

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE ENERJİ PLANLAMASI İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR
MODEL ÖNERİSİ**

ABİT BALIN

**DOKTORA TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. HAYRİ BARAÇLI**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE ENERJİ PLANLAMASI İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR
MODEL ÖNERİSİ**

Abit BALIN tarafından hazırlanan tez çalışması 25.02.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail ADAK
Yalova Üniversitesi

Doç. Dr. S. Hakan SEVİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. A. Fuat GÜNERİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Osman KULAK
Pamukkale Üniversitesi

ÖNSÖZ

Enerji, tüm dünyada sosyal ve ekonomik kalkınmanın en temel girdilerinden olup her geçen gün önemi daha da artmakta ve dünyadaki stratejik konumunu da uzun yıllar koruyacağı düşünülmektedir. Bu durum tüm ülkelerin sahip oldukları enerji kaynaklarını verimli kullanması gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından her geçen gün daha fazla yararlanması sağlanarak arz güvenliği, eşit koşullarda yararlanma, enerji üretirken veya tüketirken çevreye olan etkileri gibi temel konular dikkate alınarak enerji kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir bir plan çerçevesinde kullanımının yeniden yapılandırılması önem arz etmektedir.

Böyle önemli bir konuda çalışmak bana son derece önemli bir akademik bakış açısı ve tecrübe kazandırdı. Bu önemli konuyu çalışırken vermiş olduğu değerli katkılardan ve izlemiş olduğu etkin rehberlik politikasından dolayı hocam Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI'ya, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof. Dr. İsmail ADAK'a ve tez süresince göstermiş oldukları kıymetli katkılarından dolayı ve bir akademisyen olarak çok iyi bir örnek olan Doç. Dr. Hakan Süleyman SEVİLGİN'e,

Talep tahmini konusunda bana yardımda bulunan Doç. Dr. Mehmet TEKTAŞ'a, çalışmam sırasında her türlü desteğini ve yardımını esirgemeyen Doç. Dr. İhsan KAYA'ya, uygulamalar konusunda ilgi ve bilgisini iyi niyetiyle paylaşan sevgili arkadaşım Ar. Gör. Erkan ÇELİK'e, bilgi ve yorumlarından sürekli faydalandığım Ali KARAGÖZ'e, araştırma ve kaynak taramalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Ar. Gör. Samet SUBAŞI'ya ve Ar. Gör. Cafer AVCI'ya, tez çalışmam süresince desteğini ve sabrını esirgemeyen değerli arkadaşım Ar. Gör. Hakan DEMİREL'e, hastalandığımda benim için çabalayan Doktor Turhan ÇAVUŞOĞLU'na,

Tüm eğitimim boyunca sürekli yanımda olan; özellikle manevi destelerini her an arkamda hissettiğim annem ve babam olmak üzere, onlarsız bu çalışmayı asla gerçekleştiremeyeceğim ve her konudaki büyük destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ağabeylerim, ablam ve kardeşime,

Teşekkürlerimi sunuyorum...

Şubat, 2014

Abit BALIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	VI
KISALTMA LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	X
ÇİZELGE LİSTESİ.....	XII
ÖZET	XIV
ABSTRACT.....	XVI
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
TÜRKİYE’NİN VE DÜNYA’NIN MEVCUT ENERJİ KULLANIM DURUM ANALİZİ	6
2.1 Enerji Kaynakları.....	6
2.1.1 Klasik Enerji Kaynakları.....	7
2.1.2 Alternatif Enerji Kaynakları.....	8
2.2 Enerjide verimlilik	9
2.3 Enerji-Çevre İlişkisi.....	11
2.3.1 Dünya’da Ve Türkiye’de Enerji Kaynaklarının CO ₂ Verileri.....	12
2.4 Birincil Enerji Arzında Dünya’daki Gelişmeler.....	13
2.5 Birincil Enerji Arzında Türkiye’deki Gelişmeler ve Projeksiyonlar	20
2.5.1 Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye’nin Birincil Enerji Arzı	21
2.5.2 Birincil Enerji Üretiminde Türkiye Verileri.....	23
2.5.3 Enerji Ticaretinde Türkiye Verileri	24
2.6 Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Kömür Verileri.....	25
2.6.1 Dünya’da ve Türkiye’de Kömür Rezervleri.....	25
2.6.2 Dünya’da ve Türkiye’de Kömür Üretim ve Tüketimleri	28
2.7 Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Petrol ve Doğal Gaz Verileri.....	30
2.7.1 Dünya’da Petrol ve Doğalgaz Rezervleri.....	31
2.7.2 Dünya’da ve Türkiye’de Petrol Üretim ve Tüketimi.....	33
2.8 Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Hidrolik Verileri.....	41
2.8.1 Türkiye Hidrolik Su Potansiyeli	42

2.9	Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Rüzgar Verileri	43
2.9.1	Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli	44
2.10	Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi Verileri..	45
2.11	Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Nükleer Enerji Verileri..	46
2.12	Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Biyoyakıt Enerjisi Verileri	49
2.13	Türkiye ve Dünya Enerji Kaynakları Durum Değerlendirmesi ve SWOT Analizi.....	52
 BÖLÜM 3		
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....		61
 BÖLÜM 4		
PROBLEM ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN YÖNTEMLER		74
4.1	Temel Bileşenler Analizi	75
4.2	Bulanık Sinir Ağı.....	78
4.2.1	Yapay Sinir Ağı	78
4.2.2	Bulanık Mantık	80
4.2.3	Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi	81
4.3	Karar verme Yöntemleri	86
4.3.1	Analitik Hiyerarşi Proses	86
4.3.2	TOPSIS metodu	91
4.3.3	Tip-2 Bulanık Kümeler	93
4.3.4	Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreç Metodolojisi	99
4.3.5	Tip-2 Bulanık TOPSIS Metodolojisi	100
 BÖLÜM 5		
ÖNERİLEN MODELİN TÜRKİYE ENERJİ PLANLAMASINDA UYGULANMASI		104
5.1	Problemin tanımlanması	104
5.2	Temel Bileşenler Analizi ile Veri Analizi	105
5.3	Türkiye’nin Uzun Dönemli Enerji Planlamasında Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Enerji Talebi Modeli.....	111
5.4	Türkiye’de Enerji Alternatifleri Konusunda Karar Vermeye Yönelik Bir Gerçek Durum Uygulaması	117
 BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		127
KAYNAKLAR		135
ÖZGEÇMİŞ		150

SİMGE LİSTESİ

$FPIS, d_i^+$	Pozitif İdeal Çözüme Olan Uzaklık
$FNIS, d_i^-$	Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklık
CC_i	Yakınlık Katsayısı
x^+	Pozitif İdeal Çözüm
x^-	Negatif İdeal Çözüm
$\bar{Y}_w^*$	Karar Matrisi Ağırlıkları
$\tilde{v}_{ij}$	Tip-2 Aralıklı Bulanık Küme
K	Karar Vericilerin Sayısı
W_p	Ağırlıklandırma Matrisi
$\bar{W}$	Ortalama Ağırlıklandırma Matrisi
Y_p	Karar Matrisi
$\bar{Y}$	Ortalama Karar Matrisi
P^{th}	Karar Verici Sayısı
$\tilde{w}_i$	Kriterin Tip-2 Aralıklı Bulanık Ağırlığı
$\tilde{r}_i$	Bulanık Geometrik Ortalama
$\tilde{M}$	Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri
$\tilde{A}$	Tip-2 Aralıklı Bulanık Küme
$\tilde{A}_i^U$	İkizkenar Yamuk Biçimli Üst Üyelik Fonksiyonu
$\tilde{A}_i^L$	İkizkenar Yamuk Biçimli Alt Üyelik Fonksiyonu
$Rank(\tilde{A}_i)$	$\tilde{A}_i$ Sıralama Değeri
$\tilde{A}_i^U$ ve $\tilde{A}_i^L$	Tip-1 Bulanık Kümeler
X	Birincil Değişken
U	İkincil Değişken
RI	Random Gösterge
CI	Tutarlılık Göstergesi
λ	Temel Değer
Z_s	Gerçek Değer,
Z_0	Tahmini Değer,
$\bar{Z}_0$	Tahmin Edilen Değerin Ortalaması
N	Tahmin Sayısı

$\bar{W}$	Normalleştirme Tabakasının Çıkışı
O_i^2	Güçlü Ateşleme
μ_{A_i} Ve μ_{B_i}	A_i Ve B_i Dilsel İfadelerin Üyelik Fonksiyonları
A_i Ve B_i	Dilsel İfadeler
Q	Çıktı Düğümü Olan
$\phi^*(\cdot)$	Aktivasyon Fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Bevletleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANFIS	Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi
ANN	Analitik Ağ Süreci
ARIMA	Auto-Regressive Entegre Hareketli Ortalama
ARIMA	Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama
BAE	Birleşik Arap Emirlikleri
BEER	Bina Enerjisi Verimliliği İyileştirmesi
DA	Diskriminant Analizin
DEA	Veri Zarflama Analizi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ESDPM	Dünya akıllı Dijital Güç Ölçer
FL	Bulanık Mantık
FMEA	Hata Türü Ve Etkileri Analizi
FSU	Eski Sovyetler Birliği ülkeleri
GMDH	Veri İşleme Ağları Grubu Yöntemi
GSYH	Gayri Safi Yurtiçi Hasılası
GW	Gigawatt = 10^3 MW
GWh	Gigawatt-saat = 10^6 kWh
H-EL	Hidroelektrik-Elektroliz
HES	Hidro Elektrik Santralleri
Kep	Kilogram Petrol Eşdeğeri
kW	Kilowatt = 10^3 watt
kWh	Kilowatt-saat = 10^3 watt-saat
LEAP	Enerji Alternatifleri Planlama Sistemi
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz
LOWA	Linguistic Ordered Weighted Averaging
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MCDM	Çok Kriterli Karar Verme
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
MTEP	Milyon Ton Petrol Eşdeğeri
MW	Megawatt = 10^3 kW
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
OPECT	Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
PEKT	Petrol Eşdeğer Kiloton

PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
PSO-GA	Sürü Optimizasyon Algoritmasının-Genetic Algoritması
RBFN	Radyal Taban Fonksiyonlu Sinir Ağları
RMSE	Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
SPSS	Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paketi
SWOT	Güçlü, Zayıf, Fırsatlar, Tehditler
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TBA	Temel Bileşenler Analizi
TEP	Ton Petrol Eşdeğeri
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TW	Terawatt = 10^3 GW
TWh	Terawatt-saat = 10^9 kWh
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Enerji kaynaklarının sınıflandırılması7
Şekil 2.2	Yıllar itibari ile birincil enerji yoğunluğu10
Şekil 2.3	1970-2030 Yılları arasındaki dönemlerde enerji-nüfus ilişkisi değişim oranı14
Şekil 2.4	Kaynaklar bazında dünya birincil enerji tüketimi (%),2011-2012.....14
Şekil 2.5	OECD üyesi ve OECD üyesi olmayan ülkeler için birincil enerji talebi16
Şekil 2.6	OECD üyesi ve OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji kullanım oranı17
Şekil 2.7	Sektör bazlı enerji tüketiminde büyüme18
Şekil 2.8	Dünya’da enerji yoğunluğu ve yakıt türüne göre dağılım ilişkisi19
Şekil 2.9	Türkiye toplam birincil enerji arzı ve 2020-2035 yılları talep tahmini20
Şekil 2.10	Türkiye 2011 yılı birincil enerji arzı.....21
Şekil 2.11	1990-2011 yıllarında türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı23
Şekil 2.12	Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların payı23
Şekil 2.13	1990-2011 yılları arasında türkiye toplam enerji ticareti.....24
Şekil 2.14	1990-2011 Türkiye enerji ithalatında kaynakların miktarı25
Şekil 2.15	2009 yılı ülkelerin kömür rezervi26
Şekil 2.16	Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı26
Şekil 2.17	1990-2030 Yılları arası kömür tüketim miktarı27
Şekil 2.18	2001-2011 yıllarında dünya kömür üretimi28
Şekil 2.19	2011 Yılı ülkelerin kömür üretimi29
Şekil 2.20	2011 yılı ülkelerin kömür üretim payları29
Şekil 2.21	2011 yılı ülkelerin kömür tüketimi30
Şekil 2.22	1990-2030 yılları arasında sıvı yakıt talebindeki büyüme miktarı.....31
Şekil 2.23	1990-2030 yılları arasında petrol pazarında OPECT’in durumu32
Şekil 2.24	Kaynaklar bazında birincil enerji tüketimi (%).....33
Şekil 2.25	Doğal gaz talebinde büyüme miktarı.....36
Şekil 2.26	Doğal gaz talebinin ikame yakıtlar ile desteklenmesi37
Şekil 2.27	2002 - 2011 dönemi doğalgaz üretimi38
Şekil 2.28	2011 yılı sonu itibarıyla doğal gaz rezervi.....38
Şekil 2.29	Ülkeler bazında türkiye’nin doğal gaz ithalatı (2010).....39

Şekil 2.30	2011 yılı doğal gaz sektörel tüketim payları	40
Şekil 2.31	Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında gelişimi (1971-2011)	40
Şekil 2.32	Türkiye’de 2011 yılı birincil enerji tüketiminde kaynakların durumu ...	41
Şekil 2.33	Dünya’daki su potansiyelinin dağılımı	41
Şekil 2.34	Hidroelektrik santrallerinin mevcut durumu	43
Şekil 2.35	Türkiye kümülâtif rüzgâr kurulu gücü (1999-2011).....	45
Şekil 4.2	Üç katmanlı ANN algılayıcı model yapısı	79
Şekil 4.3	Üçgen üyelik fonksiyonu	81
Şekil 4.4	Genel ANFIS yapısı	82
Şekil 4.5	Tahmin sisteminin genel yapısı	86
Şekil 4.6	Tip-1ve Tip-2 üyelik fonksiyonları.	94
Şekil 4.7	İkizkenar yamuk biçimli tip-1 bulanık küme	95
Şekil 4.8	Tip-2 aralıklı bulanık küme $\tilde{A}$ ’nın ikizkenar yamuk biçimli üyelik fonksiyonu.....	97
Şekil 4.9	Önerilen tip-2 aralıklı bulanık AHP-TOPSIS hibrit metodoloji	103
Şekil 5.1	ANFİS model yapısı	111
Şekil 5.2	Çıkışın eğitilmesi.....	112
Şekil 5.3	Çıkışın test edilmesi.....	112
Şekil 5.4	Yirmi beş yıllık veri için eğitim grafiği	112
Şekil 5.5	Altı yıllık veri için test grafiği.....	112
Şekil 5.6	Hatanın iterasyon sayısına göre değişimi	113
Şekil 5.7	Gaussmf üyelik fonksiyonunun eğitimden önceki giriş değeri	114
Şekil 5.8	Gaussmf üyelik fonksiyonunun eğitimden sonraki giriş değeri	114
Şekil 5.9	MATLAB-ANFİS model yapısı.....	115
Şekil 5.10	Yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçiminin hiyerarşik yapısı.....	118

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Enerji türlerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması.....11
Çizelge 2.2	2010 yılı dünya ve türkiye için enerji kaynaklı co ₂ ilişkin değerler13
Çizelge 2.3	Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarı ve payı.....15
Çizelge 2.4	Türkiye toplam birincil enerji arzı içinde kaynakların miktarı ve payı22
Çizelge 2.5	Enerji talep–üretim–ithalat ve ihracatının gelişimi (Bin TEP).....24
Çizelge 2.6	Petrol üretim-tüketim (milyon ton).....34
Çizelge 2.7	Dünya doğal gaz üretim ve tüketim (Milyar m ³)35
Çizelge 2.8	Türkiye genel enerji tüketiminde kaynakların payları.....37
Çizelge 2.9	Dünya’da en yüksek hidroelektrik üretim yapan 10 ülke42
Çizelge 2.10	Global rüzgâr enerjisi pazarındaki ilk on ülke (2011)44
Çizelge 2.11	Ekim 2012 itibariyle işletmede, inşa halinde ve planlanan nükleer47
Çizelge 2.12	2010-2012 yıllarına göre Türkiye’nin karşılaştırmalı enerji görünümü54
Çizelge 4.1	Random gösterge (RI) değerleri90
Çizelge 5.1	Son on yılda talep tahmini için en çok kullanılan değişkenler107
Çizelge 5.2	Talep tahmini için kullanılan TBA analiz verileri.....109
Çizelge 5.3	Değişkenlerin korelasyon matrisi(pearson (n))110
Çizelge 5.4	ANFIS modelinden elde edilen, 2006-2010 dönemine ait projeksiyon115
Çizelge 5.5	ANFIS yöntemleriyle 2006-2007 yılları için tüketilen enerjinin tahmini değerleri.....116
Çizelge 5.6	Kriterlerin ikili karşılaştırmaları için kullanılan bulanık değerler..120
Çizelge 5.7	Alternatiflerin ikili karşılaştırmaları için kullanılan bulanık değerler120
Çizelge 5.8	Değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisinin dilsel ifadesi.121
Çizelge 5.9	Ağırlıkların saptanması için uygulanan tip-2 bulanık AHP metodunun sonuçları.122
Çizelge 5.10	Alternatiflerin değerlendirme sonuçları için dilsel ifade matrisi....123

Çizelge 5.11	Bulanık ağırlıklandırılmış karar matrisi.	124
Çizelge 5.12	Tip-2 aralıklı bulanık kümeler yöntemine dayalı bulanık çok kriterli karar verme yöntemiyle elde edilen sonuçlar.	126

TÜRKİYE ENERJİ PLANLAMASI İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ BİR MODEL ÖNERİSİ

Abit BALIN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI

Toplumsal gelişmeye esas teşkil eden çok önemli bir dayanak olan enerji, çevresel bir etken olarak da insanoğlunun hayatta kalması ve gelişmesi için yaşamsal bir role sahiptir. Dünyanın temel enerji kaynağındaki fahiş fiyat artışı ve Türk ekonomisinin hızlı gelişimi ile birlikte Türkiye'nin enerji tüketimi büyük bir sorun haline gelmiştir.

Bu durumu ortadan kaldırmak için gelecekle alakalı doğru tahminler yapmamızı sağlayacak karar verme süreçleri oluşturmak zorunluluğu da ortaya çıkmaktadır. Doğru tahminler; taahhütleri, üretimleri ve bakım planlamaları gibi konularda kurumlara çok büyük yardımlar sağlayabilir. Bu nedenle kurumların gelecek ile ilgili talepleri, doğruya en yakın bir şekilde önceden görme ihtiyacı duymaktadır. Gelecekle ilgili karar vermek birçok belirsizliği içerdiğinden, bu kararları uygulamak oldukça zordur. Düzenli bir veri yönetim metodu olan Yapay Sinir Ağları enerji talebi tahmininde oldukça popülerdir. Bu çalışmada, alternatif bir yaklaşım olarak Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) önerilmektedir.

Gelecek ile alakalı gerekli enerji miktarının bilinir olması aynı zamanda, Türkiye'nin hangi enerji kaynaklarını nasıl kullanacağı konusunda belirli çalışmalar yapmayı da gerektiriyor. Bu nedenle, karar vericilerin seçim kriterlerinin göreceli önemi konusundaki görüşleri tip-2 bulanık kümelerle dayalı bulanık bir Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak belirlenmiş ve en iyi enerji alternatiflerini sıralamak için tip-2 aralıklı TOPSIS metoduna dayalı bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi kullanılmıştır. Bu çalışmada, tip-2 bulanık kümeler, gerçek dünya uygulamalarının belirsizliğini ve bulanıklığını temsil etmede daha fazla serbestlik derecesi sağladığından dolayı kullanılmıştır.

