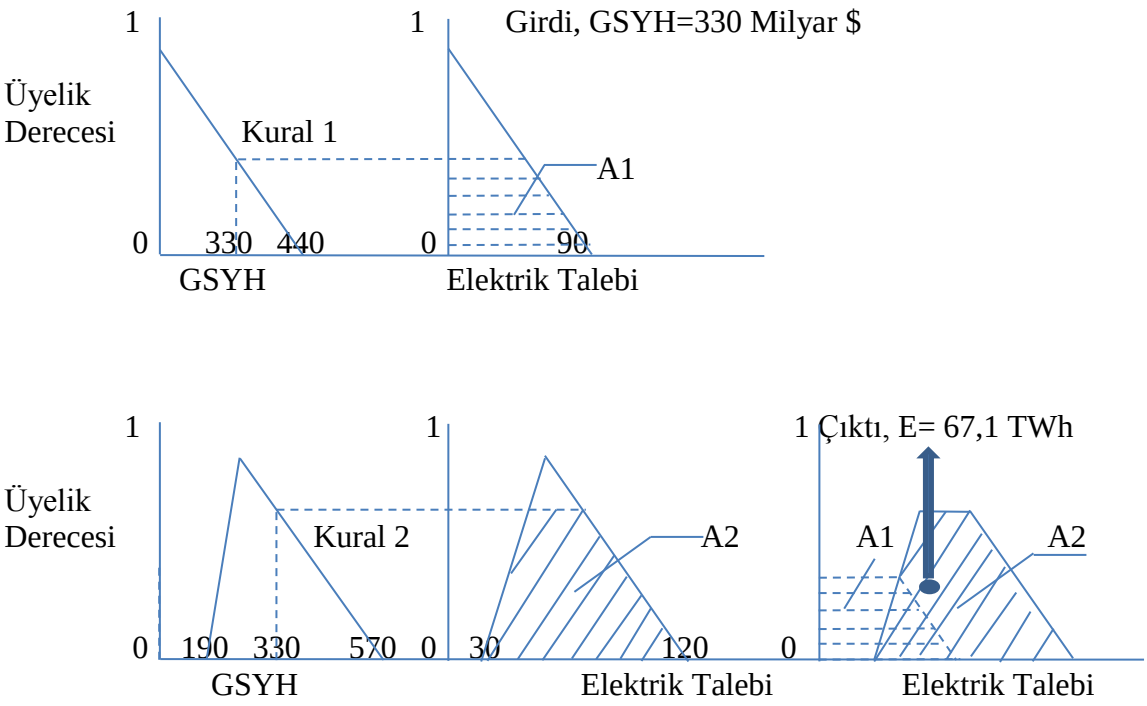
Tablo 4.1'de Türkiye'nin yıllık brüt elektrik talebini tahmin etmek için kurulan bulanık modelin oluşturulması için kullanılan yedi bulanık kural verilmiştir.

Tablo 4.1 Bulanık Kurallar

1	EĞER	GSYH Çok Düşük	İSE	Elektrik Talebi Çok Düşüktür.
2	EĞER	GSYH Düşük	İSE	Elektrik Talebi Düşüktür.
3	EĞER	GSYH Orta	İSE	Elektrik Talebi Ortadır.
4	EĞER	GSYH Biraz Yüksek	İSE	Elektrik Talebi Biraz Yüksektir.
5	EĞER	GSYH Yüksek	İSE	Elektrik Talebi Yüksektir.
6	EĞER	GSYH Çok Yüksek	İSE	Elektrik Talebi Çok Yüksektir.
7	EĞER	GSYH Aşırı Yüksek	İSE	Elektrik Talebi Aşırı Yüksektir.