Türkiye'nin enerji talebini tahmin etmek için Yapay Sinir Ağı (ANN) ve bulanık mantık (FL) metotlarını birleştiren ANFIS metodu tahmin aracı olarak incelenmektedir. Önerilen model, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığından elde edilen ve Temel Bileşenler Analiz (TBA) metodu ile işlenmiş veri setlerini ANFIS uygulamasını kullanarak Enerji talebini tahmin etmektedir. ANFIS metodu ile elde edilen sonuçların doğruluğu üzerinde etkin performan gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, ANFIS modeli enerji tahminlemede etkin bir alternatif yöntem olarak kabul edilebilir olmuştur. Son olarak, uzun dönemli enerji tahminlerinde model kullanılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Aynı zamanda Türkiye için hangi enerji alternatifinin saptanması amacıyla tip-2 aralıklı bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi önerilmiş ve etkili sonuçlar elde edilmiştir.

2012-2035 yılları için yapılan test amaçlı tahminler, gerekse projeksiyonlar için yapılan hatalar incelendiğinde ANFIS modelinin iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu sonuç ANFIS modeldeki $R=0.99998$ değerini elde ederek ANFIS'in öğrenme kabiliyetini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda Türkiye'nin enerji ihtiyacı 2020 yılı için (157.090,65 PEKT) ve 2034 yılı için ise (266.689,59 PEKT) miktarında olacağı ön görülmektedir.

Enerji planlaması ve yatırıma yönelik bulanık çok kriterli karar verme sorunlarını çözmek için uygulanan tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemini ve tip-2 aralıklı TOPSIS yöntemini birlikte uygulanmasıyla elde edilen sonuçlara bakıldığında; en iyi enerji alternatifinin rüzgar enerjisi olduğu belirlenmiştir. Geri kalan alternatifler sırasıyla; güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyoenerji, doğal gaz, petrol, kömür-linyit, nükleer enerji ve hidrojen enerjisi olması gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Talep Tahmini, ANFIS, TBA, Tip-2 Bulanık Kümeler, MCDM, TOPSIS, AHP, Strateji

ABSTRACT

A MULTIPLE-CRITERIA MODEL SUGGESTION FOR TURKEY ENERGY PLANNING

Abit BALIN

Department of Industrial Engineering

PhD Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Hayri BARAÇLI

The energy which provides a basis for the social development has a vital role for the survival and development of humankind as an environmental factor. With the outrageous price increase at the fundamental energy source of the world and rapid development of Turkish economy, energy consumption of Turkey has become a major problem.

In order to overcome such situation, the necessity of creating decision-making processes that will provide us to make correct predictions emerges. Correct predictions can provide great benefits for institutions on issues such as planning the commitments, productions and maintenance. For that reason, institutions need to forecast the demands related to future as closely to truth. Because deciding on future includes many uncertainties, implementing these decisions is fairly difficult. Artificial Neural Networks (ANN) as a regular data management method is very popular on energy demand forecasting. In this study, Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS) was suggested as an alternative approach.

Recognition of the required amount of energy related to future also necessitates carrying out specific studies upon how Turkey will use the energy sources. For that reason, views of decision makers related to the relative importance of selection criteria was determined using a flurry Analytical Hierarchy Process (AHP) based upon type-2 fuzzy clusters, and multiple-criteria decision-making methodology based upon type-2 interval TOPSIS method was used in order to list the best energy alternatives. In this study, type-2 fuzzy clusters were used due to providing more independence on representing the uncertainty and fuzziness of the real world implementations.

In order to forecast the energy demand of Turkey, ANFIS method combining the methods of Artificial Neural Network (ANN) and Fuzzy Logic (FL) were analyzed as the forecasting instruments. The suggested model forecast the energy demand using ANFIS application data sets processed with Principal Component Analysis (PCA) and obtained from Ministry of Energy and Natural Resources. ANFIS method was proved to reveal an efficient performance upon the accuracy of the obtained results. For that reason, ANFIS model has become an acceptable model as an efficient alternative method in forecasting the energy. Finally, the model was used in long-term energy forecasts, and the obtained results were interpreted. Moreover, in order to determine the most appropriate energy alternative for Turkey, type-2 interval fuzzy multi-criteria decision-making methodology was suggested, and efficient results were obtained.

When test-purpose forecasts made for 2012-2035 years and the mistakes made for the projections were analyzed, ANFIS model was noticed to reveal better results. This result revealed the learning ability of ANFIS obtaining $R=0.99998$ value in ANFIS model. Besides, it was forecasted that energy needs of Turkey for 2020 will be (157.090, 65 PEKT) and for 2034 will be (266.689, 59 PEKT).

When the results obtained through co-application of type-2 interval fuzzy AHP method and type-2 interval TOPSIS method employed for overcoming fuzzy multiple-criteria decision-making problems related to energy planning and investment; it was determined that the best energy alternative was wind energy. The rest alternatives were solar energy, hydraulic energy, geothermal energy, bioenergy, natural gas, petrol, coal-lignite, nuclear energy and hydrogen energy, respectively.

Keywords: Energy, Demand Forecast, ANFIS, PCA, Type-2 Fuzzy Sets, MCDM, TOPSIS, AHP, Strategy

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Enerji durumu bir ülkenin endüstriyel gelişimi için en önemli faktörlerden biri olduğu için oldukça önemlidir. Küreselleşmenin bir sonucu olarak sanayileşmenin büyüme ve kalkınmayla birlikte, dünya nüfusunun artışı ve artan ticaret her geçen gün enerji talebini artırmaktadır. Öte yandan, ulusal ve uluslararası arenada politika ve stratejilerin belirlenmesinde çok önemli bir yeri olarak enerjinin, çok büyük bir kısmı belirli bölgelerde bulunan fosil kaynaklardan karşılanmaktadır.

Enerji sistemi, bir ülkenin ekonomik ve toplumsal gelişiminde ve insanların yaşam kalitesinde önemli bir rol oynar. Enerji verimlilik tedbirlerinin ve teknik değişimlerin uygulanmasını, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjinin kullanımını teşvik etmek için bazı yeni devlet politikaları benimsenmiştir. Uygarlığın başlangıcından bu yana enerji kaynakları insanlar için önem taşımıştır. Gelecekteki yaşamın temiz, yerli konvansiyonel ve yenilenebilir enerji kaynakları olduğu görüşü genel olarak kabul görmektedir [1], [2].

Öncelikle; sistemde belirsizlik, zengin petrol ve doğal gaz rezervlerine sahip olan Orta Doğu ülkelerinde gerçekleşen Arap Baharı hareketinin bir sonucu olarak artmıştır. Aynı zamanda Avrupa ülkelerinin de içinde bulundukları ekonomik krizle birlikte oluşan siyasi krizler de belirsizliği daha da artırmaktadır. Bu iki durum, enerji piyasalarını etkilemiş ve aynı zamanda döviz fiyatlarında artışa neden olmuştur. Bu tür durumlar enerji talebini artırırken, enerji arzını ise sınırlandırmaktadır. Bunların yanında küresel ısınma ile gerçekleşen iklim değişikliği de tüm dünyayı tehdit eden bir diğer faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Görüldüğü gibi, enerjinin küresel piyasa ve ekonomi üzerinde büyük etkisi olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yatırım ortamının oluşturulması ve gerekli teknolojilerin sağlanması konusunda doğru politikaların oluşturulması ve doğru stratejilerin belirlenmesi enerji piyasasının etkinleştirilmesinde oldukça etkilidir.

Enerji talebinin modellenmesi ve tahmini, gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkelerde politika yapıcılar veya ilgili kuruluşlar için oldukça önemli bir rol üstlenmişlerdir. Şu anda, enerji modellemesi, enerji üretimi ve tüketimi sorunları ile ilgili mühendis ve bilim adamı arasında yaygın bir ilgi konusudur. Enerji talebi konusunda günümüzde birçok metot olduğu ortaya çıkmıştır. Bunlardan çoğu yapay sinir ağları ve ya onun uzantılarından oluşmaktadır [3], [4], [5], [6], [7].

Geleneksel yaklaşımlar enerji talebinin oluşturulmasında gözlemlenebilir değişkenler ile istenen parametre arasındaki ilişkileri açıklar. Enerji tüketiminde genellikle modelleme geçmiş verilere ve bu tüketimle ilişkili; ekonomik, demografik, iklimsel gibi değişkenlere dayanmaktadır. Araştırmacılar, enerji talep tahminin de birçok girdi değişkenleri kullanmışlardır. Bunlar; müşteri sayısı, yüksek sıcaklıktaki gün sayısı, toplam konut sayısı, yakıt maliyeti, ortalama sıcaklık, nüfus sayısı, kişi başına düşen milli gelir ve kırsal nüfusun yüzdelik oranı. Kullanılan yöntemler; çeşitli regresyon modelleri, zaman serisi, yapay sinir ağları, istatistiksel öğrenme algoritmaları, bulanık mantık, ve uzman sistemler kısa vadeli tahmin için geliştirilmiştir [8], [9], [10].

Aynı zamanda yapılan enerji talebine bağlı olarak enerji planlaması konusunda bir karara varmak yer ve zaman konusunda muhtelif ekolojik, toplumsal, teknik ve ekonomik yönleri dengeleme sürecini de kendi içinde barındırır. Bu denge, doğanın yaşaması ve enerjiye bağımlı ulusların refahı açısından kritik bir önem taşır [11], [12], [13].

Bazı kriterleri kullanarak herhangi bir enerji alternatifini seçmeye çalıştığımızda, göz önünde bulundurulacak kriterler arasındaki çelişkili noktaları dikkate almalıyız. Yenilenebilir enerji alternatifleri arasında seçim yapma, birbiriyle çelişen birçok kriteri içeren çok kriterli bir karar verme sorunudur. Seçim kriterleri açısından avantaj ve dezavantajlarını göz önünde bulundurarak bazı alternatifleri değerlendirmek zorundayız. Bu arada, enerji değerlendirmeleri hem nicel hem de nitel etkenleri içerebilen, tanımlanması güç nitelikler ve bileşenlerle başa çıkmak zorundadır. Dolayısıyla, bu

sorun çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemiyle çözülmelidir. Bu yöntemler, karmaşık enerji yönetimi sorunlarını çözmek için alternatifler sunabilir [14], [15], [16].

1970'lerde enerji sorunlarını, düşük maliyetli en verimli enerji tedarigi seçeneklerini tanımlamayı amaçlayan tek kriterli yaklaşımlarla ele almak popülerdi. Bununla birlikte, 1980'lerde çevre konusundaki artan farkındalık nedeniyle çerçeve karar değişti. Çevresel ve toplumsal kaygıları enerji planlaması yaparken dikkate alma gerekliliği çok kriterli yaklaşımların kullanımının artmasına neden oldu. Çok kriterli karar verme MCDM yöntemleri enerji sistemlerinin yanı sıra toplumsal, ekonomik, endüstriyel, ekolojik ve biyolojik sistemlere de yaygın biçimde uygulanagelmıştır [16], [17], [18], [19].

Karar vermeye ilişkin pek çok sorunda karar vericinin yargıları kesin olmadığı gibi kriterler ya da nitelikler için karar vericinin kesin rakamsal değerler vermesi de göreceli olarak zordur. İnsanların yaptığı tercihlerdeki bu türden belirsizliği modellemek amacıyla bulanık küme kuramı başarılı bir biçimde uygulanmıştır. Bu kuram; insanların yargılarının müphemliği, muğlaklığı ve öznelliğinden kaynaklanan sorunları ortadan kaldırma amacını taşıyan karar verme sürecindeki dilsel terimleri ifade etmek üzere Zadeh tarafından 1965 yılında ileri sürülmüştür [8].

Son yıllarda, bulanık çok kriterli grup kararı verme sorunlarını aşmak için bazı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler genellikle tip-1 bulanık kümelere dayanır. Çünkü tip-2 bulanık kümeler, gerçek dünya uygulamalarındaki yanlış ve eksik bilgilerle başa çıkma konusunda sıradan bulanık kümelerden daha etkilidir. Bu makalede, enerji alternatiflerine ilişkin karar verme sorununa yönelik olarak tip-2 bulanık kümelere dayalı yeni bir bulanık çok kriterli karar verme (MCDM) metodolojisi önerilmektedir. Bir tip-2 bulanık kümesi, $[0, 1]$ aralıklı bir bulanık küme tarafından temsil edilen bir üyelik fonksiyonudur. Tip-2 bulanık kümeler, göreceli basitliklerinden ötürü yüksek düzeyli bulanık kümeler için yaygın biçimde kullanılan ve kesin aralıkları olan üyelik değerleri içerir [20], [21], [22], [23], [24].

1.2 Tezin Amacı

Sağlıklı bir enerji politikasının oluşturulabilmesi için Türkiye'nin enerji alt yapılarının bilinmesi, geleceğe yönelik perspektiflerin oluşturulması ve mevcut enerji kaynaklarının ülke için hangisinin daha verimli olduğunun bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bu

çalışmada ortaya konulan sonuçlar, mevcut politikaların ve geleceğe yönelik perspektifleri ortaya koyarak ulusal boyutta tutarlı, günün koşullarına uygun yeni enerji politikaları üretebilme imkânı sunmaktır.

Bu çalışmada, Türkiye'de enerji kullanımının ortak koşullarının yanı sıra önümüzdeki 25 yıl içinde enerji tedarik ve talep projeksiyonları için son trendler konusunda bilgi içermesini sağlamaktır. Çalışmada ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları dâhil tüm enerji kaynakları için, enerji sektörünün geliştirilmesi ve enerji piyasalarında rekabet edebilmek için enerji sektörünün yeniden düzenlenmesi amacıyla politikalar oluşturulmak amaçlanmıştır. Bu nedenle:

Türkiye’de mevcut enerji kaynakları incelenecektir.

Mevcut enerji kapasitesinin tespit edilmesi, ihtiyaçların belirlenmesi, Kapasite doğrultusunda yatırımların yönlendirilmesi ve ülke geneline dengeli enerji dağılımının sağlanması, gelecek için bir perspektif oluşturmak.

Türkiye’nin mevcut yapısına göre gelişmişliği yansıtan seçilmiş sosyal ve ekonomik göstergeler ile ülkenin enerji yapısını yansıtan göstergeler kullanarak enerji Türkiye’nin üretim ve tüketim durumlarına göre farklılaşmayı tespit etmek ve enerji tüketimlerine göre Türkiye’nin Enerji durumunun bütünsel bir bakış açısıyla değerlendirmek.

Türkiye’nin potansiyelinin ortaya çıkartılmasıyla, bölgesel gelişmeyi hızlandırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla Türkiye’nin önündeki 20-25 yıl için enerji gereksiniminin ortaya çıkarılması doğrultusunda yapay zeka yöntemlerinden olan adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFİS) metodu kullanılarak Enerji talep tahmini gerçekleştirilerek gerçek talebin ne olabileceğini belirlemek.

Gerçekleşen talep tahminlerini karşılanması için Türkiye’nin Genel enerji alternatiflerinin ortaya konulması ve en iyi alternatifin veya alternatiflerin Tip-2 aralıklı bulanık kümeler yöntemine dayalı bulanık MCDM metodolojisi kullanılarak ortaya çıkarılarak tutarlı stratejilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmanın ilk aşaması, Türkiye’nin genel enerji durum değerlendirmesi yapıldıktan sonra Türkiye’nin güçlü, zayıf, fırsatlar ve tehditlerinin olduğu genel SWOT analizi ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın ikinci aşaması, temel bileşenler analizi (TBA) ve ANFİS metotlarının birleştirilmesi ile hibrit bir metot oluşturulacaktır. Buna ek olarak elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında oluşan farklar değerlendirilecektir. Oluşturulan bu metot ile Türkiye'de enerji kullanımı miktarını analiz için çalıştırılmış ve metodun performansı RMSE, MAPE ve MAE ile hata miktarı değerlendirilecektir.

Bu çalışmanın üçüncü aşaması, enerji planlaması ve yatırımına yönelik bulanık çok kriterli karar verme sorunlarını çözmek için tip-2 aralıklı TOPSIS yöntemini ve tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi birlikte kullanılacaktır. Tip-2 aralıklı bulanık sayı, birincil ve ikincil üyelik ile tanımlanmasından ötürü gerçek dünyadaki belirsizlikleri yakalamada daha fazla esnekliğe sahip olduğu gözlemlenmeye çalışılacaktır.

Bu çalışmada, temel bileşenler analizi (TBA) ve ANFİS metotlarının birleştirilmesi ile hibrit bir metot oluşturulacaktır. Elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında oluşan farklar değerlendirilecektir. Bu nedenle metodun performansı RMSE, MAPE ve MAE ile hata miktarı değerlendirilecektir. Buna ek olarak tip-2 aralıklı bulanık kümelere dayalı yeni bir bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi önerilecektir. Önerilen metodoloji, Türkiye için en uygun enerji alternatifinin saptanması amacıyla kullanılacaktır. İlk aşamada, kriter ağırlıkları, tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi ile belirlenecektir. Sonra, tip-2 aralıklı bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenen sıralama vektörüne göre bütün alternatiflerin sıralama yerleri belirlenecektir.

Bu nedenle, bu çalışmada ülkemizdeki enerji kaynakları için öncelikle durum tespiti yapılarak gelecekte muhtemel enerji tüketim miktarını ortaya koymuş ve sahip olduğu enerji kaynaklarının potansiyel önem dereceleri oluşturulmuş olunacaktır.

TÜRKİYE’NİN VE DÜNYA’NIN MEVCUT ENERJİ KULLANIM DURUM ANALİZİ

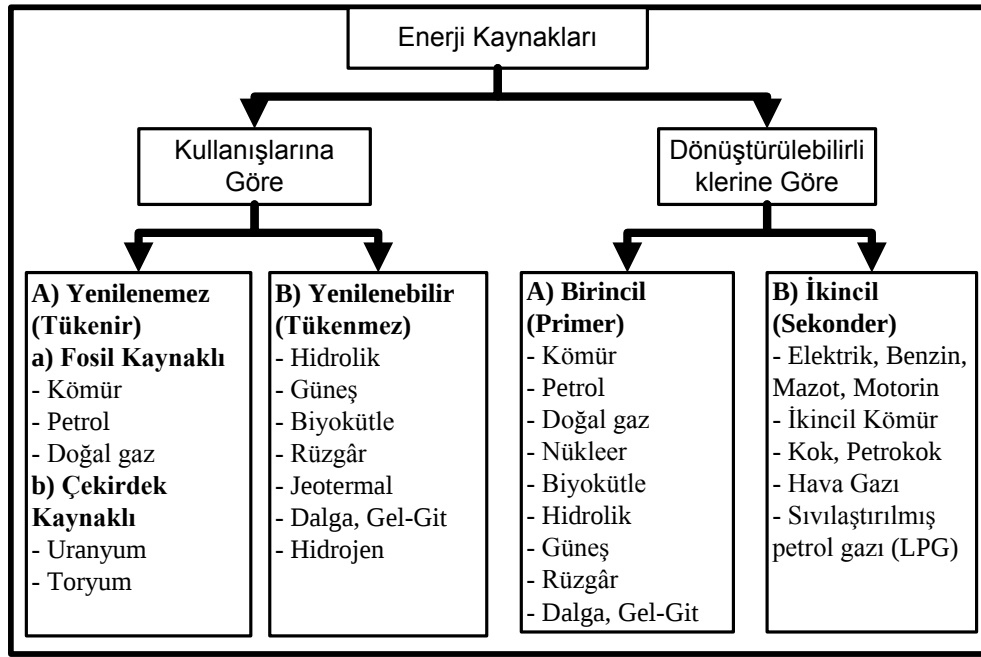
Enerji, geçmişte olduğu gibi insan hayatında giderek önemi artarak vazgeçilmez hale gelmiştir. Dünyada yaşanan ekonomik ve finansal krizler gibi olumsuzluklara rağmen enerjiye talep giderek artmaya devam etmiştir. 1990-2010 yılları arasındaki yirmi yılda, Türkiye toplam birincil enerji arzı miktarı, Dünya toplam birincil enerji arzının %0,6’dan, %0,9’a yükselmiştir [25].