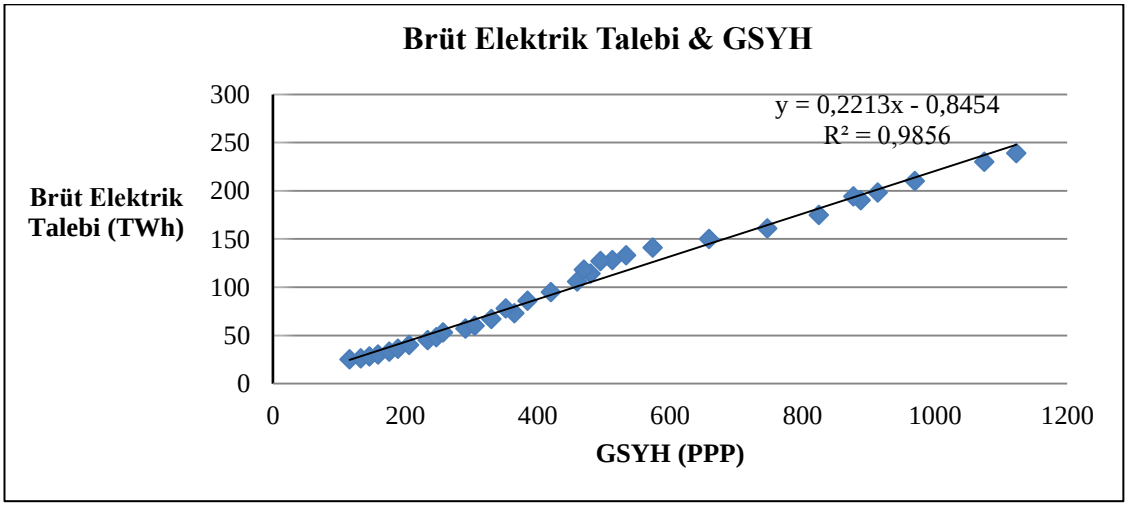
GSYH 100 ile 1.600 milyar dolar arasında yedi adet bulanık kümeye ayrılmıştır. Diğer taraftan, elektrik talebi ise 0 ile 350 TWh arasında "çok düşük", "düşük", "orta", "biraz yüksek", "yüksek", "çok yüksek" ve "aşırı yüksek" olarak yedi kümeye ayrılmıştır. Burada küme sayılarında belirleyici olan verilerin dağılımıdır. Bu çalışmada elektrik talebi ve GSYH'nin yedi ayrı kümeye ayrılması ülkeye has verilerin özelliklerinden kaynaklanmıştır. Bir girdi için, pek çok EĞER-İSE kuralı aynı anda çalıştırılabilir. Bir girdi birden fazla bulanık kümeye ait olabileceğinden, değişik üyelik dereceleriyle, her kuralın farklı ağırlığı olabilecektir.

Önerilen bulanık modelin çalıştırılması için "MATLAB" paket programının "Fuzzy Logic Toolbox" bölümü kullanılmıştır. Bulanık mantık algoritmasının brüt elektrik talebini nasıl hesapladığı konusunda örnek verilecek olursa, GSYH=330 milyar dolar girdi parametresi kullanılırsa; Bu değer, Kural 1 ve Kural 2'nin aynı anda çalışmasını sağlayarak, Kural 1 ve Kural 2'de oluşan parçaların toplamının birleşimiyle bir bulanık çıktı verecektir. Daha sonra, ağırlık merkezi yöntemiyle durulaştırma işlemi gerçekleştirilerek, bulanık çıktının ağırlık merkezi hesaplanır. Verilen GSYH=330 milyar dolar girdi için brüt elektrik talebi E=67,1 TWh olarak bulunur.



Şekil 4.2 Ağırlık Merkezi Yöntemiyle GSYH= 330 Milyar Dolar İçin Bulanık Model Örneği

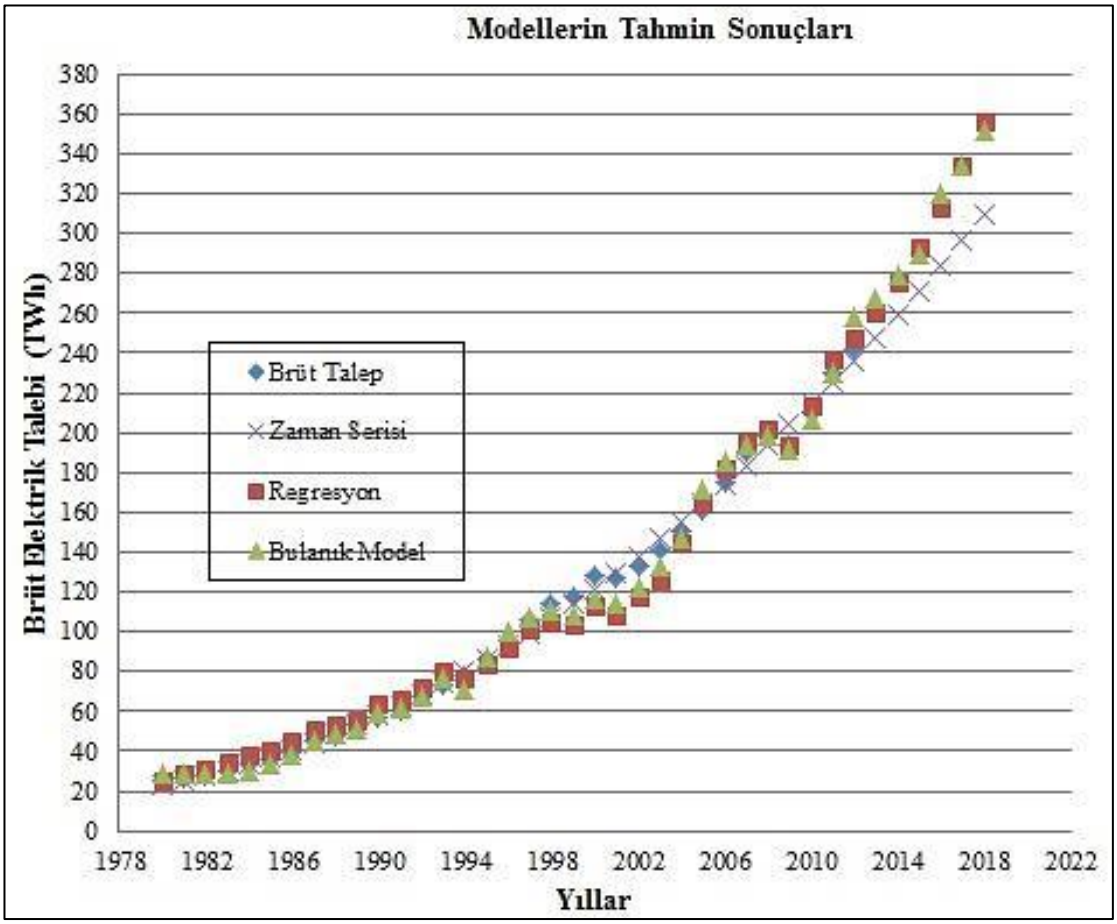
Türkiye'de 1980-2012 yılları arasında gerçekleşen yıllık brüt elektrik enerjisi talep değerleri ve GSYH değerleri Şekil 4.3 te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Türkiye'de 1980-2012 Yılları Arasında Gerçekleşen Yıllık Brüt Elektrik Talep Değerleri ve GSYH Değerleri

Bu değerlere göre kurulan doğrusal regresyon denklemi E=[0,2213GSYH - 0,8454] olarak hesaplanmıştır. Bulunan denklemin R^2 değeri ise 0,9856 olarak hesaplanmıştır. İki değişkenli doğrusal regresyon analizinde, geometrik olarak X-Y düzeyinde olan noktalara en küçük kareler prensibine göre en iyi uyan bir doğru uydurulur. R^2 değeri (Belirlilik Katsayısı) verilerin uydurulan regresyon denklemine ne kadar uyduğunu gösteren istatistiksel bir ölçüdür.

Şekil 4.4'te gerçekleşen yıllık brüt elektrik talebi ile oluşturulan regresyon, bulanık mantık ve zaman serisi modellerinin grafiksel karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 4.4 Oluşturulan Modellerin Grafiksel Karşılaştırılması

Tüm yöntemlerin tahmin performansı ise modellerin ortalama mutlak bağıl hatalarının karşılaştırılmasıyla ortaya konmuştur. Ortalama mutlak bağıl hata formül 4.1 ile hesaplanabilir.

$$AREP = 100.(\frac{1}{N})\sum\left|\frac{E_{Pi} - E_{mi}}{E_{mi}}\right| \quad (4.1)$$

Formülde geçen Ep ve Em değerleri sırasıyla tahmin edilen ve ölçülen yıllık elektrik talep değerleridir. Oluşturulan modellerin ortalama mutlak bağıl hataları karşılaştırıldığında, zaman serisi modelinin hata oranının % 2,75, bulanık modelin hata oranının % 4,81 ve doğrusal regresyon modelinin hata oranının % 7,64 çıktığı görülmektedir. Bu değerler ışığında, zaman serisi modelinin ilgili dönem için Türkiye'nin kısa dönemli yıllık brüt elektrik talebinin tahmin edilmesinde diğer modellere göre daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. Yıllara göre gerçekleşen GSYH ve brüt elektrik talebi ile oluşturulan üç ayrı modelin sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Türkiye Yıllık Brüt Elektrik Talebinin Bulanık Mantık, Regresyon ve Zaman Serisi Yöntemleriyle Tahmin Sonuçları