1990 yılında Türkiye toplam elektrik üretimi, Dünya elektrik üretiminin %0,5 ini oluştururken sonraki yirmi yılda bu oran iki kat artarak 2010 yılında %1 düzeyine çıkmıştır [25]. Bu değerler dikkate alındığında Türkiye’nin son yirmi yılda dünya ülkelerinin ortalamasına kıyasla çok daha fazla büyüdüğü görülmektedir.

2.1 Enerji Kaynakları

Enerji kaynaklarını niteliklerinin değiştirilip değiştirilmemesi açısından birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birincisi, birincil enerji kaynakları üzerinde herhangi bir değişiklik yapmadan doğada bulunduğu şeklinde “Kömür, Petrol ve Doğalgaz, Nükleer Güç, Tezek, Odun, Su Gücü vb.” kullanmaktır. İkincisi, ikincil enerji kaynaklarını ise birincil enerji kaynaklarının çeşitli işlemlerden geçirilmesi sonrasında “Odun Kömürü, Kök ve Havagazı, Elektrik Enerjisi vb.” kullanılan enerji kaynaklarıdır [26].

Enerji kaynaklarını doğada var olma faktörlerine, kullanılışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre “Şekil 2.1” ‘da gösterildiği gibi sınıflandırabiliriz.



Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [27]

2.1.1 Klasik Enerji Kaynakları

Meydana gelişleri uzun bir süre yenilenmeyen kaynaklar olarak da adlandırılan petrol, kömür ve doğalgaz gibi temel enerji kaynaklarıdır [28].

Kömür: Yeraltı madenciliği veya açık işletme metodları kullanılarak çıkarılan fosil kaynaklı yakıttır. Taş kömürü, antrasit, linyit başta olmak üzere birçok çeşidi vardır [28]. Kömür enerji üretiminde, çelik üretiminde ve çimento üretiminde yoğun olarak kullanılan bir enerji kaynağıdır.

Petrol: Yüzmilyonlarca yıldan bu yana denizlerde yaşayan ya da suların denizlere sürüklediği bitki kalıntılarının anaeorabik bir ortamda, uygun şartlar altında (sıcaklık, basınç ve mikroorganizmaların etkisiyle), toprağın üstünde başkalaşmasıyla oluşur [28]. Petrolün rafine edildikten sonra pek çok türevlerinin ortaya çıkması ve kullanım esnekliği sağlaması da önemli bir özelliği olarak ortaya çıkmaktadır [26].

Doğalgaz: Petrol bir türevi olan doğal gaz yer kabuğunun içindeki fosil kaynaklı bir çeşit yanıcı gaz karışımıdır [26],[28],[29].

Biyokütle: “bitki ve hayvan atıkları” Biyokütle enerjisi, organik maddelerden enerji kaynağı olarak yararlanılmasıdır. Bilinen bitki yakma ve hayvan atıklarından yararlanma yöntemleri geleneksel biyokütle olarak adlandırılır [28].

Nükleer Enerji: Nükleer enerji, atom reaktörleri veya nükleer santraller denilen tesislerde atom çekirdeklerinin parçalanması (fission) veya birleştirilmesi (fussion) yöntemleri ile elde edilir. Parçalanma ile meydana gelen reaksiyonlar devam ederken, patlamalarla büyük ölçüde enerji açığa çıkar. İki şekilde elde edilir; Birinci teknik, atom çekirdeklerinin parçalanması esasına dayanmaktadır. İkinci teknik, füzyon (birleşme, birleştirme) tekniğidir. Bu yöntemle daha ağır ve yeni bir atom çekirdeği oluşturmak üzere, iki veya daha fazla atom çekirdeğinin (hidrojen gibi) birleştirilmesi olayıdır [30,31]

2.1.2 Alternatif Enerji Kaynakları

Gücünü güneşten alan, tükenmeyeceği düşünülen ve çevreye zararı olmayan enerji çeşitleri yenilenebilir enerji kaynağı olarak adlandırılır. Sürekli doğada var olan bu kaynakların önemli özelliği ise kendini sürekli yenileyebilir ve doğayı kirletici atık oluşturmeyen formda işlenebilir olmalarıdır [28]. Yenilenebilir enerji kaynaklarını sırasıyla güneş enerji, rüzgâr enerji, biyokütle enerji, hidrojen enerji ve hidrolik enerji, jeotermal enerji, dalga enerjisinden oluşan su gücü enerji ve füzyon enerji sıralanır [32],[33],[34],[35].

Güneş Enerjisi: Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışıma enerjisinin teknoloji yardımıyla kullanılan enerjiye denir [28]. Güneş enerjisinin diğer enerjilere çevrilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler, güneş enerjisinden doğrudan ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve hidrojen enerjisi elde edilmesidir.

Doğrudan dönüşüm ve dolaylı dönüşüm olmak üzere iki ayrı yöntemle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilebilir. Doğrudan dönüşümün en yaygın teknolojisi fotovoltaik dönüşüm veya güneş pildir. Dolaylı dönüşüm ise güneş enerjisinden yararlanılarak üretilen buhar ile buhar-güç çevrimi, ya da güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullanıldığı yakıt pilleri şeklindedir [36],[37],[38].

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr, atmosferde oluşan alçak ve yüksek basınç farklarından ortaya çıkan hava hareketlerine denir. Havanın hareket etmesi sonucunda kinetik enerji ortaya çıkmaktadır. Rüzgâr türbini adı verilen çok büyük pervaneli yüksek kuleler aracılığıyla oluşan kinetik enerji elektriğe dönüştürme sürecidir [26], [28], [37], [39].

Jeotermal Enerji: Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan ısınin oluşturduğu sıcaklıkların bölgesel atmosferik sıcaklık üzerinde olan, yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar, gazlar içeren sıcak su ve ya buhar olarak tanımlanabilir. Sıcak kuru kayalar da

akışkan özelliği gösterememesine rağmen jeotermal enerji olarak kabul edilirler [28], [37], [40], [41].

Dalga enerjileri: Archimedes prensibi ve yerçekimi arasında ortaya çıkan büyük güç dalga enerjisini oluşturmaktadır. Hava hareketlerinin ve ısı değişimlerinin, su kütlelerinde meydana getirmiş olduğu dalga hareketlerinden enerji elde edilir. Dalga enerjisi makineleri de bu dalga hareketinden oluşan basıncı kullanarak enerji üretirler [26], [28].

Gel-git ve Akıntı Enerjileri: Akıntı enerjisi, Deniz ve okyanuslardaki düzenli akıntıların kinetik enerjisinin, deniz tabanına yerleştirilen türbinler aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi olarak adlandırılır. Türbinler aracılığı ile gel-git enerjisini elektriğe dönüştürmek için uygun koyların ağız kısmının bir barajla kapatılması ile gelen suyun tutulması ve çekilmesi sonrasında oluşan yükseklik farkından yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmi hedeflenir. Bir diğeri, suyun yükselme ve alçalması sırasında önüne konulan türbinleri döndürmesi yoluyla elektrik enerjisi elde edilir [28], [40].

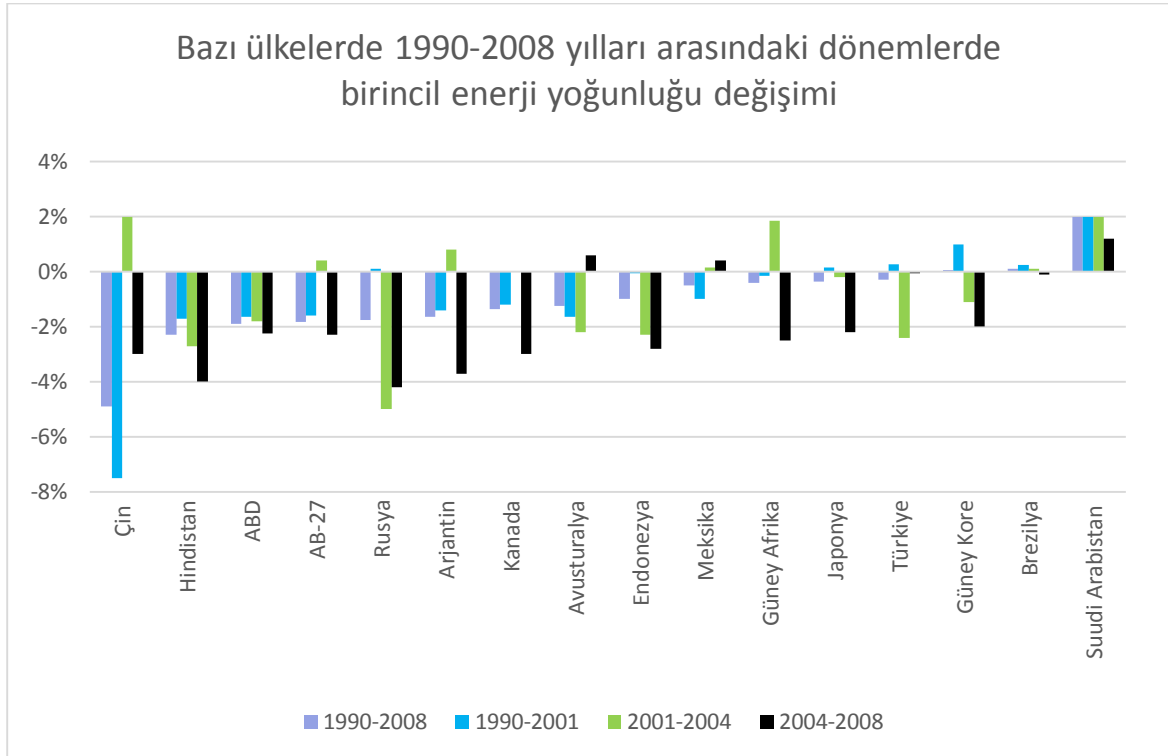
Hidrojen Enerjisi: Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıtlar ve biokütle gibi farklı hammaddelerden üretilebilen sentetik bir enerji türüdür. Hidrojen enerji, sudan elde edilebilir olmasının yanı sıra yüksek verimlilik sağlanabilir. Enerjiye dönüşürken çevre üzerinde hiçbir olumsuz etki oluşturmaktadır. Hidrojen üretim teknolojileri olarak buhar iyileştirme, atık gazların saflaştırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi alternatif metotlar kullanılmaktadır [28],[40], [42].

Hidrolik Enerji: Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilir. Suyun üst seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu açığa çıkan kinetik enerji, türbinlerin dönmesini sağlayarak elektrik enerjisi elde edilir. İklim koşullarından ve yağış rejimlerine sıkı bağlı olmalarına rağmen hidroelektrik santraller, diğer üretim tipleri ile kıyaslandığında en düşük işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime sahiptirler [42], [43].

2.2 Enerjide verimlilik

Enerji verimliliği gerek enerji tüketimindeki artan talebin karşılanması ve gerekse seragazı emisyonlarının azaltılmasındaki en önemli maliyet etkin önlem ve girişimdir. Ekonomistler için enerji verimliliği; bir birim katma değer yaratmak için harcanan enerji anlamına gelmektedir ve “Enerji Yoğunluğu” olarak adlandırılmaktadır. Enerji Yoğunluğu, ekonomi ve

sanayideki yapısal değişiklikler, enerji tüketim yapısındaki değişimler, nihai kullanıcıların kullandıkları ekipman ile sanayi ve bina sektöründe uygulanan verimlilik önlemlerinden etkilenmektedir. Birincil enerji tüketiminin GSYH'ya oranlanması sonucu hesaplanan yoğunluk “birincil enerji yoğunluğu” nihai enerji tüketiminin GSYH'ya oranlanması sonucu hesaplanan yoğunluk ise “nihai enerji yoğunluğu” olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle enerji yoğunluğunu düşürmek için etkin enerji verimliliği politikaları sadece teknolojiye veya davranış değişikliğine değil, bunların kombinasyonunu da gerektirmektedir.



Şekil 2.2 Yıllar itibari ile birincil enerji yoğunluğu [25]

Türkiye, birincil enerji yoğunluğu açısından, gelişmiş ülkelerle kıyaslamasında; “enerji yoğun” ekonomilerden birisi olarak değerlendirilebilir. 2009 yılı OECD ortalaması olan 0.18 TEP/1000 dolar GSYİH ile karşılaştırıldığında, Türkiye’de 0.27 değeriyle 1000 dolar GSYH üretmek için daha fazla enerji harcanmaktadır (2000 yılı ABD doları sabit değeri ile). Birincil enerji yoğunluğu AB’nin ortalama değerleriyle de mukayese edildiğinde oldukça yüksektir; 2007 yılında Türkiye’nin enerji yoğunluğu Euro bazında 250 KEP/1000 € iken, AB’nin ortalama değeri 169’dur (Şekil 2.2).

2.3 Enerji-Çevre İlişkisi

Enerji konusunda yapılan çalışmalarda, enerjinin çevre ile olan ilişkisi dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Çevrenin doğal yapısının korunmasına yönelik gerekli önlemlerin alınması ve çeşitli yatırımların planlanması zorunluluk haline gelmiştir. Sürdürülebilir bir kalkınma sağlanması için birbiri ile sıkı etkileşim halinde olan enerji-ekonomi-çevre üçlü faktörün dengede olmasına bağlıdır.

Enerji kaynaklarının tümü “az veya çok” belirli bir seviyede çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu enerji kaynaklarının çevreyi etkileme boyutu kaynağın cinsine, faaliyetin türüne ve gerekli çevresel önlemin uygulanıp uygulanmamasına bağlı olarak değişmektedir.

Özellikle fosil yakıtlar kömür, linyit, doğal gaz, sıvı yakıtlar vb. çevre açısından önemli sorunlar yaratan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların kimyasal ve fiziksel yapılarına bağlı olarak katı, sıvı ve gaz atıklarının oluşması hava, su ve toprak kirliliğine sebep olabilirler. Enerji kaynakların araştırılması, sondaj çalışmaları sırasında ve çıkarılması ile hazırlanması esnasında da önemli miktarda çevre sorunları ortaya çıkabilmektedir. Türüne göre fosil yakıtların çevresel etkileri aşağıda verilmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Enerji türlerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılması [44]

	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü Kirliliği	Radyasyon Oluşturma	Birim Enerji Maliyeti (Cent/kWh)	Yatırım Bedeli (Dolar/kW)
Petrol	+	+	+	+	+	+	6	1500-2000
Kömür	+	+	+	+	+	-	2.5-3	1400-1600
Doğalgaz	+	+	+	-	+	-	3	600-700
Nükleer	-	-	+	+	-	+	7.5	3000-4000
Hidrolik	+	-	-	-	-	-	0.5-2	750-1200
Güneş	-	-	-	-	-	-	10-20	Yüksek
Jeotermal	-	-	+	+	-	-	2.2-4	1500-2000
Rüzgâr	-	-	-	-	+	-	3.5-4.5	1000-1200

Katı yakıtlar, yanma sonrası oluşan baca gazları ile atmosfere verilen kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x) ve toz emisyonları ile hava kirliliğine neden olmaktadır. Küller ise katı atık oluşturmakta atmosferik olaylarla tozumaya neden olmakta ve ayrıca, içeriğindeki ağır metaller yer altı sularına karışabilmektedir.

Sıvı yakıtlar, kükürt içeriğine ve kalitesine bağlı olarak çevresel etkileri değişebilmektedir.

Doğal gaz kullanımında, CO₂ miktarı en düşük seviyede olan fosil yakıtlarındandır. Yanma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, NO_x oluşumu yüksektir.

Baraj gölü, bitkilerin, kaçamayan bazı hayvanların, tarlaların, tarihi eserlerin, yerleşim yerlerinin su altında kalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte çevresel, sosyal, iklimsel etkilere de neden olmaktadır. Su kalitesinin değişmesine neden olan su altında kalan bitki ve hayvanlardan dolayı üreyen bazı organizmalar olabilmektedir. Bunların yanında nehir tipi santrallerin de çevresel sorunları söz konusu fakat bu etkiler minimum seviyededir.

Rüzgar enerjisi temiz enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Fakat arazi kullanımı sorun yaratabilmekte ve kuş türleri için ölümcül olabilmektedir. Ayrıca görüntü ve gürültü kirliliği bir diğer çevreyi etkileyen faktördür.

Jeotermal enerji, gerekli önlemlerin alınması gereken bir enerji kaynağıdır. Büyük bir arıza olması durumunda önemli çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Yer altı sularına karışma riski bulunan kaynağın içinde ki metaller ve bor tehlike yaratabilmektedir.

Nükleer enerjinin en önemli çevresel sorunu yüksek radyoaktiviteye sahip katı atıkların söz konusu olmasıdır.

Son on yılı kapsayan araştırmalar çerçevesinde atmosferde hızlı bir ısınmanın olduğu ortaya çıkmakta ve bu küresel ısınma denilen “*global warming*” doğal iklim süreçleri çerçevesinde olmasından ziyade insan faaliyetlerinden kaynaklandığı tespit edilmemiştir. Küresel ısınma, sera gazlarının karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), kükürt hekzaflorür (SF₆), florokarbonlar gibi gazların atmosferde birikmesinden dolayı sera etkisi normal düzeyin üstünde çıkmakta ve atmosferin ortalama sıcaklığın artmasına neden olmaktadır.

2.3.1 Dünya’da Ve Türkiye’de Enerji Kaynaklarının CO₂ Verileri

Çizelge 2.2 ‘de 2010 dünya da enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonlarına ilişkin olarak veriler bulunmaktadır. Bu veriler incelendiğinde, Çin dünyanın toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık dörtte birini (%24,1) oluşturmakta olup, yüksek emisyonu sahip ülkeler arasında birinci sırada yer almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri CO₂ emisyonları açısından Çin’in arkasından ikinci sıradadır. Türkiye’nin CO₂ emisyonlarına bakıldığında ise, toplam 266 Milyon Ton ile dünya toplamının %0,87’si, OECD toplamının %2,14’ünü oluşturmaktadır.

Çizelge 2.2 2010 yılı dünya ve türkiye için enerji kaynaklı co₂ ilişkin değerler [45]

	CO ₂ (Milyon Ton)	CO ₂ /Nüfus (Ton/Kişi)	CO ₂ /Top.Bir.En.Arz. (Ton/TEP)
Dünya	30,326	4.44	2.38
OECD	12,440	10.10	2.30
Orta Doğu	1,547	7.56	2.55
OECD Dışı-Avrupa ve Avrasya	2,606	7.71	2.30
Çin	7,311	5.43	3.01
Asya	3,331	1.49	2.19
OECD Dışı-Amerika ülkeleri	1,065	2.34	1.83
Afrika	930	0.91	1.36
ABD	5,369	17.31	2.42
TÜRKİYE	266	3.65	2.53

TÜİK verileri incelendiğinde Türkiye'nin değerlerinde diğer devletler ile benzer durum gözlenmektedir. 2008 yılında 264 milyon ton olan enerji kaynaklı 2009 yılında 299 Milyon Ton olmuş ve 2010 yılında da 326 Milyon Ton'a 2011 yılında 345 Milyon Ton'a yükselmiştir.

Dünya Enerji Konseyi, Enerji Raporu dikkate alındığında Türkiye için 2010 yılında toplam CO₂ emisyonlarının yaklaşık %85'i enerji, %15'i ise endüstriyel işlemlerden kaynaklanmaktadır. CH₄ emisyonlarının %59'unun atıklardan, %30'unun tarımsal faaliyetlerden, %10'unun enerjiden, N₂O emisyonlarının ise %74'ünün tarımsal faaliyetlerden, %14'ünün atıklardan ve %12'sinin enerjiden kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır.