Yıllar	GSYH (PPP)	Brüt Talep (TWh)	Regresyon (TWh)	Bulanık Model (TWh)	Zaman Serisi (TWh)
1980	116	25	25	28,5	23,1
1981	133	26	29	28,8	25,3
1982	146	28	31	29	27,8
1983	159	30	34	29,4	30,6
1984	176	33	38	29,9	33,6
1985	189	36	41	33,1	37,0
1986	206	40	45	37,9	40,6
1987	234	45	51	45,7	44,5
1988	247	48	54	49,1	48,8
1989	257	53	56	51,6	53,3
1990	291	57	64	59,3	58,0
1991	305	60	67	62,2	63,1
1992	330	67	72	67,1	68,5
1993	365	73	80	76,3	74,1
1994	352	78	77	71,2	80,1
1995	385	86	84	87,3	86,3
1996	420	95	92	100	92,8
1997	460	106	101	107	99,6
1998	480	114	105	111	106,7
1999	470	118	103	109	114,1
2000	513	128	113	117	121,8
2001	495	127	109	114	129,7
2002	534	133	117	122	138,0
2003	574	141	126	133	146,5
2004	659	150	145	147	155,3
2005	747	161	164	171	164,4
2006	825	175	182	186	173,8
2007	888	190	196	194	183,5
2008	914	198	201	199	193,5
2009	877	194	193	192	203,7
2010	970	210	214	207	214,3
2011	1.075	230	237	230	225,1
2012	1.123	242	248	258	236,3
2013	1.181*	N.A.	261	268	247,7
2014	1.249*	N.A.	276	279	259,4
2015	1.330*	N.A.	293	290	271,4
2016	1.417*	N.A.	313	320	283,6
2017	1.513*	N.A.	334	334	296,2
2018	1.614*	N.A.	356	352	309,1

*: IMF Tahminleri.
N.A.: Mevcut Değil.

SONUÇ

Günümüzde hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle elektrik enerjisinin kullanımı her geçen gün daha da artmakta ve elektrik günlük yaşamın vazgeçilmez bir unsuru olmaktadır.

TEİAŞ verilerine göre, Türkiye elektrik talebinin 2022 yılında yüksek ve düşük senaryolara göre sırasıyla 453 ve 378 milyar kWh seviyelerine ulaşması beklenmektedir.[111] Türkiye elektrik enerjisi brüt tüketimi (Türkiye brüt üretimi + dış alım – dış satım) 2011 yılında %9,4 artarak 230,3 Milyar kWh, 2012 yılında ise %5,2 artış ile 242,4 Milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2012 yılında puant talep[112] 39.045 MW, minimum yük 13.922 MW olarak gerçekleşmiştir.

Ülkelerin milli hasılaları arttıkça, günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olan elektrik enerjisi tüketimleri de artmaktadır. Artan tüketimin ve talebin yanında günümüzdeki teknolojik gelişmelere rağmen elektriğin henüz ekonomik olarak depolanamaması ve elektriğin üretildiği anda tüketilmesi gereken bir kaynak olması nedeniyle elektrik enerjisi talebinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi giderek önem kazanmaktadır.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için öncelikle enerji arz güvenliği sağlanmalı ve etkin bir elektrik sistemi planlaması yapılmalıdır. Elektrik sistem planlamasının amacı kullanıcıların

[111] TEİAŞ, **Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu**, 2013, s.19

gelecekteki taleplerini en ekonomik, güvenilir ve kaliteli bir şekilde karşılayabilmektir. Bu nedenle, doğru elektrik talep tahmini etkin bir elektrik sistem planlaması için önemli rol oynamaktadır.

Elektrik enerjisi talep tahminlerinin doğru yapılabilmesi durumunda elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerine yönelik hangi yatırımların ne şekilde ve ne zaman yapılması gerektiği belirlenebilmekte, elektrik enerjisi arz güvenliği için doğru yatırım kararları ve stratejiler geliştirebilmek mümkün olabilmektedir.

Elektrik enerjisi talebinin olması gerekenden düşük tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak yanlış sistem tasarımı ve planlamasına sahip olunması halinde, mecburi elektrik kesintileri gibi pek çok sıkıntının ortaya çıkması ve bu nedenle ekonomik büyüme ve bireysel refah artışının sekteye uğraması gündeme gelmektedir. Talebin olması gerekenin çok üzerinde tahmin edilmesi ve özellikle uzun vadeli yatırım kararlarının, bu şekilde belirlenmesi durumunda ise; yüksek miktardaki kapasitenin atıl hale gelmesi, yatırımlar için harcanan paranın ihtiyaç duyulan diğer alanlara tahsis edilememesi nedeniyle kaynak dağılımının yanlış yapılması ve kaynak israfı kaçınılmaz olmaktadır.

Elektrik enerjisi talep tahmin yöntemleri iki geniş kategoriye ayrılabilir: Parametrik Yöntemler ve Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler. Yapay Zeka Tabanlı Yöntemler ise yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, genetik algoritmalar, bulanık mantık ve uzman sistemler olarak alt sınıflara ayrılabilir. Parametrik Yöntemler yük talebini onu etkileyen faktörlere bir matematiksel model ile

ilişkilendirmeye dayalıdır. Parametrik yük tahmin yöntemleri de kendi içinde trend analizi, son kullanım (end-use) metodu ve ekonometrik modeller olarak üçe ayrılabilir. Yapay zeka tabanlı yöntemlerden bulanık mantık, parametrik tahmin yöntemlerinden ise zaman serisi (trend analizi) yöntemi bu çalışmada kolay anlaşılır ve pratik yöntemler olması nedeniyle tercih edilen yöntemler olmuştur.

Bu çalışmada Türkiye'nin kısa dönem yıllık brüt elektrik talebi üç farklı yöntem (bulanık mantık, zaman serisi ve regresyon) ile tahmin edilmiş ve bu yöntemlerin ortalama mutlak bağıl hata oranları kıyaslanarak oluşturulan modellerin performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Oluşturulan modellerin ortalama mutlak bağıl hataları karşılaştırıldığında, zaman serisi (trend analizi) modelinin hata oranının % 2,75, bulanık modelin hata oranının % 4,81 ve doğrusal regresyon modelinin hata oranının % 7,64 çıktığı görülmektedir.

Bu değerler ışığında, zaman serisi modelinin ilgili dönem için Türkiye'nin kısa dönemli yıllık brüt elektrik talebinin tahmin edilmesinde diğer iki modele göre daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

Yapılan tahminlere göre Türkiye'nin brüt elektrik talebi 2018 yılında 300 TWh'in üzerinde gerçekleşecektir. Buna göre, ülkedeki sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi, elektrik kesintilerinin yaşanmaması ve bireysel refahın sekteye

uğramaması için gerekli yatırımların vakit kaybetmeden hayata geçirilmesi, üretim dağıtım ve iletim alt yapısının her geçen gün geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, enerji piyasası açısından kavşak noktası konumunda bulunan Türkiye'deki elektrik talebinin gerek ekonometrik yaklaşımlar ve gerekse bulanık mantık gibi yapay zeka tabanlı yaklaşımlar ile başarılı bir şekilde tahmin edilebildiği ampirik uygulamalar sonucunda belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

A Plus Energy, **Turkish Electricity Market Long Term Price Forecasting Study**, 2013, s.34.

Akay, D. ve Atak, M., 2007, **Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey**, Energy 32(9), s.1670-1675.

Akı, S., 2002, **Eşanlı Denklem Sistemleri ve Bulanık Regresyon Analizi ile Bir Uygulama**, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Altaş, İ. H., 1999, **Bulanık Mantık: Bulanıklık Kavramı**, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, Sayı 62, s.85.

Altınay, G., 2007, **Elektriğin Ülke Ekonomisindeki Yeri ve Önemi**, Enerji Hukuku, Cilt I, Ekin Yayınları, s.3.

Altınay,G.,2010, **Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü**, Enerji, Piyasa ve Düzenleme 1, s.1-23.

Armağan, H., 2008, **Öğrenci Akademik Performans Değerlendirmesi için Yeni Bir Yaklaşım**, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, s.7.