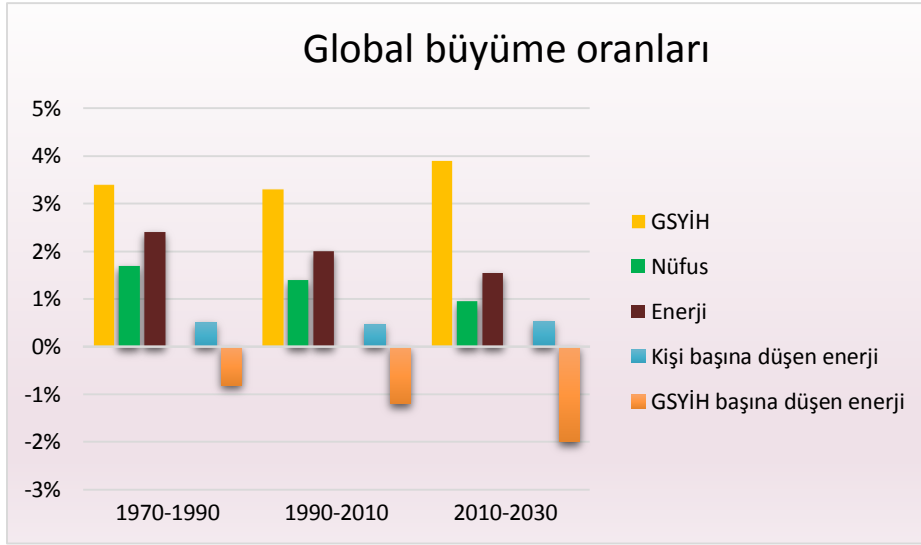
Diğer taraftan TÜİK verileri incelendiğinde, kişi başı CO₂ eşdeğer emisyon miktarı 2009 yılında 4.15 ton/kişi, 2010 yılında 4.47 ton/kişi ve 2011 yılında 4.66 ton/kişi olarak hesaplanmış, bu değer 1990 yılında 3.39 ton/kişi'dir.

2.4 Birincil Enerji Arzında Dünya'daki Gelişmeler

1990-2010 yılları arasında geçen yirmi yılda Dünyada birincil enerjinin arzında önemli gelişmeler ve değişiklikler olmuştur. Bu gelişmelere göre, Dünyada enerji alanında gelecekteki talepleri karşılamak için senaryolar oluşturulmuştur.

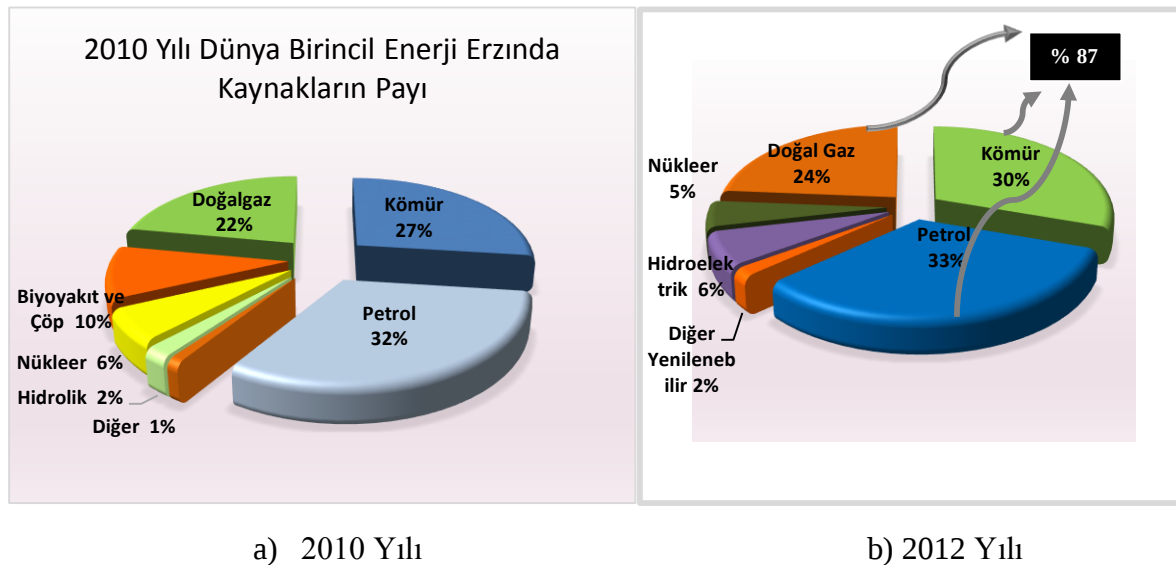
Dünyadaki iklim değişikliğinin, kullanılan kaynaklarının giderek azalması, teknolojinin ve enerjinin verimliliğindeki gelişmeler, sosyal şartların ve ekonomik durumun getireceği zorunluluklar göz önünde bulunarak oluşturulan senaryolar incelendiğinde dünya birincil enerji arzı toplamında ve kaynakların kompozisyonunda mevcut planlamanın dışına çıkılacağı çok açık bir şekilde öngörülmektedir. Fakat geçmiş yıllardaki dünyadaki toplam enerji arzı ve enerji kaynakları arzı değerleri dikkate alınarak bu durumun gelecek yıllarda da aynı olacağı varsayılarak üretilen değerler mevcut politikayı oluşturmaktadır.

Bunun yanında nüfus ve gelir her zaman enerji talebinin temel etkenlerini oluşturmuştur.



Şekil 2.3 1970-2030 Yılları arasındaki dönemlerde enerji-nüfus ilişkisi değişim oranı [46]

Yukarıdaki (Şekil 2.3) incelendiğinde son 20 yılda dünyanın nüfusu 1,6 milyar artmasına rağmen, büyüme oranı düşme eğilimindedir. BP enerji outlook verileri dünya nüfusunun önümüzdeki 20 yılda 1,4 milyar olacağı ön görülmektedir. Dünyanın gayri safi yurtiçi hâsıla'nın (GSYİH) büyümesi düşük ve orta gelirli ekonomiler sayesinde hızlanacağı düşünülmektedir. BP enerji outlook verileri 1990 ile 2010 verileri ışığında yapılan analizlerde önümüzdeki 20 yılın GSYİH'nın ortalama büyüme oranını %3,2 den %3,7'ye ulaşacağı beklenmektedir. Enerji verimliliği, genellikle enerji / GSYİH olarak ölçülür, dünya çapında ivmesi ortalama %2,0 olacağı düşünülmektedir. Bu oranın son 20 yılda ortalaması ise %1,2 dir. Bu ivme ortalama birincil enerji tüketimi artışını kısıtlıyor [25].

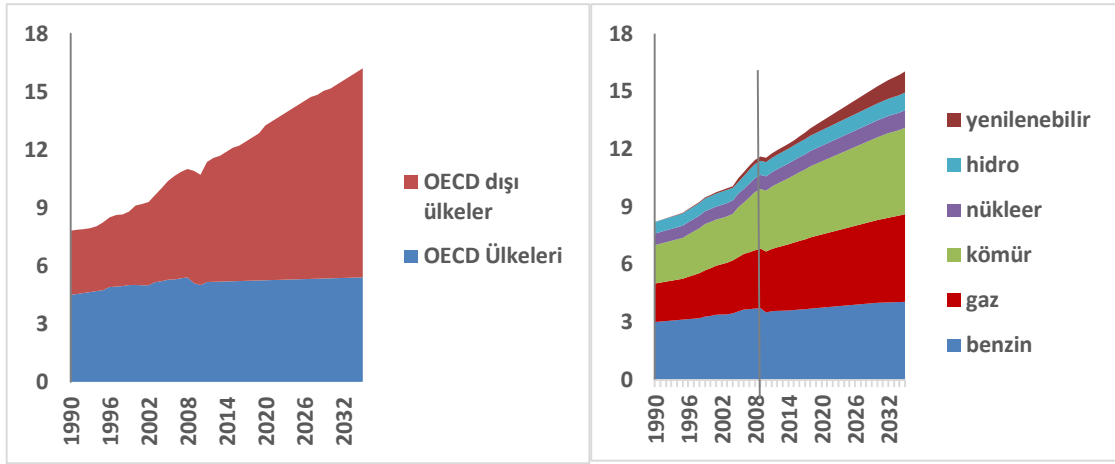


Şekil 2.4 Kaynaklar bazında dünya birincil enerji tüketimi (%),2011-2012 [47]

Dünya birincil enerji arzında enerji kaynaklarının payı oldukça önemlidir. 2010 yılında dünya birincil enerji arzında petrol %32, kömür %27, doğal gaz % 22 ile toplam arzın % 81' ini oluşturduğu görülmektedir (Şekil 2.4-a). 2012 yılında petrol %33,1, kömür %30,3, doğal gaz % 23,7 ile toplam arzın % 87' ini oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4-b). Dünya birincil enerji arzı 1990 yılında 8.779 mtep olan toplam birincil enerji arzı geçen 20 yılın sonunda %45 artarak 2010 yılında 12.730 mtep, 2011 yılında %7,4 artarak 13.672 mtep olurken 2012 yılında % 4,4 artarak 14.274 mtep seviyesine ulaşmıştır. Politikalar dikkate alındığında, 2035 yılında dünya birincil enerji arzı 2010 yılına göre, %47 artarak 18.676 mtep'e yükseleceği tahmin edilmektedir (Çizelge 2.3) [25], [48].

Çizelge 2.3 Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı talep senaryoları içinde kaynakların miktarı ve payı [49]

Yıllar		1990	2010	Mevcut Politikalar 2035
Kömür	mtép	2.231	3.474	5.523
	%	25	27	30
Petrol	mtép	3.23	4.113	5.053
	%	37	32	27
Doğalgaz	mtép	1.668	2.74	4.38
	%	19	22	23
Nükleer	mtép	526	719	1.019
	%	6	6	5
Hidrolik	mtép	184	295	460
	%	2	2	2
Odun, çöp, v.b.	mtép	903	1.277	1.741
	%	10	10	9
Jeotermal, Güneş, Rüzgar	mtép	36	112	501
	%	0	1	3
TOPLAM BİRİNCİL ENERJİ	mtép	8.779	12.73	18.676
	%	100	100	100



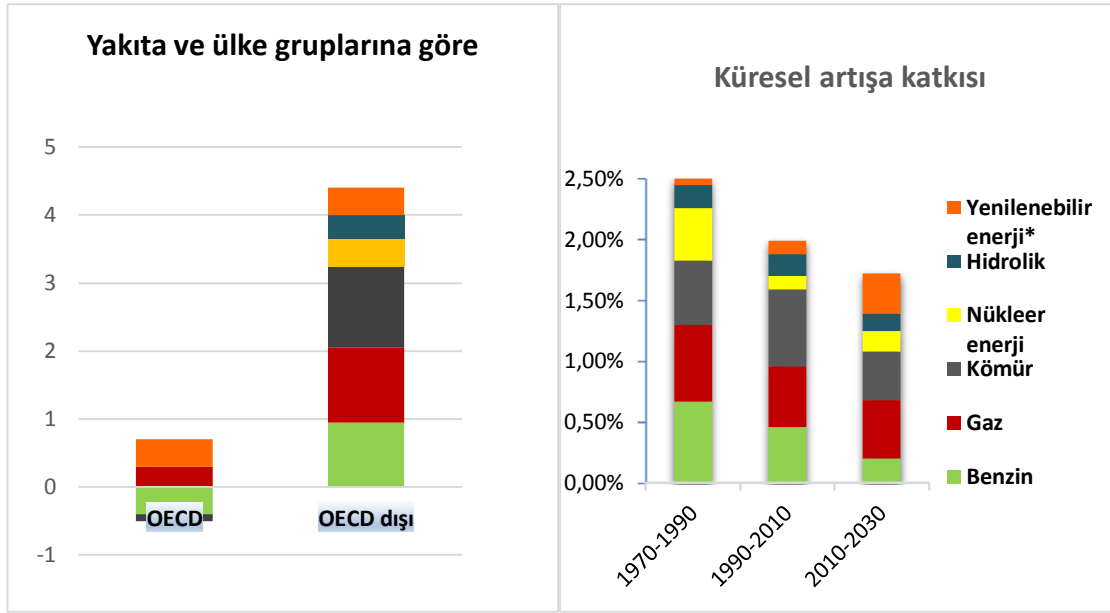
a) Genel Bazlı

b) Kaynak Bazlı

Şekil 2.5 OECD üyesi ve OECD üyesi olmayan ülkeler için birincil enerji talebi [46]

BP Energy Outlook 2030 verileri incelendiğinde dünyanın temel enerji tüketimi 2010 ve 2030 yılları arasında ortalama %1,6 oranında büyüebileceği tahmin edilmektedir. Global tüketim ise %39 oranında artacağı beklenmektedir. Büyüme oranları geçtiğimiz on yılda %2,5' tan %2,0'a gerilerken önümüzdeki on yıl için %1,3'e gerileyeceği beklenmektedir. Büyümenin neredeyse hepsi (%96) OECD üyesi olmayan ülkelere kaynaklanmaktadır. 2010 yılı %2,7 büyüme oranı baz alındığında 2030 yılında OECD üyesi olmaya ülkelerin enerji tüketimi %69 olması beklenmektedir. Dünya enerji tüketiminin %54 olduğu 2010 yılı dikkate alındığında dünya enerji tüketiminin 2030 yılı için %65'i kapsadığı görülmektedir. OECD ülkelerine bakıldığında 2030 yılı enerji tüketimleri ile 2010 yılı enerji tüketimleri arasındaki fark sadece %4 olduğu görülmektedir. 2010-2030 yılları arasında kişi başı enerji tüketiminin de düşme eğiliminde ortalama %-0,2 oranında olduğu görülebilmektedir. En hızlı büyüme yenilenebilir yakıtlarda olduğu ve 2010-2030 yılları arası ortalama %8,2 oranında büyümesi beklenmekte; fosil yakıtları arasında benzin en hızlı ortalamaya sahip %2,1'lik bir orana sahip iken petrolün ortalaması %0,7'lik bir oran ile en yavaş olanıdır (Şekil 2.5-a).

1990-2010 döneminde Dünya birincil enerji arzı içinde kömürün miktarı % 56 artarak 2.231 mtep den 3.474 mtep'e toplam birincil enerji arzı içindeki payı ise % 25'den %27'e yükselmiştir. Mevcut Politikalara göre 2035 yılında, dünya birincil enerji arzı içindeki kömürün miktarı 5.523 mtep'e, payı %30'a, düzeyine çıkacağı öngörülmektedir (Şekil 2.5-b).

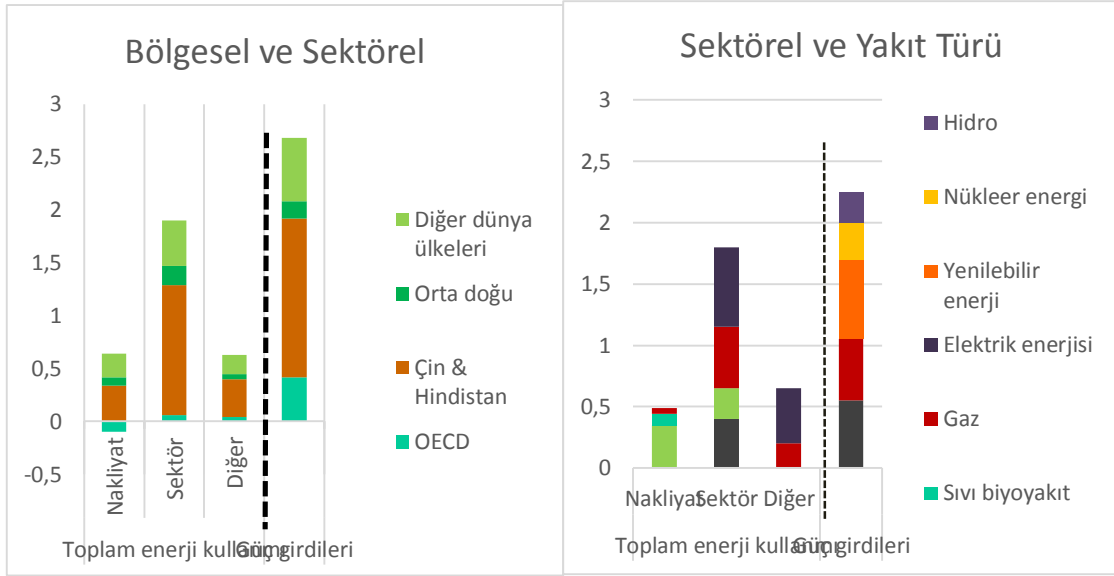


a) Yakıt türü ve Ülke Bazlı

b) Kaynakların Global Büyümeye Katkısı

Şekil 2.6 OECD üyesi ve OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji kullanım oranı [46]

OECD üyesi ülkelerin toplam enerji tüketimi durağan bir yapı gösterirken enerji kaynaklarının kullanım oranları farklılık göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sıvı halleri taşımada kullanılabildiği gibi yeni zenginleştirme metotlarıyla gaz formuna getirilen katılar, enerji üretiminde de kullanılabilmektedir. Yakıt fiyatları, teknolojik yenilikler ve hükümet teşvikleri enerji kaynaklarındaki bu değişimi etkilemektedir. Global enerji tüketimindeki artış fosil olmayan yakıtların kullanımıyla doğru orantıdadır. Yenilenebilir enerji kaynaklardan nükleer ve hidro büyümenin 34% ünü oluşturmaktadır. Bu iki enerji kaynağı fosil yakıt değildir. Yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın enerji büyümesine petrolden daha fazla katkıda bulunurken tek başına en büyük enerji tüketim oranı gaz kaynağıdır. Gazın dünya enerjisinin öngörülen büyümesini etkileme oranı %31’dir (Şekil2.6) [46].

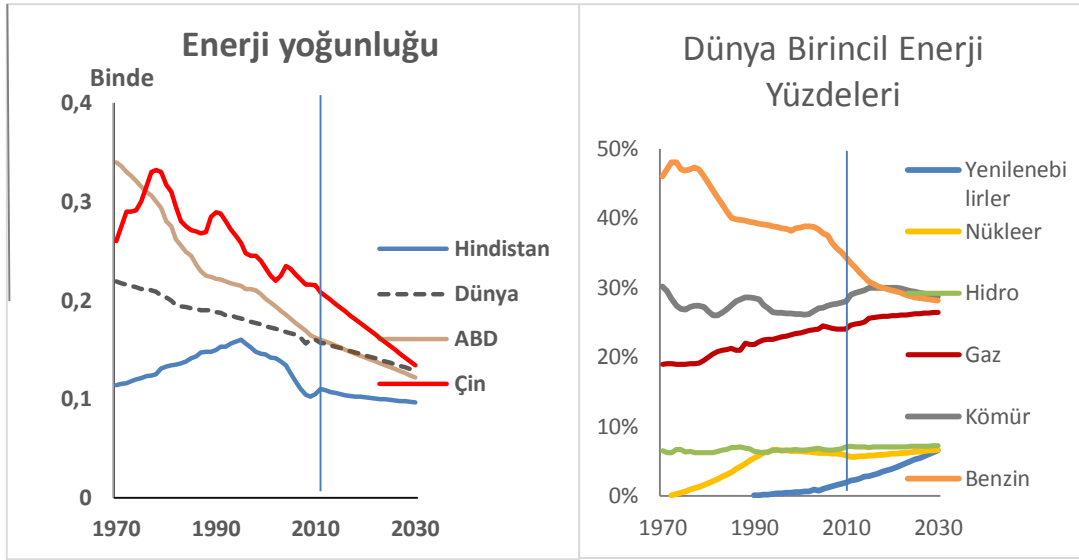


a) Bölgesel ve sektör bazlı

b) Sektör bazlı ve yakıt türü

Şekil 2.7 Sektör bazlı enerji tüketiminde büyüme [46]

Dünyanın en hızlı büyüyen sektörü elektrik üretimi için kullanılan enerjidir. 1990-2010 yılları arası elektrik üretimi için kullanılan dünya toplam enerji tüketimi içindeki payı ortalama %54 iken 2030 yılında bu oranın %57'ye çıkması beklenmektedir. Enerji üretilmesinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının başını çektiği fosil olmayan enerji kaynakları ortalama %50 etkiye sahiptir. Özellikle hızlı büyüyen ekonomilerde endüstriyel enerji tüketimi genel enerji talebinin artmasında büyük rol oynar. Endüstri sektörü, 2030'a kadarki genel enerji talebindeki büyümenin yaklaşık %60'ını kapsayacağı öngörülmektedir. En zayıf büyümenin ise taşımacılık sektöründe olduğu görülmektedir. OECD taşımacılık sektörü talebi azalması öngörüldü. Biyoyakıt, taşımacılık sektörünün %23'lük bir kısmını karşılamaktadır (Şekil 2.7).



a) Kişi başı enerji yoğunluğu

b) Birincil enerji dağılımı

Şekil 2.8 Dünya’da enerji yoğunluğu ve yakıt türüne göre dağılım ilişkisi [46]

Dünyanın elektrik talebi ortalama %2,6 oranında büyüme göstermektedir. Bu oran önümüzdeki 20 yılın dünya toplan enerji talebindeki büyüme oranından daha büyük olmasına rağmen bu büyüme GSYİH’nın büyüme oranından (%3,7) daha büyük değildir. Gelecek on yıl içinde kömürün enerji üretimindeki payı ortalama %39 ile en büyüktür. Fakat fosil olmayan enerji kaynaklarından “Nükleer, hidro ve yenilenebilir enerji kaynakları” elde edilen enerji oranı her geçen gün artarak kömürün payına ulaşmaktadır. 2030 yılına gelindiğinde fosil olmayan enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin payı %75 olurken kömürün payı ise azalmaktadır. Gaz kaynağından elde edilen enerji miktarının da %31 gibi bir oranda sabit kalacağı öngörülmektedir (Şekil 2.8).

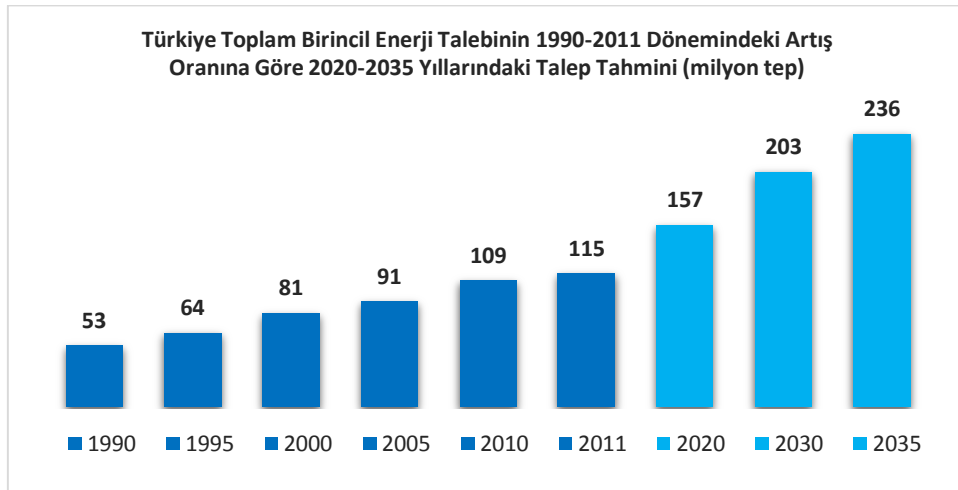
Ülkelerin enerji yoğunluğu uzun dönemde azalarak ve birbirlerine yaklaşılarak global seviyeyi bulmaktadır. Bu daralmayı veya yakınlaşmayı enerji ticareti, teknolojinin yaygınlaşması ve tüketim sepetinin standartlaşması etkilemektedir. Fosil yakıtların her birinin oranı %26-28 arası iken fosil olmayan yakıt grubunun oranı %6-7 arası bir pazar payına sahiptir. Gaz kaynağı kar etmeye devam ederken, petrolün ise pazar payı her geçen gün azalan bir doğru göstermektedir. 2020 yılına kadar gaz sektöründe yükselme görülmesine rağmen 2020 yılından hemen sonra düşme eğilimi göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı 1970-1980 yılları arasındaki nükleer enerji kaynağının yükselme oranı ile aynı eğilimi göstermektedir (Şekil 2.8).

Diğer kaynakların 1990,2010 yıllarında toplam Dünya birincil enerji arzı içindeki payı ile mevcut senaryolara göre 2035 yılındaki durumlarını özetlersek [25];

- **Petrolün payı**, 1990 yılında %37'den 2010'da %32'ye gerilemiş olsa da geçen yirmi yılda miktar olarak 883 mtep artmıştır. Mevcut politikalara göre 2035 yılında petrolün payının %27'ye gerileyeceği tahmin edilmektedir.
- **Doğalgazın payı**, 1990 yılında %19'dan 2010'da %22'ye yükselmiş olup 2035 yılında %24 düzeyine çıkacağı tahmin edilmektedir.
- **Nükleerin payı**, 1990 ve 2010 yılları arasında %6 olmuş, 2035 yılında ise mevcut politikalara göre %5 olacağı tahmin edilmektedir.
- **Hidroliğin payı**, 1990 ve 2010 yılları arasında %2 olmuş, 2035 yılında mevcut politikalara göre %2 olacağı tahmin edilmektedir.
- **Odun, çöp, rüzgâr, jeotermal, güneş** gibi yenilenebilir enerjinin toplam payı 1990'da %10'dan 2010 yılında %11'e yükselmiş olup 2035 yılında, mevcut politikalara göre %12 düzeyine çıkacağı öngörülmektedir (Çizelge 2.3).

2.5 Birincil Enerji Arzında Türkiye'deki Gelişmeler ve Projeksiyonlar

Türkiye'nin 2012 yılı için dünyanın 17'nci ekonomisi olduğu merkezi Londra'da olan Dünya Ekonomi Ligi çizelgesine göre Türkiye 17'nci sırasında ve Avrupa'nın 6'ncı büyük ekonomisi konumundadır. Türkiye'nin ileriye yönelik birincil enerji yıllık ortalama talep artışı tahmini % 4'tür. Türkiye'nin 2010'da enerji bağımlılığı % 71.5, Türkiye'nin yıllık enerji talep artışı son on yılda ise % 4.6 olarak gerçekleşmiştir [47].

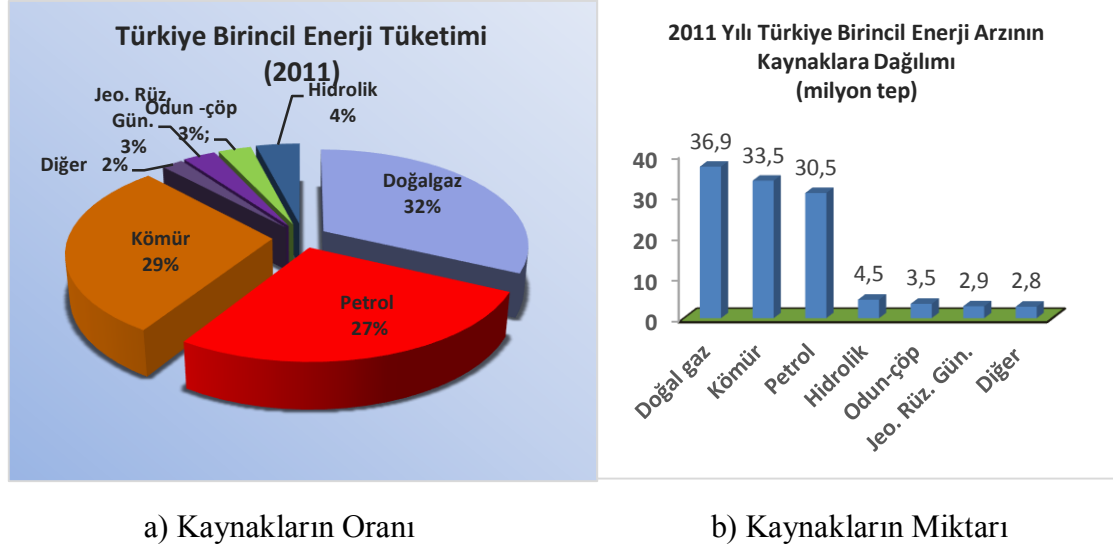


Şekil 2.9 Türkiye toplam birincil enerji arzı ve 2020-2035 yılları talep tahmini [50]

Dünya Enerji Konseyinden alınan verilere göre öncelikle Türkiye'nin toplam birincil enerji arzının 2011 yılında 115 milyon tep olan enerji arzının 2020 yılında 157 milyon

tep, 2030 yılında 203 milyon tep, 2035 yılında ise 236 milyon tep olacağı önörülmektedir (Şekil 2.9).

2.5.1 Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye'nin Birincil Enerji Arzı



Şekil 2.10 Türkiye 2011 yılı birincil enerji arzı[47]

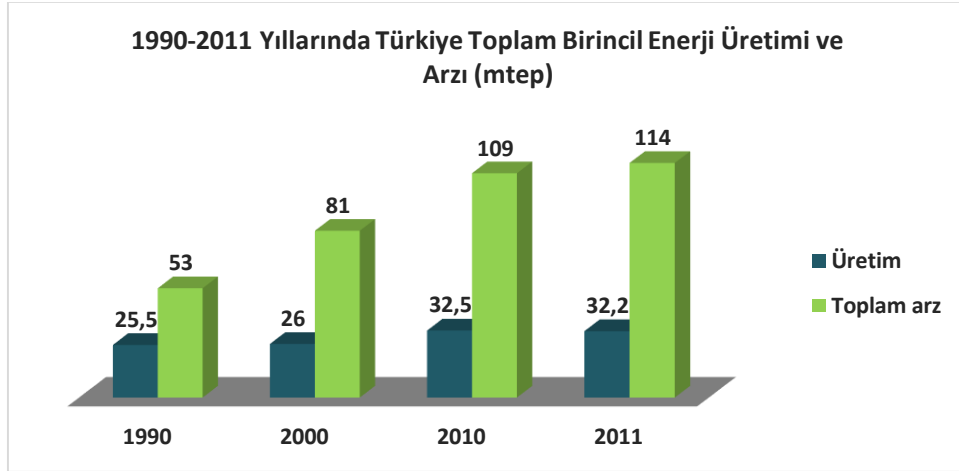
Aşağıda verilen Çizelgede kaynaklara göre enerji arzı dağılımı verilmiştir. 2010 yılı Türkiye birincil enerji tüketimi toplam 109,3 Mtep olarak gerçekleşmiş ve toplam arzın % 89,3' lük kısmını fosil yakıtlar oluşturmuştur. 2011 yılı için birincil enerji tüketiminin toplam 114.490 Mtep olarak gerçekleşmiş ve toplam arzının % 89' luk kısmını fosil yakıtlar oluşturduğu görülmektedir (Şekil 2.10 ve Çizelge2.4)[47].

Çizelge 2.4 Türkiye toplam birincil enerji arzı içinde kaynakların miktarı ve payı [26]

Yıllar		1990	2000	2010	2011
Kömür	bintep	16110	22919	31324	33488
	%	30	28	29	29
Petrol	bintep	23901	30553	29211	30499
	%	45	38	27	27
Doğalgaz	bintep	3110	13729	34907	36909
	%	6	17	32	32
Hidrolik	bintep	1991	2656	4454	4501
	%	4	3	4	4
Odun,çöp,v.b.	mtep	7208	6457	4558	3537
	%	14	8	4	3
Jeotermal, Güneş,Rüzgar	bintep	461	978	2649	3096
	%	1	1	2	3
Diğer	bintep	278	3208	2163	2460
	%		4	2	2
TOPLAM BİRİNCİL ENERJİ	bintep	52987	80500	109266	114490
	%	100	100	100	100

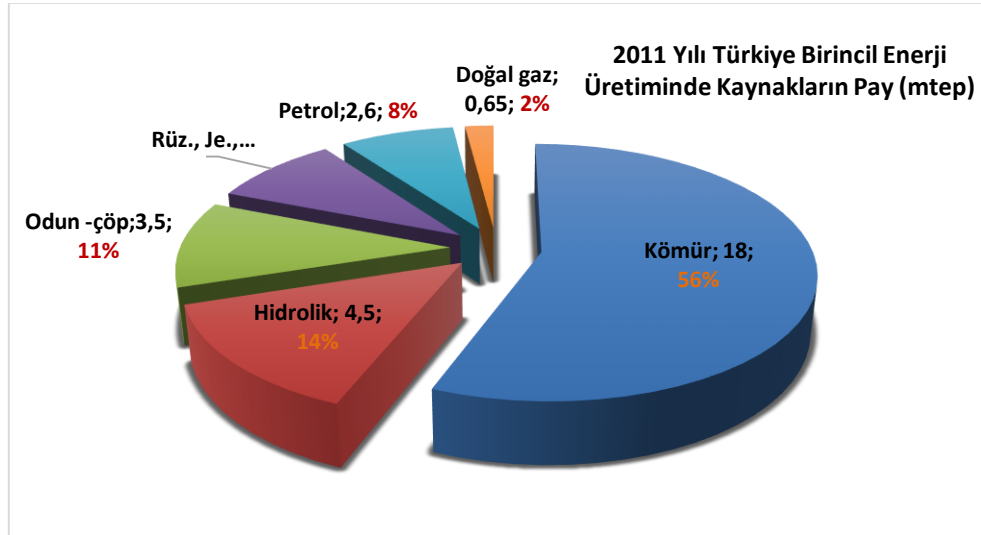
1990-2011 döneminde Türkiye toplam birincil enerjisi arzı içinde *kömürün payı* %30'dan %29'a gerilemiş olsa da 1990 yılına göre %56 oranında artarak 17.378 bin tep değerinden, 2011 yılında 33.488 bin tep değerine ulaşmıştır. *Petrolün payı*, 1990'da %45'den 2011'de %27'ye gerilemiş olsa da geçen yirmi bir yılda miktar bakımından 1990 yılına göre 6598 bin tep değerinden artarak 2011 yılında 30499 bin tep değerinde olmuştur. *Doğalgazın payı* 1990'da %6'dan 2011'de %32'ye yükselmiş olup miktar olarak 1990 yılına göre 33799 bin tep artmıştır. *Hidroliğin payı*, 1990 ve 2011'de % 4 olurken miktar olarak 1990 yılına göre, 2510 bin tep artmıştır. *Odun, çöp, hayvan atığı v.b.* 1990'da %14'den 2011'de %3'e gerilerken miktar bakımından da yarı yarıya azalmıştır. *Rüzgâr*, jeotermal, güneş gibi yenilenebilir enerjinin toplam payı 1990'da %1'den 2011 yılında %3'e yükselmiş olmasına rağmen dünya ortalamasının oldukça altında kalmıştır (Şekil 2.10, Çizelge 2.4).

2.5.2 Birincil Enerji Üretiminde Türkiye Verileri



Şekil 2.11 1990-2011 yıllarında türkiye toplam birincil enerji üretimi ve arzı [50]

1990-2011 yılları arasındaki toplam birincil enerji üretimi %26 oranında artarak 25,5 mtep'ten 32,2 mtep düzeyine yükselmiştir. Bu dönemdeki toplam birincil enerji arzı ise %115 artmıştır. Üretimin toplam birincil enerji arzını karşılama oranı ise 1990 yılında %48 iken geçen yirmi bir yılda %28 oranına inmiştir (Şekil 2.11). Birincil enerji üretimi, tüketimin %28'ini karşılamaktadır. Enerjide dışa bağımlılık 1990'da %52, 2000 yılında %68 iken 2011 yılında %72 olmuştur. Enerjide dışa bağımlılık giderek artmaktadır.



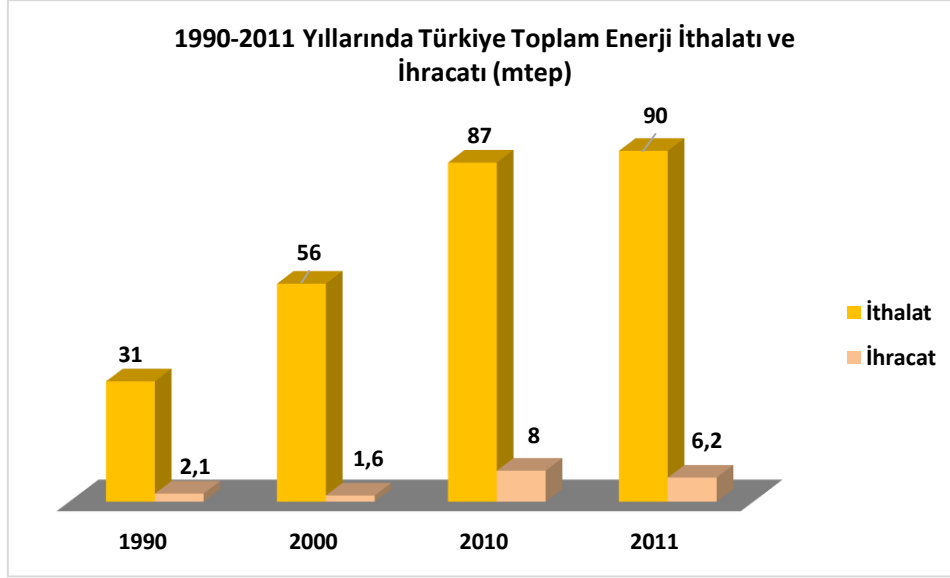
Şekil 2.12 Türkiye birincil enerji üretiminde kaynakların payı [51]

2011 yılı toplam Türkiye birincil enerji üretimi 32,2 milyon tep olurken, üretimin 18 milyon tep ve %56 ile yarıdan fazlasını kömür üretimi oluşturmuştur. Kömürü, 4,5milyon tep ve %14 oranı ile hidrolik 3,5 mtep ve %11 ile odun, çöp, hayvan atıkları,

3 milyon tep ve %9 payı ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları, 2,6 milyon tep ile petrol ve 0,6 milyon tep ile doğal gaz izlemiştir (Şekil 2.12).