Bakırtaş, T., Karbuz S., ve Bildirici M., 2000, **An Econometric Analysis of Electricity Demand in Turkey**, METU Studies in Development, 27, (1-2), s.23-34.

Bilgili, M., 2009, **Estimation of Net Electricity Consumption of Turkey**, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 29, 2, s.89-98.

Bilgili, M., Şahin, B., Yaşar, A.. ve Şimsek, E., 2012, **Electric Energy Demands of Turkey in Residential and Industrial Sectors**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, s.404– 414.

Çavuş, U. Ş., 2004, **Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (fuzzy logic modelling) ile Değerlendirilmesi**, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, s.34-35.

Demirel, Ö., Kakıllı A. ve Tektaş, M., 2010, **Anfis ve Arma Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini**, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi 25-3, s.601-610.

Dilaver, Z. ve Hunt, L. C., 2011, **Industrial Electricity Demand for Turkey: A Structural Time Series Analysis**, Energy Economics, 33, s.426–436.

Dilaver, Z. ve Hunt, L. C., 2011, **Turkish Aggregate Electricity Demand: An Outlook to 2020**, Energy 36, s.6686-6696.

Dilaver, Z. ve Hunt, L.C., 2011, **Modelling and Forecasting Turkish residential Electricity Demand**, Energy Policy Energy Policy, Cilt 39, s.3117-3127.

Dökmen, Ü., 2004, **Küçük Şeyler**, Sistem Yayıncılık, İstanbul, s.88.

Elektrik Mühendisleri Odası, **Türkiye'de Elektrik Enerjisi Gelişiminin Kısa Tarihçesi ve Genel Üretim Bilgileri**, http://www.emo.org.tr/ekler/0082ac261d74f5a_ek.pdf, Erişim: 24.02.2014

Emel, G.G. & Taşkın, Ç., 2002, **Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları**, Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 21, Sayı 1,s.130.

EPDK, 2012, **Enerji Yatırımcısı El Kitabı**, s.21

Erdogdu,E., 2007, **Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey**, Energy Policy, Vol. 35, No. 2, s.1129-1146.

Erdoğdu,E., 2006, **Türkiye Enerji Piyasası Reformları: Ekonomik Analiz**, EPDK Uzmanlık Tezi, Ankara, s.39.

Feinberg, E.A. ve Genethliou,D., 2005, **Applied Mathematics for Restructured Electric Power Systems: Optimization, Control, and Computational Intelligence Chapter 12: Load Forecasting**, Spinger, s. 269-285.

Ghods, L. ve Kalantar, M., 2011, D**ifferent Methods of Long-Term Electric Load Demand Forecasting; A Comprehensive Review**, Iranian Journal of Electrical&Electronic Engineering, Vol 7, No 4, s.249

Ghosh, S., 2002, **Electricity Consumption and Economic Growth in India**, Energy Policy, Cilt 30,125-129.

Görgülü, Ö., 2007, **Bulanık Mantık Teorisi ve Tarımda Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma**, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mustafa Kemal Üniversitesi, s.3.

Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., 2004, **Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahm**ini, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 19, No:3, s.227-233.

Hamzaçebi,C. ve Es, H. A., 2014, **Forecasting The Annual Electricity Consumption of Turkey Using an Optimized Grey Model**, Energy, in Press.

Hamzaçebi,C., 2007, **Forecasting of Turkey's Net Electricity Energy Consumption on Sectoral Bases**, Energy Policy, Cilt.35, No. 3, s.2009-2016.

IEA, Uluslararası Enerji Ajansı, 2012, **2012 Key World Energy Statistics**, s.28.

Işıklı, Ş., 2008, **Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler**, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Felsefe Bölümü Dergisi, c.19, s.105-126.

Jumbe, C. B. L, 2004, **Cointegration and Causality Between Electricity Consumption and GSYH: Empricial Evidence From Malawi**, Energy Economics, 26, 61-68.

Karamustafaoğlu, M., 2006, **Elektrik Üretimi Pazarındaki Mevcut Sözleşmelerin Pazarın Rekabetçi Yapısı Üzerindeki Etkileri**, Rekabet Kurumu Uzmanlık Tezi, s.30.

Kavaklıoğlu, K., 2011, **Modeling and Prediction of Turkey's Electricity Consumption Using Support Vector Regression**, Applied Energy 88-1, s.368–375.

Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Öztürk H. K. ve Canyurt O. E., 2009, **Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks**, Energy Conservation and Management Cilt 50, No. 11, s.2719-2727

Keleş, M.S., 2005, **Elektrik Enerjisi Talep Tahminleri ve Türkiye Ekonomisine Olan Etkileri**, Hazine Müsteşarlığı, Uzmanlık Tezi, s.2.

Kıran, M.S., Özceylan, E., Gündüz, M. ve Paksoy,T., 2012, **Swarm Intelligence Approaches to Estimate Electricity Energy Demand in Turkey**, Knowledge-Based Systems 36, s.93–103.

Küçükali, S. ve Barış,K., 2010, **Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach**, Energy Policy 38, s.2438–2445.

Küçükdeniz,T., 2010, **Long Term Electricity Demand Forecasting: An Alternative Approach With Support Vector Machines**, Istanbul Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 1, s.45-53.

Mozumder, P. ve Marathe, A., 2007, **Causality Relationship Between Electricity Consumption and GSYH in Banglades**h, Energy Policy, 35(1), 395-402.

Oğcu,G., Demirel, O.F. ve Zaim,S., 2012, **Forecasting Electricity Consumption With Neural Networks and Support Vector Regression**, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Cilt 58, s.1576–1585.

Özkaya, A., 2012, **Elektrik Piyasasında Etkin Regülasyon ve İzleme**, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Uzmanlık Tezi, s.94.

Öztürk, H. K., Ceylan,H., Canyurt, O. E. ve Hepbaşlı A., 2005, **Electricity estimation using genetic algorithm approach: A case study of Turkey**, Energy, Cilt. 30, No. 7, s.1003-1012.

Öztürk, H.K. ve Ceylan,H., 2005, **Forecasting total and industrial sector electricity demand based on genetic algorithm approach: Turkey case study**, International Journal of Energy Research, Cilt 29, No. 9, s.829-840.

Paksoy, T. , 2012, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, **Bulanık Küme Teorisi**, http://www.turanpaksoy.com/dersnotlari/bulanikkumeteorisi5.pdf, Erişim: 29.12.2012.

Pınarbaşı, M., 2009, **Elektrik Enerjisi Sistemlerinde Talep Tahmin Yöntemleri ve Yapay Sinir Ağları Uygulaması**, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s. 52-53.

Polater, H.M., 2013, **Long Term Elektrical Supply-Demand Balance of Turkey**, Middle East Technical University, Electrical and Electronics Engineering, Master Thesis, s.4.

Rufael, Y. W., 2006, **Electricity Consumption and Economic Growth : A Time Series Experience For 17 African Countries**, Energy Policy, 34(10), 1106-1114.

Sarı, M., Murat, Y. Ş., ve Kırabalı, M., 2005, **Bulanık Modelleme Yaklaşımı Ve Uygulamaları**, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, c.9, s.77.

Shiu, A., ve Lam, P. L., 2004, **Electricity Consumption and Economic Growth in China**, Energy Policy, 32, 47-54.

Şahin, F.,2009, **Çimento Hammadde ve Üretim Sürecinde Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Kullanımı**, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, s. 14-16.

Şen, Z., 2004, **Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri**, Su Vakfı Yayınları, 2004, s.100-120.

Şener, F., 2005, **Yük Tahmin Yöntemleri ve Ankara Merkez Metropol Alan İçin Regresyon Analizi Yöntemi Kullanılarak Uygulanması**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, s.26-43.

TEDAŞ, 2012, **2012 yılı Faaliyet Raporu**, s.22.

TEİAŞ, 2009, **Elektrik Tarihi**, Elektronik Bülten, http://www.teias.gov.tr/eBulten/makaleler/2009/okulyeni2/tarih.html, Erişim: 24.02.2014

TEİAŞ, 2013, **Türkiye Elektrik Enerjisi 5 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu.**

TEİAŞ, **Türkiye Elektrik İstatistikleri**, http://www.teias.gov.tr/istatistikler.aspx, Erişim: 24.02.2014

TEİAŞ, **Yük Dağıtım**, http://www.teias.gov.tr/yukdagitim/ Erişim: 25.02.2014

Toksarı, M D., 2009, **Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey**, Energy Policy 37 (3), s.1181–1187.