2.5.3 Enerji Ticaretinde Türkiye Verileri

1990-2011 Yıllarında Türkiye Toplam Enerji İthalatı ve ihracatı (mtep)



Şekil 2.13 1990-2011 yılları arasında türkiye toplam enerji ticareti [50]

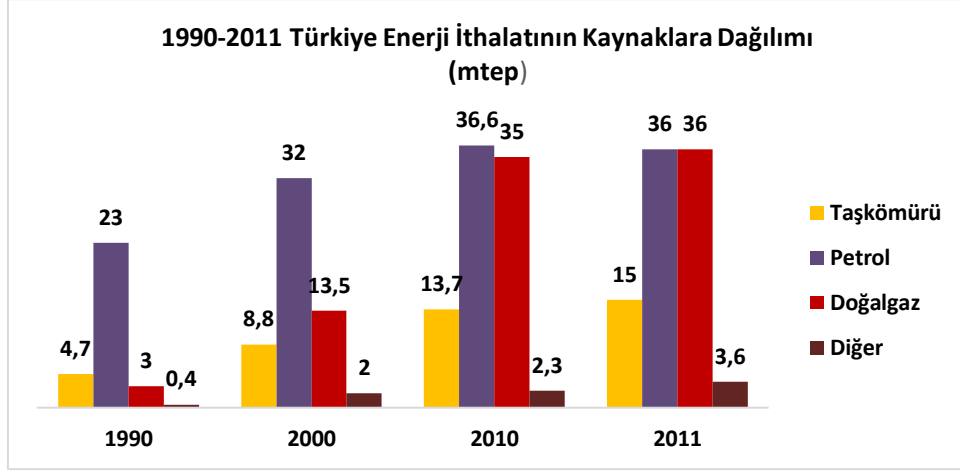
Türkiye enerji ithalatı 1990 yılında 31 mtep iken 2011 yılında yaklaşık üç kat artarak 90 mtep'e ulaşmıştır. 1990-2011 yılları arasındaki İhracat miktarı ise ithalata göre çok düşük düzeyde kalmıştır. Türkiye enerji ihracatı 1990 yılında 2,1 mtep iken 2010 yılında 8, 2011 yılında ise 6,2 milyon tep olmuştur (Şekil 2.13). Geçen dönemdeki enerji ihracatında en büyük pay petrolde olduğu görülmektedir. 2011 yılında da Enerji İhracatında en büyük pay 5,2 mtep ile petrole ait olup bunu 0,6 mtep ile doğalgaz, 0,3 mtep ile elektrik takip etmiştir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 Enerji talep–üretim–ithalat ve ihracatının gelişimi (Bin TEP) [50]

	1990	1995	2000	2001	2002*	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Talep	52.987	63.679	80.501	75.403	78.354	83.826	87.818	91.362	99.590	107.625	106.273	105.025	109.266
Üretim*	25.656	26.749	26.156	24.681	24.324	23.783	24.332	24.549	26.802	27.453	29.192	30.328	32.493
İthalat	30.936	39.779	56.342	52.780	58.629	65.239	67.885	73.480	80.514	87.614	85.357	82.159	87.409
İhracat	2.104	1.947	1.584	2.620	3.162	4.090	4.022	5.171	6.572	6.926	7.183	6.829	8.009
İhrakiye	355	464	467	624	1.233	644	631	628	586	92	761	657	387
Net İthalat	28.477	37.358	54.291	49.536	54.254	60.505	63.232	67.681	73.354	81.112	77.413	74.673	79.013
TYÜKO** (%)	48,1	42,0	33,1	32,6	31,0	28,4	27,7	26,9	26,9	25,5	27,2	28,9	29,7

* Rafineri dışı üretim dahildir.

**TYÜKO: Talebin Yerli Üretimle Karşılama Oranı(ETKB/APKK/PFD ve 2008 ETKB EİGM



Şekil 2.14 1990-2011 Türkiye enerji ithalatında kaynakların miktarı [50]

1990- 2011 yılları arasında giderek artan Türkiye enerji ithalatının, kaynaklar bazında gelişimi incelendiğinde; doğalgazın artış miktarı geçen yirmi bir yılda 12 kat artarak 36 mtep'e yükseldiği görülmektedir. Petrolün ithalatı ise 2011 de 1990 yılına göre %57 oranında artarak 36 mtep olmuştur. Taşkömürü ithalatı ise 1990'da 4,2 mtep iken 2011 yılında 15 mtep düzeyine yükselmiştir. 2011 yılında Türkiye birincil enerji arzının % 72' si ithal enerjiyle karşılanmıştır. 90,3 mtep ile yerli üretimin üç katına yakın yapılan ithalatın %80'ini petrol ve doğal gaz oluşturmuştur. 2011 yılında ayrıca, 15,3 milyon tep taşkömürü, 2 milyon tep petrokok ithal edilmiştir (Şekil 2.14).

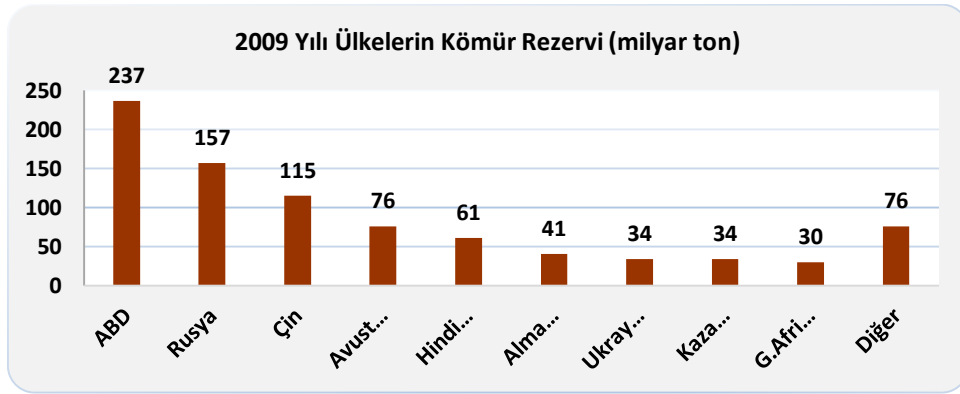
2.6 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Kaynağı Olarak Kömür Verileri

Yanabilen sedimanter kaya ve maden olan kömür, katı fosil yakıttır. Çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve azot içerir. Diğer içerikleri ise inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Kömürleşme süresi, 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir [25].

Kömür, fosil yakıtlar arasında dünyada en çok ve yaygın olarak bulunan enerji kaynağıdır. Bu nedenle kömürün, diğer fosil yakıtlara göre giderek artan oranda ve çok daha uzun yıllar dünyanın enerji gereksinimini karşılayacağını söyleyebiliriz.

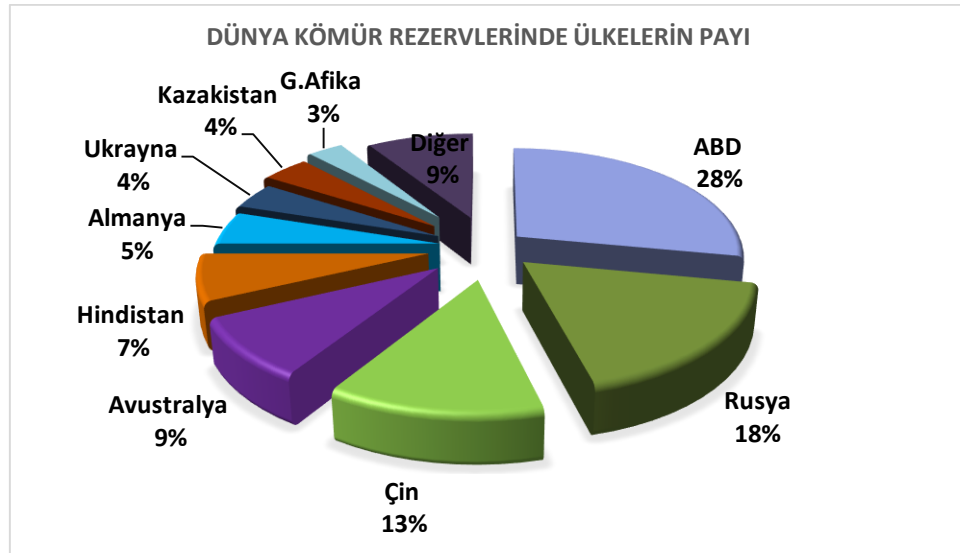
2.6.1 Dünya'da ve Türkiye'de Kömür Rezervleri

Dünya Enerji Konseyinden alınan verilere göre 2009 yılı Dünya toplam kömür rezervi 861 milyar ton olmuştur. Bu rezervlerin 405 milyar ton ile %47'si antrasit ve taşkömürü, 261 milyar ton ile %30'u alt bitümlü kömürler ve 195 milyar ton ile %23'ü ise linyitlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.15 2009 yılı ülkelerin kömür rezervi [52]

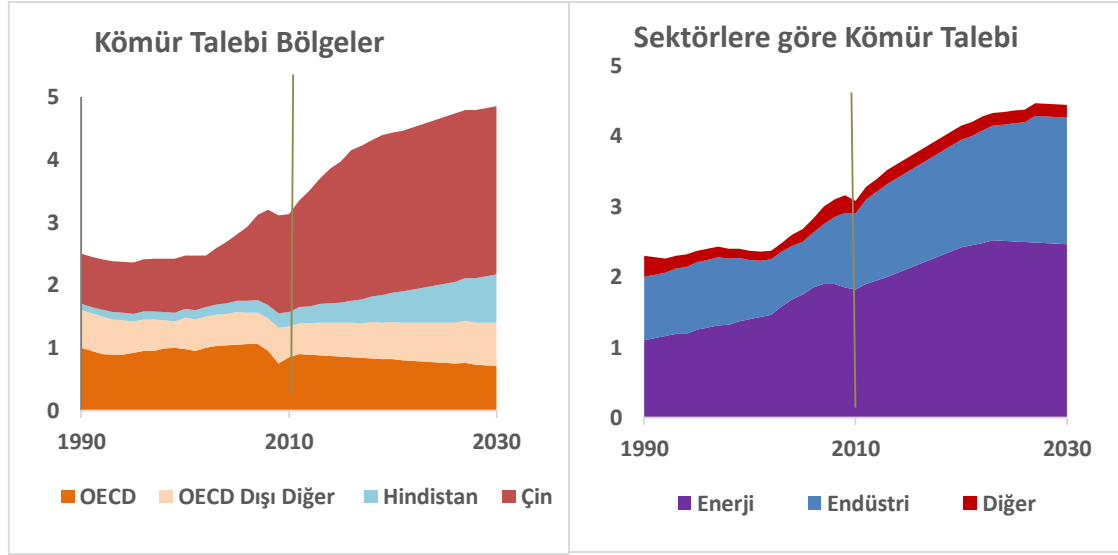
Dünya kömür rezervleri beş kıtaya dağılmış olmasına karşın en büyük pay Asya kıtasındadır. Ülkeler bazında en fazla kömür rezervi 237 milyon tonla ABD’de bulunmaktadır. ABD’den sonra diğer ülkelerin kömür rezervleri Rusya’nın 157 milyar ton, Çin’in 115 milyar ton, Avustralya’nın 76 milyar ton, Hindistan’ın 61 milyar ton, Almanya’nın 41 milyar ton, Ukrayna’nın ve Kazakistan’ın 34 milyar ton, Güney Afrika’nın 30 milyar ton’dur (Şekil 1.15).



Şekil 2.16 Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı [52]

2009 yılı bilgilerine göre Dünyada kömür rezervlerinin 861 milyar ton olan %91,5’u dokuz ülkede bulunmaktadır. Yine Dünyada kömür rezervlerinin %80’i ise sadece altı ülkede bulunmaktadır. Bu ülkelerin başında 237 milyar ton ve %28 ile ABD

gelmektedir. Diğer ülkelerden; Rusya %18, Çin % 13, Avustralya %9, Hindistan % 7 ve Almanya %5 paya sahipken Ukrayna ve Kazakistan'ın %4 ve G. Afrika'nın rezerv payı %3,5'u Şekil 2.16'da görüldüğü gibidir. Diğer ülkelerin kömür rezervi 76 milyar ton ile % 9'dur (Şekil 2.16).



a) Bölgesel kömür tüketimi

b) Sektörel kömür tüketimi

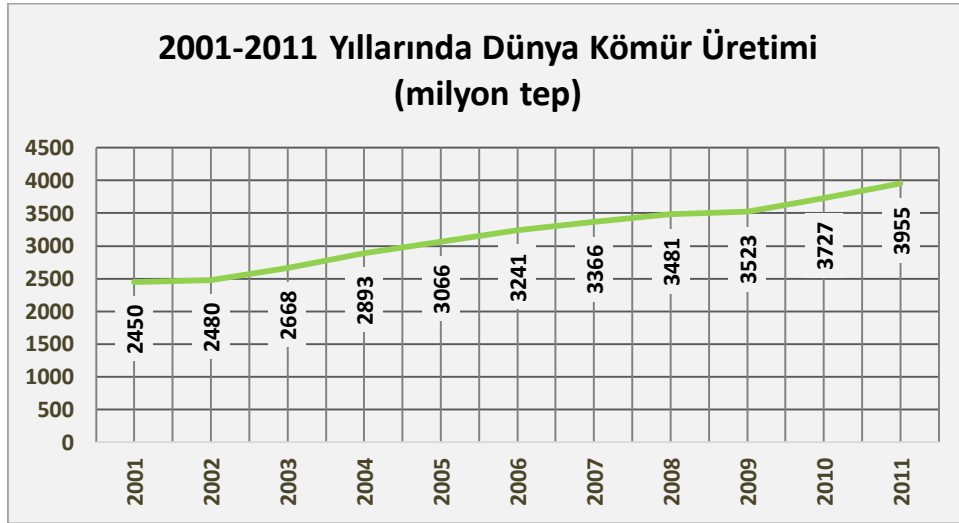
Şekil 2.17 1990-2030 Yılları arası kömür tüketim miktarı [46]

2010-2030 yılları arasında OECD ülkelerinde kömür tüketimi -%1,1 oranında azladığı ön görülmektedir. OECD üyesi olmayan ülkelere kömür tüketimi ortalama %2,1 oranında artış göstermesi beklenmektedir. Çin için kömür tüketimi 2020 yılında durması beklenmektedir. Genel anlamda 2000-2010 yıllarında ortalama büyüme %4,0 da sabitlenmiştir. 2010-2030 yılları arasında ortalama büyüme oranı %0,5 olması beklenmektedir. Çin 2030 yılında global kullanılan kömür miktarının %67'sini kullanmaktadır. Bu kullanım global kullanım oranı %48'den %53'e çıkarmaktadır. Hindistan'ın global kömür tüketimindeki payı günümüzden %8 iken 2030 yılında %14'e çıkacağı beklenmektedir (Şekil 2.17).

Dünya'da genellikle kömür ve diğer madenlerde, ekonomik üretilebilir kategorisinde kanıtlanmış değerlere, rezerv değerler olarak tanımlanır. Dünya Enerji Konseyi'nin raporunda 2012 yılı itibariyle Türkiye'nin 13,5 milyar tonu bulan toplam linyit rezervi bulunmaktadır.

2.6.2 Dünya’da ve Türkiye’de Kömür Üretim ve Tüketimleri

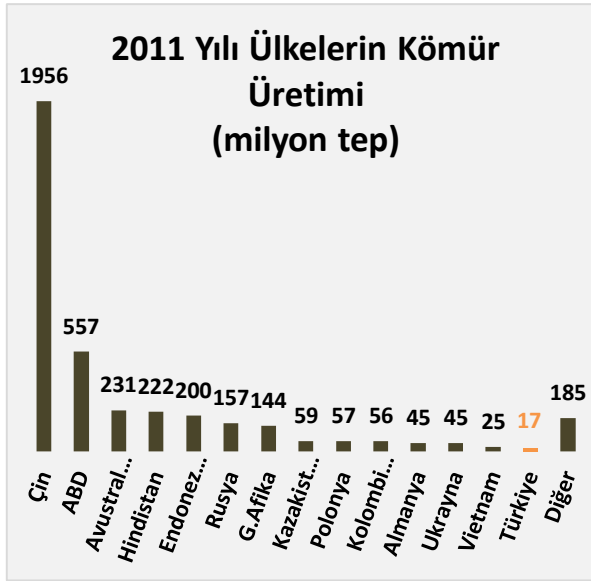
Kömür kayda değer miktarda 30’dan fazla ülkede üretilmekte ve 60’tan fazla ülkede tüketilmektedir. BP (2012) enerji raporu incelendiğinde Dünya kömür üretiminin %95’i 14 ülkede bulunmasına rağmen Dünya kömür üretiminin %80’i beş ülkede bulunmaktadır. Bu bilgilere göz önüne alındığında, önemli miktarlarda kömür üretiminin dünyada petrol gibi sayılı ülkelerde üretildiği ve enerji kontrolünde petrole ile birlikte önemli bir role sahip olduğu açıkça görülmektedir.



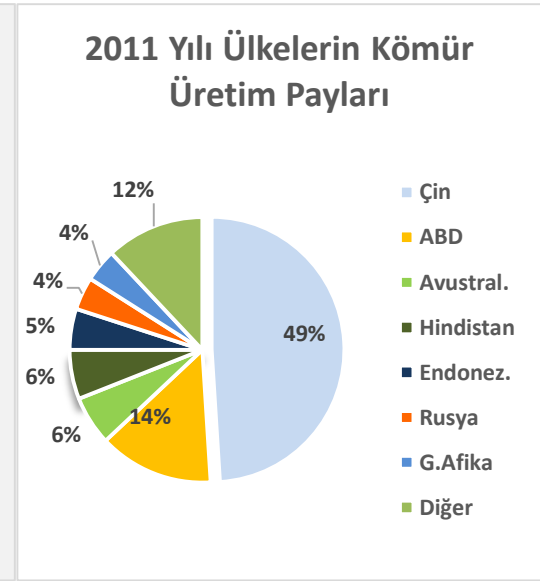
Şekil 2.18 2001-2011 yıllarında dünya kömür üretimi [46]

2010 yılı değerleri incelendiğinde Dünya kömür üretimi 3.727 milyon tep olurken 2011 yılında %6 artışla 3.955 milyon tep olmuştur. 2011 yılından önceki beş yılın verileri incelendiğinde ortalama bu artışın %4 olduğu görülmektedir (Şekil 2.18).

2001-2011 yılları arasında geçen on bir yılda, Dünya’da yıllık kömür üretimi %61 artmıştır. Kömür üretimindeki artışın büyük kısmı Çin’de gerçekleşmesine rağmen, Asya kıtasındaki elektrik enerjisi talebinin kömür kullanılarak karşılanması bu artışın gerçekleşmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak ısınma, taşıma ve sanayi sektörlerindeki talep geçmiş yıllar dikkate alındığında genelde durağan ya da düşme eğilimi göstermektedir.

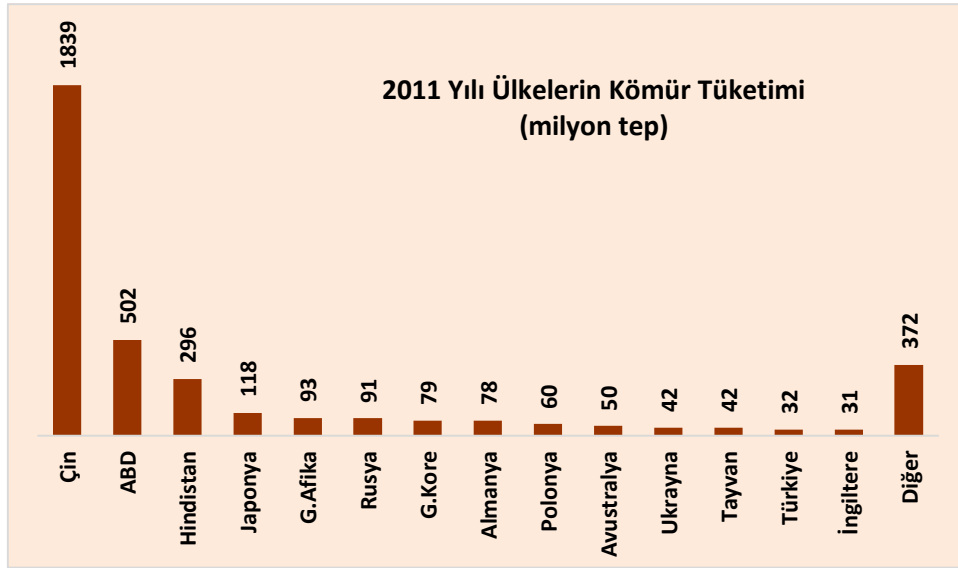


Şekil 2.19 2011 Yılı ülkelerin kömür üretimi [46]



Şekil 2.20 2011 yılı ülkelerin kömür üretim payları [46]

2011 yılı Dünya üretiminin 3.955 milyon tep eşdeğeri olan kömür üretiminin %49,5'u ile 1.956 milyon tep Çin gerçekleştirmektedir. Çin'den sonra %14 ve 557 milyon tep ile ABD gerçekleştirmektedir. Diğer ülkelerin Dünya kömür üretimindeki paylarına incelendiğinde; Avustralya 231 milyon tep ile %5,8 oranında, Hindistan 222 milyon tep ile %5,6, Endonezya 200 milyon tep ile %5, Rusya 157 milyon tep ile %4, G. Afrika 144 milyon tep ile %3,6, Polonya ve Kazakistan %1,4, Almanya %1,1'ini üretim gerçekleştirmektedir. Türkiye, Dünya kömür üretiminin binde dördüne karşılık gelen 17 milyon tep gerçekleştirmiştir. Veriler dikkate alındığında tüm dünyadaki kömür üretiminin büyük bölümünün giderek daha az sayıda ülkenin elinde toplandığı görülmektedir. 1986 yılında üretimin yaklaşık %80'i toplam 10 ülke tarafından yapılırken, 2011 yılı itibarıyla %88'i 7 ülke tarafından yapılmaktadır. (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu 2012) Çin, ABD, Avustralya, Hindistan, Endonezya, dünya kömür üretiminin %80'ini gerçekleştiren beş ülkedir (Şekil 2.19 ve 2.20).