Topallı, A. K. , Erkmen, İ. ve Topallı, İ., 2006, **Intelligent Short-Term Load Forecasting in Turkey**, Electrical Power and Energy Systems, 28, s.437-447.

Topçu, F. H.,2011, **Hidroelektrik Santrallarında Kamu ve Özel Sektörün Rolünün Değişimi ve Yarattığı Sorunlar**, Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, s.227.

Türe, H., 2006, B**ulanık Doğrusal Programla ve Bir Uygulama**, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, s.5.

Yılmaz, V., 2010, **Enerji Talebi ve Tokat'ta Elektrik Enerjisi Talebi Üzerine Bir Uygulama**, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dali, Yüksek Lisans Tezi, s.84.

Yiğit, V., 2011, **Genetik Algoritma ile Türkiye Net Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2020 Yılına Kadar Tahmini**, International Journal of Engineering Research and Development, 3-2, s.37-41.

Yumurtacı, Z. ve Asmaz, E., 2004, **Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050**, Energy Sources 26, 2004, s.1157–1164.

Yüksek, Ö., 2008, **Reevaluation of Turkey's hydropower potential and electric energy demand**, Energy Policy, Cilt 36, No. 9, s.3374–3382.

Zadeh, L., 1965, **Fuzzy Sets**, Information and Control, c.8, s.338-353.

6446 sayılı **Elektrik Piyasası Kanunu**, 2013.

ÖZET

Hızlı ekonomik büyüme ile birlikte elektrik talebi de önemli derecede artış göstermektedir. Sürdürülebilir ekonomik büyüme ve kalkınma için sürekli ve yeterli elektrik arzı çok önemlidir. Diğer taraftan elektrik enerjisinin günümüz teknolojileri ile ekonomik olarak depolanamaması ve üretildiği anda tüketilmesi gereken yapısı nedeniyle elektrik talep tahminlerinin doğru bir şekilde yapılması elektrik arz ve talebinin karşılanması için büyük önem arz etmektedir. Son yıllarda Dünya'daki en büyük ekonomik büyüme oranlarından birine sahip olan Türkiye'nin de elektrik talep tahminlerine diğer pek çok ülkeden daha fazla önem göstermesi gerekmektedir.

Elektrik talebi büyüme oranının gayri safi yurtiçi hasıla ile yüksek ilişkisi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu ampirik çalışmada birden çok parametre içeren diğer elektrik talep tahmin yöntemlerinin aksine sadece satın alma gücü paritesine göre belirlenmiş gayri safi yurtiçi hasıla verileri Türkiye'nin kısa dönem brüt yıllık elektrik talebinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Zaman serisi, regresyon ve bulanık mantık adıyla bilinen üç adet matematiksek yöntemle yapılan tahminler mutlak bağıl hata oranlarına göre karşılaştırılmıştır. Mutlak bağıl hata oranlarına göre, eldeki verilerle zaman serisi modelinin Türkiye'nin brüt yıllık elektrik talep tahmininde diğer iki yönteme göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda, trend analizi, bulanık mantık ve regresyon gibi yöntemlerin Türkiye'nin elektrik talep tahminin de kullanılabileceği ve elektrik piyasasındaki karar vericilere önemli bilgi sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

With rapid economic growth the demand for electricity is increasing significantly. In order to have sustainable economic growth, continuous and adequate power supply is crucial. On the other hand, since electricity cannot be stored economically and has a characteristic of coincidence of generation and consumption, forecasting electricity demand accurately is very important in order to balance supply and demand. Turkey which is an emerging country with one of the most rapid economic growth rate in the World has to consider electricity demand forecasting more than any other country.

It is known that the electricity demand growth rate and gross domestic product (GSYH) growth rate are highly correlated. Therefore, in this empirical study, unlike many other forecasting models for electricity demand, which usually includes more than one parameter, only GSYH based on purchasing power parity is used in order to estimate gross annual electricity demand of Turkey. The results of three different mathematical methods, namely; time series, regression and fuzzy logic are compared according to the absolute relative errors. Based on the absolute relative errors, we conclude that time series model has better forecasting performance than the other two methods for estimating gross annual electricity demand of Turkey based on the available data. In this regard, it can be concluded that the models include trend analyses and fuzzy logic approaches could give significant results in estimating the electricity demand of Turkey and would provide crucial information for decision makers in electricity market.