Şekil 2.21 2011 yılı ülkelerin kömür tüketimi [46]

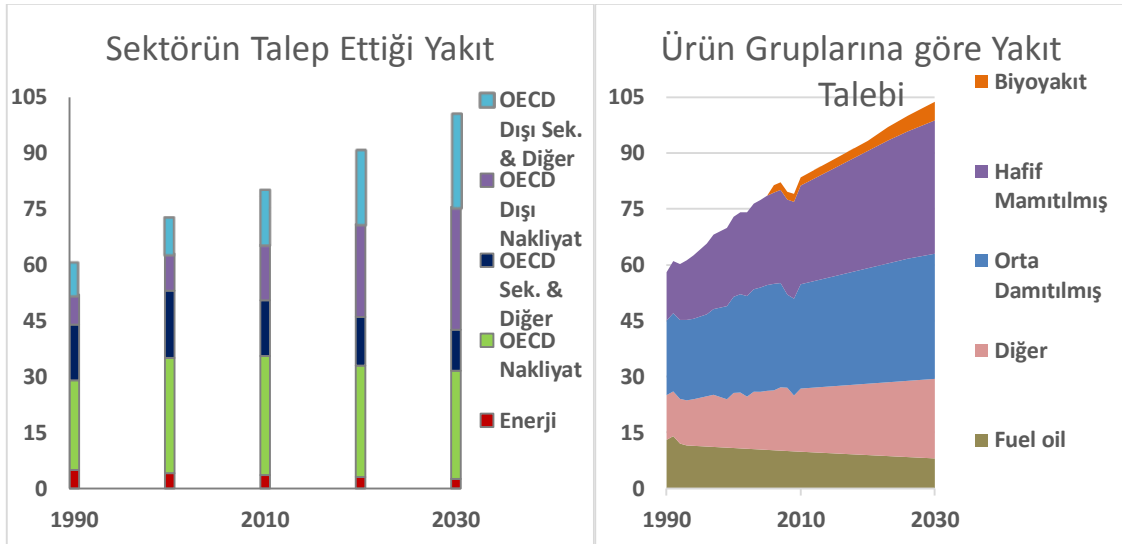
%49,4'ü olan 1.839 milyon tep'i Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Dünya kömür tüketiminin hemen hemen yarısını Çin tüketmektedir. Çin'den sonra en büyük tüketici ülke olan ABD'nin tüketim oranı %13,4'tür. Diğer önemli kömür tüketicileri ise sırasıyla; Hindistan, Japonya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Rusya, Güney Kore, Almanya, Polonya ve Avustralya şeklinde sıralanmıştır (Şekil 2.21) Toplam dünya kömür tüketimindeki %86 oranındaki payı bu on ülke gerçekleştirmektedir. Türkiye'nin 2011 yılı Dünya kömür tüketimindeki payı ise binde 8,7 ile 32,4 milyon tep olmuştur.

2.7 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Kaynağı Olarak Petrol ve Doğal Gaz Verileri

Petrol, birçok sektörün temel enerji girdisini oluşturmaktadır. Sektörlerin sahip olduğu üretim teknolojisi, temel enerji ve ara girdi olarak petrol ve petrole dayalı ürün yada ürünleri kullanmaktadır. 21. yüzyılda petrol ve doğalgaz, ulusal ekonomiler ile dış politikadaki gelişmeler açısından stratejik öneme sahiptir. Orta vadede, OECD ülkelerinde petrol talep artışının sabit kalması beklenirken, OECD dışı ülkelerin de talep artışının ise artmaya devam etmesi beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (UEA) göre, 2009'dan bugüne petrol arzında gerçekleşen daralma 2012'de yeniden artmaya başlamış ve petrol stoklarının günde 1.2 milyon varil arttığı gözlemlenmiştir. UEA'nın 2011 yılı son raporu değerlendirildiğinde 2011-2035 yılları arasında dünyada enerji sektörüne toplam 37,9 trilyon dolar yatırım yapılacağı öngörülmektedir. Bunun 10 trilyon dolarının petrol sektörüne, 9.5 trilyon dolarının ise doğalgaz sektörüne yatırım yapılması planlanmaktadır [51].

2.7.1 Dünya’da Petrol ve Doğalgaz Rezervleri

Tüm Dünya’da birincil enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan petrolün, stratejik konumdadır. Üretilen petrol rezervlerinin büyük kısmı Ortadoğu bölgesinde %48,1 oranında yoğunlaştığı görülebilmektedir. Ortadoğu’yu %19,7 ile Güney ve Orta Amerika ülkeleri takip etmektedir. Dünya petrol rezervlerinin %72,4’üne OPEC üyesi ülkeler sahiptir [53].



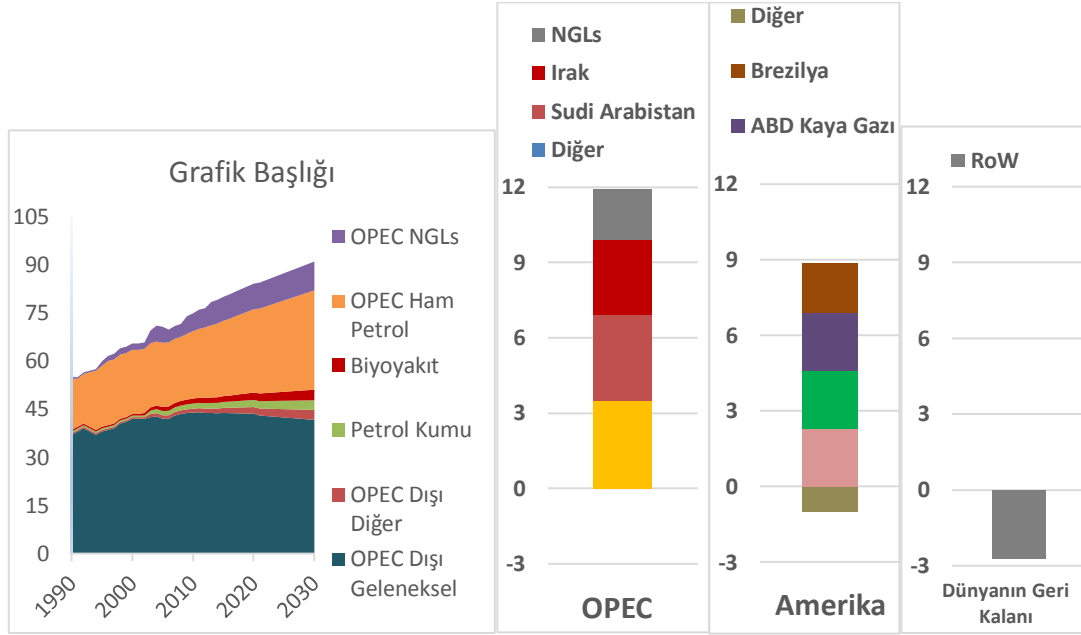
a) Sektör bazlı sıvı yakıt talebi

b) Kaynak bazlı sıvı yakıt talebi

Şekil 2.22 1990-2030 yılları arasında sıvı yakıt talebindeki büyüme miktarı [46]

1990-2010 yılları arasında ortalama %1,4 oranında büyüyen global sıvı yakıt tüketiminin büyüme ortalaması %0,8 oranına kadar yavaşlaması öngörülüyor. Burada petrolün de ortalama %0,6 oranına gerileyeceği düşünülmektedir. OECD üyesi ülkelerin tüketimi ise 40,5 Mv/g (Gün de Milyon Varil)’e kadar düşerken 1990’daki değerinden 1 Mv/g altına yerleşmektedir. OECD üyesi olmayan ülkelerin tüketimi 2014 yılına kadar OECD üyesi ülkelere yetişmesi ve 2030 yılında ise 63 Mv/g ulaşarak 1990 yılındaki değerinin iki buçuk katına ulaşması beklenmektedir. Son yıllarda genel tüketimin büyümesinin önündeki engellerin başında ham petrol fiyatlarının çok yüksek olması gerekmektedir. Sektörel bazda değerlendirildiğinde taşıma sektöründe OECD üyesi olmayan ülkelere büyüme yine yüksektir ve yaklaşık 2030 yılında 14 Mv/g kadar olması öngörülmektedir. Yine sanayi tüketimlerindeki artış da 6,5 Mv/g kadar olması beklenmektedir. OECD üyesi ülkelere ise düşüş beklenmektedir. Çünkü sıvı yakıtlar gaz kaynakları ve yenilenebilir kaynaklar ile kolaylıkla sübvans edilebilir. Bununla

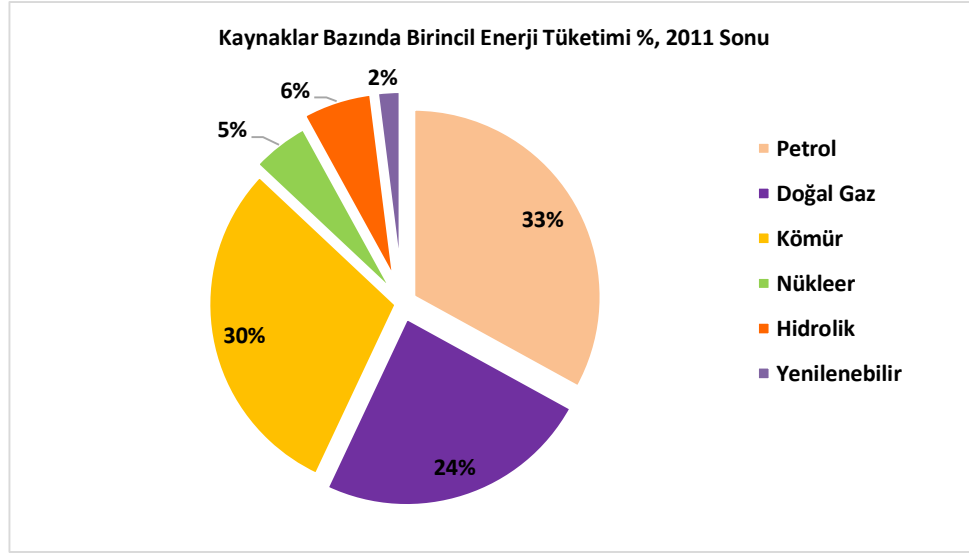
birlikte 2015 yılı sonrası geliştirilen motorların verimliliği sağlanarak taşımacılıkta gerçekleşmesi beklenen talebin azalacağı öngörülmektedir (Şekil 2.22).



Suudi ham petrol üretimi miktarı yaklaşık 3 Mv/g kadar büyürken Irak'tan ham petrol üretiminin yaklaşık 6 Mv/g olacağı ve bu miktarı Suudilerin ikiye katlanacağı tahmin edilmektedir. Suudi kaynakların herhangi bir kriz söz konusu olduğunda yedekte bekletilmesi bunda önemli bir etkidir. Amerika'dan gelen arz da 8 Mv/g kadar genişleyecek, Amerika'yı takiben sırasıyla Kanada petrol yatakları +2 Mv/g, Brezilya derin suyu +2 Mv/g ve ABD şist petrolü +2 Mv/g miktarı kadar artış göstermesi beklenmektedir. Bunlara ek olarak, ABD ve Brezilya 2030 yılında toplam biyoyakıt üretimi büyümesi +3,5 Mv/g kadar olması beklenmektedir. Genel olarak, OPEC dışı arzın 5 Mv/g kadar büyüme yapması beklenmektedir (Şekil 2.23-b).

2011 yılında dünya enerji tüketiminde %2,5'lik bir artış kaydedilmiştir. Birincil enerji tüketiminde OECD dışı ülkelerde %5,3'lük, Rusya'da ise %3'lük bir artış olmuştur, OECD üyesi ve AB ülkelerinde ise tüketimde azalma gerçekleşmiştir. 2011 yılında Çin 2,6 milyar ton petrol eşdeğeri ile en fazla enerji tüketen ülke olmuştur. Çin'in enerji tüketimindeki artışın, ekonominin olgunlaşmasıyla 2020 yılından sonra önemli ölçüde yavaşlaması beklenmektedir (Şekil 2.23-a).

UEA'nın 2011 yılı dünya enerji kaynaklarından petrolün %33,1'lik bir tüketim oranı ile dünyanın önde gelen enerji kaynağı olmasına rağmen tüketim oranı son 12 yılda düşüş trendi göstermektedir. Doğal gaz ise %23,7'lik bir tüketim oranına sahiptir.



Şekil 2.24 Kaynaklar bazında birincil enerji tüketimi (%) [54]

Kaynaklar Bazında Birincil Enerji Tüketimleri incelendiğinde bugün tüketilen petrolün, %39'u karayolu, %6'sı havacılık, %4'ü denizcilik ve %2'si demiryolu ve yurtiçi deniz taşımacılığı olmak üzere toplam %51'ini ulaşım sektöründe kullanıldığı görülmektedir. Aynı zamanda dünyada üretilen petrolün aşağı yukarı yarısı denizyoluyla taşınmaktadır (Şekil 2.24).

Denizyolu petrol taşımacılığının geçiş noktası dünya petrol talebindeki payı (%)dikkate alındığında Hürmüz Boğazı %20, Malakka Boğazı %18, Süveyş Kanalı ve SUMED %5, Babül Mendeb %4, Türk Boğazları %3,4, Panama Kanalı %0,9, ve Danimarka Boğazı %3,7'lik bir paya sahiptir. Dünya petrol akışı aşağı yukarı %55'i bu noktalardan geçmektedir. Boğazlara alternatif olacak denizyolu geçişi olmadığından Hazar bölgesi petrolünü taşımak üzere Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) gibi boru hattı projeleri alternatif olarak görülmektedir [53].

2.7.2 Dünya'da ve Türkiye'de Petrol Üretim ve Tüketimi

Dünya toplam ham petrol üretimi 2011 yılında, 2010 yılına göre %1,3 artış göstermiş 4,0 milyar ton olmuştur. Bu artış 2011 yılındaki OPEC üyesi ülkelerin Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), Kuveyt ve Irak'ın üretimlerinde gerçekleştirdikleri büyük artışlardan kaynaklanmaktadır. ABD, Rusya ve Kolombiya'daki üretimin

artmasına rağmen, İngiltere ve Norveç ‘deki üretimin düşmüş olması OPEC dışı ülkelerin üretimlerinin 2011 yılında sabit kalmasına neden olmuştur. Petrol üretiminde ilk sırayı %32,6 ile Orta Doğu ülkeleri gelmektedir. Orta Doğu ülkelerini sırasıyla %16,6 ile Kuzey Amerika ve %12,8 ile de Rusya Federasyonu izlemektedir (Çizelge 2-6).

Çizelge 2.6 Petrol üretim-tüketim (milyon ton) [53]

	Üretim		Değişim		Tüketim		Değişim	
Bölgeler	2010-2011		(%)	Pay(%)	2010	2011	(%)	Pay(%)
Kuzey Amerika	650.6	670.0	3.0	16.6	1041.1	1026.4	-1.4	25.3
Orta ve G.Amerika	375.2	379.9	1.3	9.5	281.0	289.1	2.9	7.1
Avrupa ve Avrasya	854.2	838.8	-1.8	21.0	903.1	898.2	-0.6	22.1
Ortadoğu	1190.9	1301.4	9.3	32.6	364.3	371.0	1.8	9.1
Afrika	478.5	417.5	-12.8	10.4	160.6	158.3	-1.4	3.9
Asya Pasifik	396.1	388.1	-2.0	10.4	1281.7	1316.1	2.7	32.4
Toplam	3945.5	3995.7	1.3	100.0	4031.8	4059.1	0.7	100.0
OECD	868.1	866.7	-20.0	21.7	2118.0	2092.0	-1.2	51.5
OECD-dışı	3077.3	3128.9	1.7	78.3	1913.9	1967.0	2.8	48.5
OPEC	1645.9	1695.9	3.0	42.4	-	-	-	-
OPEC-dışı	1641.3	1641.3	-0.1	41.0	-	-	-	-
Avrupa Birliği	92.7	92.7	-12.7	2.0	662.8	645.9	-2.6	15.9
Eski SSCB	658.2	658.2	0.2	16.5	180.4	190.6	5.7	4.7

2011 yılında dünya petrol tüketimi 2010 yılına göre %0,7 artış göstererek 4,06 milyar ton olmuştur. Tüketim 2009 yılında krizden etkilenmiş olmasına rağmen petrol talebi 2010 yılından itibaren artmaya başlamıştır.

Ham petrol tüketimi bölgelere göre değerlendirildiğinde, liderliği Asya Pasifik Bölgesi almış olup, 2011 yılı toplam tüketimin %32,4’üne karşılık gelmektedir. ABD, Kanada ve Meksika’dan oluşan Kuzey Amerika ise 1 milyar ton tüketim ile %25,3’lük oran ile dünya petrol tüketiminde Asya’dan sonra ikinci sırada gelmektedir. OECD üyesi ülkelerin petrol tüketimi % -1,2 oranında düşerken, başta Çin ve Orta Doğu ülkeleri olmak üzere OECD üyesi olmayan ülkelerde ise petrol tüketiminde %2,8’lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Doğal gazın, dünya enerji tüketiminde %23,7’lik pay ile petrol ve kömürden sonra en çok kullanılan üçüncü kaynaktır [53]. Doğal gaz talebinin artmasında ekonomik faaliyetler, gazın diğer enerji kaynakları karşısındaki rekabet gücü, çevre kirliliği ve küresel ısınmaya yönelik artan kaygılar, teknolojiye değişim, erişim kolaylığı ve hükümet politikaları ana etkenler olarak sıralanmaktadır [53].

2011 yılında Dünya doğal gaz tüketimi %2,2 artmıştır. 2011 yılında dünya doğal gaz tüketimi ise 3.2 trilyon m³ olmuştur. Dünya gaz tüketiminin %52,3’ü OECD dışı

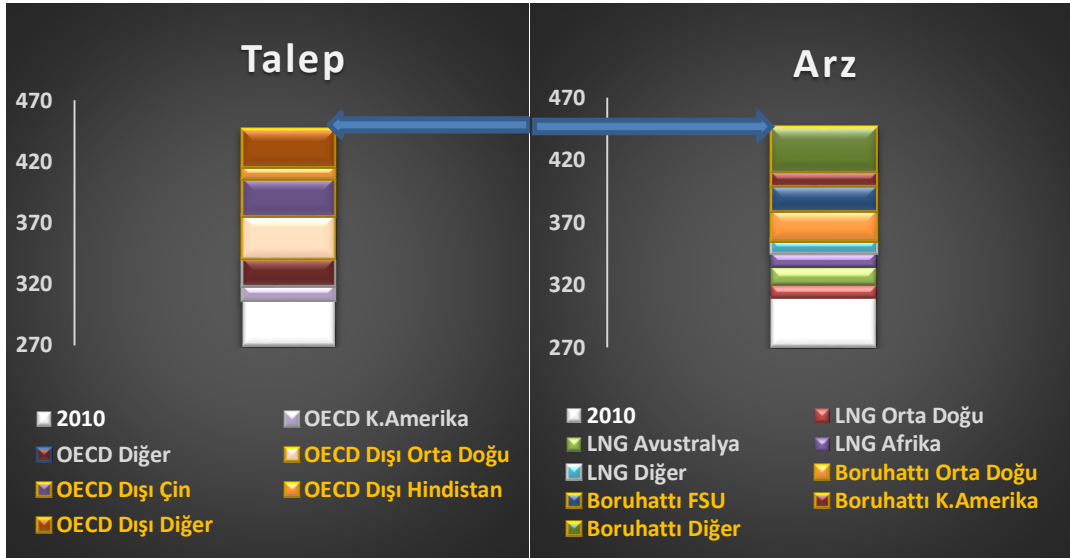
lkeler tarafından talep edilmiştir. %21,5 ile Çin, %13,2 ile Suudi Arabistan ve %11,6 ile Japonya’da tüketim artışı yaşanmıştır. Fakat AB lkelerinde doğalgaz tüketiminin %9,9 oranında düştüğü görülmektedir (izelge 2.7).

Çizelge 2.7 Dünya doğal gaz üretim ve tüketim (Milyar m3) [53]

Bölgeler	retim		Değişim		Tüketim		Değişim	
	2010	2011	(%)	pay(%)	2010	2011	(%)	pay(%)
Kuzey Amerika	819.1	864.2	5.5	26.5	836.2	863.8	3.2	26.9
Orta ve G.Amerika	162.8	167.7	3	5.1	150.2	154.5	2.9	4.8
Avrupa ve Avrasya	1026.9	1036	0.9	31.6	1125	1101.1	-2.1	34.1
Ortadoğu	472.3	526.1	11.4	16	377.3	403.1	6.9	12.5
Afrika	213.6	202.7	-5.1	6.2	106.9	109.8	2.7	3.4
Asya Pasifik	483.6	479.1	-0.9	14.6	557.9	590.6	5.9	18.3
Toplam	3178.3	3276	3.1	100	3153	3222.9	2.2	100
OECD	1148.2	1168	1.7	35.8	1536	1534.6	-0.1	47.7
OECD-dışı	2030	2108	3.8	64.2	1617	1688.4	4.4	52.3
Avrupa Birliği	174.9	155	-11.4	4.7	496.9	447.9	-9.9	13.9
Eski SSCB	741.9	776.1	4.6	23.6	580.7	599.5	3.3	18.6

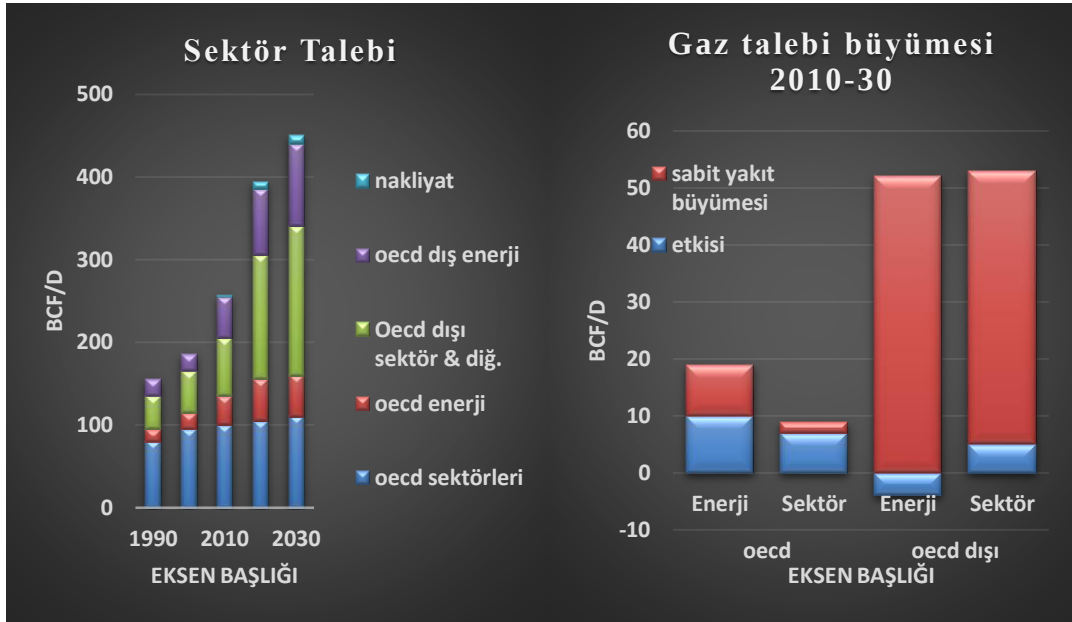
OECD lkelerinde 2011 yılı doğal gaz tüketimi 2010 yılına oranla %0,1 azalmış ve 1,5 trilyon m3 olmuştur. OECD lkeleri arasında doğal gaz tüketiminde ABD %21,5’luk bir oranla ilk sırayı almaktadır. ABD’yi %13’lk bir oran ile Rusya Federasyonu izlemektedir. 2011 yılında, dünyada yaklaşık 3,2 trilyon m3 gaz üretimi gerçekleştirilmiş ve bu miktar dünya birincil enerji tüketiminin yaklaşık % 23,7’sini karşılamıştır.

Üretim %64,2’si OECD dışı ülkelerden elde edilirken, 2011 yılı itibarı ile en fazla gaz üreten ülke, 651 milyar m3 ile ABD’dir. ABD’yi, 607,0 milyar m3 üretimi ile Rusya Federasyonu gelmektedir. Doğal gaz üretiminde önde gelen diğer ülkeler sırasıyla Kanada, İran, Katar, Norveç, Çin ve Cezayir’dır.



Şekil 2.25 Doğal gaz talebinde büyüme miktarı [46]

Doğal gaz, fosil yakıtlar arasında küresel olarak ortalama %2,1 oranında en hızlı büyümesi beklenen yakıttır. OECD üyesi olmayan ülkelerin gaz talep artışı ise %80'e karşılık gelmektedir. OECD üyesi olmayan Orta Doğu ortalama %4,6 oranında artış ve Orta Asya ülkelerinde ortalama %4,6 oranında talep artışı gerçekleşmiştir. Çin'deki gaz tedariki ortalama % 7,6 oranında çok hızlı büyüme göstermektedir. Bu durumda Çin 2030 yılında Avrupa Birliği'nin 2010 yılında kullandığı toplam gaz miktarına (46 BCF/d) ulaşması beklenmektedir. Çin, küresel talep artışının % 23'ünü temsil etmektedir. Çin'in birincil enerji tüketiminde gazın payı % 4,0 'ten % 9,5'a kadar yükselmesi beklenmektedir. Toplam büyümede tedarikçi ülkelere baktığımızda büyümede en büyük paya %26 ile Orta Doğu ile %19 ile Eski Sovyetler Birliği ülkeleri (FSU) sahiptir. Bu ülkeleri takiben Avustralya, Çin Ve Amerika'dan da %11-%12 gibi bir büyüme beklenmektedir. Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) çok hızlı artan bir talebe sahiptir. Global LNG ortalama %4,5 oranında 2030 yılına kadar büyümesi beklenmektedir. Bu oran toplam gaz artış oranı olan %2,1'in yaklaşık iki katından ve ülkeler arası boru hattı taşıma oranı olan %3,0 oranından fazladır. LNG, 1990-2010 arasında %19'luk büyüme oranıyla karşılaştırıldığında 2010-2030 arasındaki küresel arz büyümesi % 25 olması beklenmektedir (Şekil 2.25).



Şekil 2.26 Doğal gaz talebinin ikame yakıtlar ile desteklenmesi [46]

Sektörler baz alındığında genel anlam da enerji sektörü ortalama %2,4 ve taşımacılık sektörü de ortalama %2,1 oranında en çok büyüyen sektörlerdir. Taşıma sektöründe kullanılan gaz miktarı şimdiki gaz tüketiminin dört katı kadar daha fazla olması beklenmektedir. OECD üyesi ülkelerinde de enerji sektöründe büyüme oranı ortalama %1,6 gibidir. Endüstri sektörü ise %0,9 oranında iken diğer sektörler ise %0,1'in altındadır. OECD üyesi olmayan ülkelere tüketim oldukça hızlı artmaktadır. Artışın lokomotif sektörü %2,9 ile enerji iken onu %2,8 ile endüstri sektörü izlemektedir (Şekil 2.26).

Türkiye'de, 2010 yılında birincil enerji tüketiminde petrolün payı %26,7, doğal gazın payı ise %35 olmuştur. İhtiyaç duyulan petrolün %91'i ithal iken, doğal gazın ise %98,2'si ithaldir. Türkiye'de 2011 yılı sonu itibariyle 45,4 milyon ton kalan üretilebilir ham petrol ve 7,2 milyar m³ doğal gaz rezervi bulunmaktadır (Çizelge 2.8).

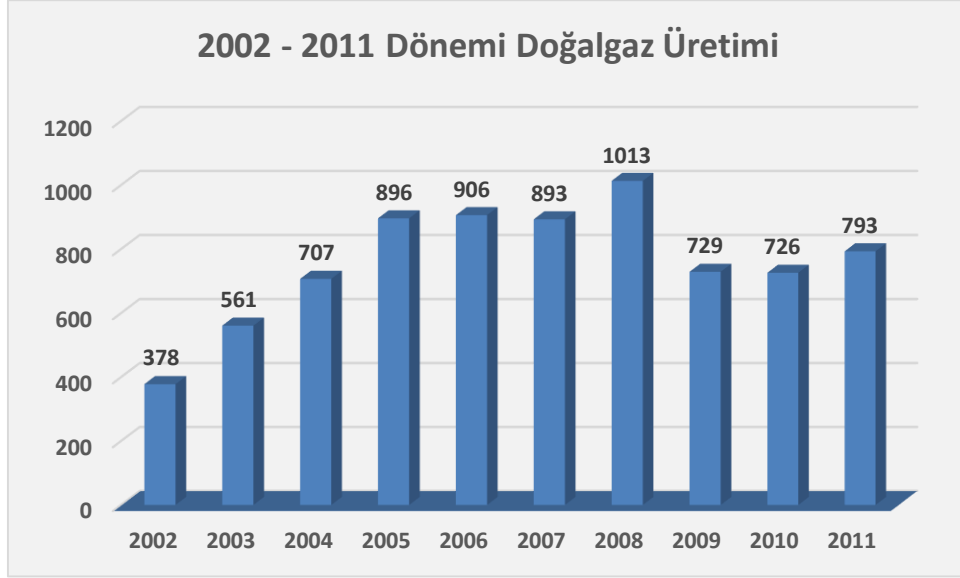
Çizelge 2.8 Türkiye genel enerji tüketiminde kaynakların payları [27]

	Kaynak Payları (%)		
	2000	2010	2020
Petrol	40.6	25.9	26.5
Doğal gaz	16	34.9	26.7
Kömür	30.4	28.5	42.9
Hidroelektrik	3	4.1	4.2
Diğer	10	6.6	3.9

Türkiye'de günümüze kadar toplam 137,9 milyon ton petrol ve 12,8 milyar m³ doğal gaz üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de 2011 yılında toplam 132 petrol noktasından

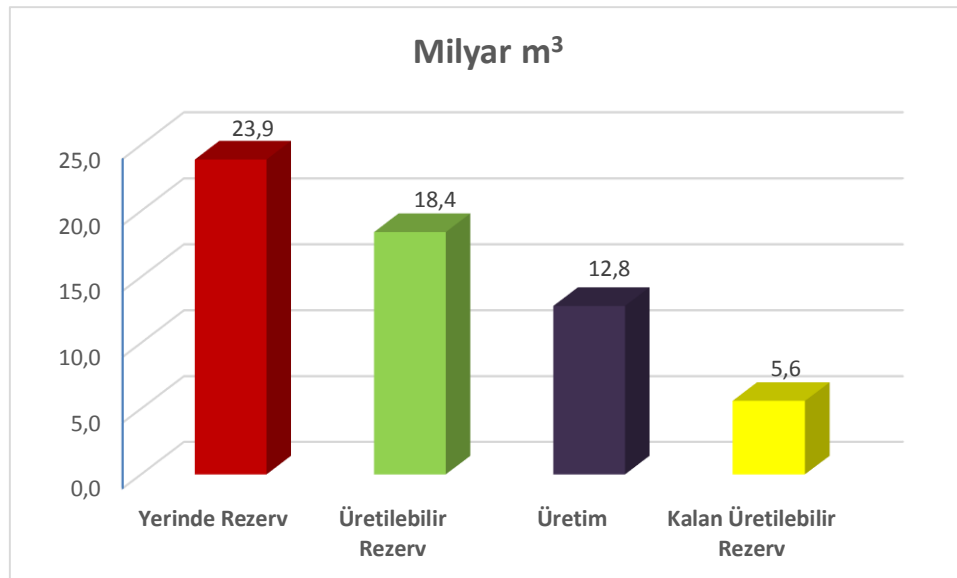
2.367.251 ton ham petrol ve 72 doğal gaz noktasından ise; 793.397.572 m³ doğal gaz üretimi yapılmıştır. 2011 yılı sonu itibariyle açılan 170 adet kuyudan 44 adedi petrol, 21 adedi gaz ve 105 adedi kuru kuyu olarak tamamlanmıştır [51].

Türkiye’de doğal gaz tüketimi 1987 yılından bu yana sürekli artan bir eğilim içindedir. 1987 yılında 500 milyon m³ olan doğal gaz tüketiminin 2011 yılı sonunda, 87,75 kat artarak 43,874 milyar m³ ulaşmıştır [47].



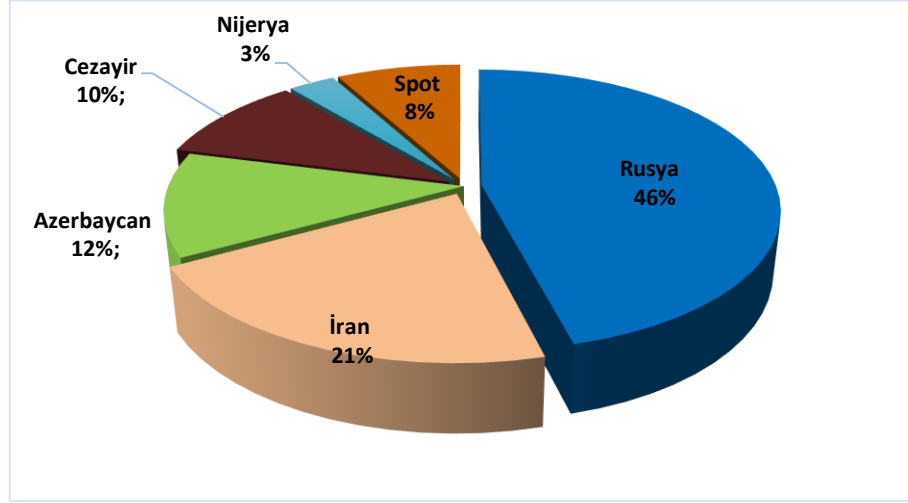
Şekil 2.27 2002 - 2011 dönemi doğalgaz üretimi [47]

Türkiye’de 2010 yılında üretilen 726 milyon m³ doğal gazın, % 36’sını oluşturan 261 milyon m³’nü TPAO, % 64’ünü oluşturan 465 milyon m³’ nü ise özel şirketler üretmiştir (Şekil 2.27) [47].



Şekil 2.28 2011 yılı sonu itibarıyla doğal gaz rezervi[47]

Yerinde rezervin tahminen % 77 olduğu bu yıllarda doğalgaz ithalatı yukarıdaki gibidir (Şekil 2.28).

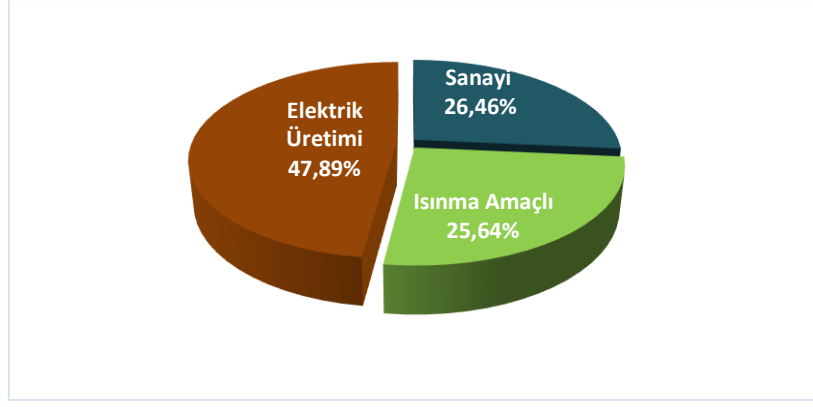


Şekil 2.29 Ülkeler bazında türkiye'nin doğal gaz ithalatı (2010) [47]

Türkiye de tüketilen doğal gazın %46 gibi büyük bir bölümünü Rusya'dan ithal ederken, Rusya'yı %21' lik oran ile İran en büyük tedarikçilerindendir. Diğer tedarikçiler sırasıyla %12 ile Azerbaycan, %10 ile Cezayir, %3 ile Nijerya ve %8'ini de spot olarak karşılanmaktadır (Şekil 2.29).

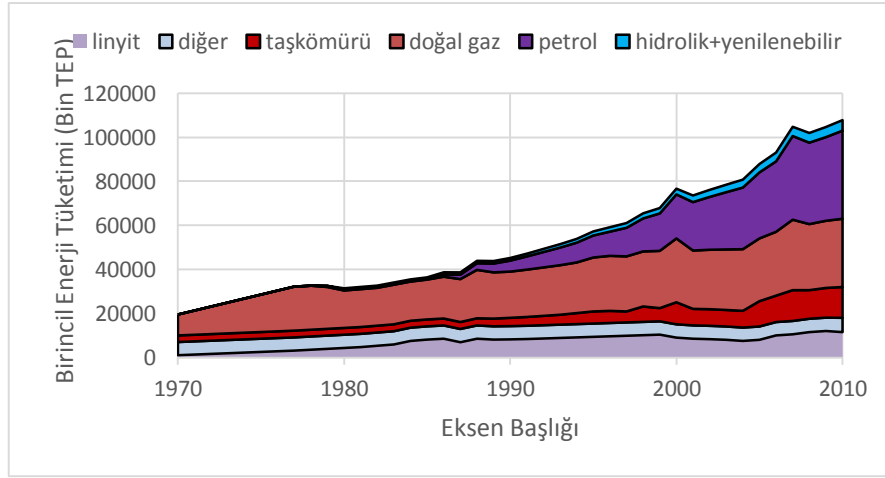
Türkiye'de doğal gaz tüketiminin artışının temel dinamiklerinin başında doğal gaz kullanımının özellikle ısınma konusunda yurt çapına yayılması yer almaktadır. 2003 verileri incelendiğinde yalnızca 6 ilin doğal gaz erişiminin olduğu, 2011 verileri incelendiğinde Türkiye'de doğal gazın 62 noktasında dağıtım ihaleleri yapıldığı ve bunlardan 59 noktada fiilen gaz dağıtımının gerçekleştiği görülmektedir. Böylece doğal gaz kullanan il sayımızın 61'e ulaştığı da gözlemlenmektedir [55].

Türkiye'nin toplam enerji tüketimi içinde petrolün payı 2000 yılında %40,6 iken 2010 yılında bu oran %29'lara düşmüştür. Doğal gaz tüketimi ise 2011 yılı sonunda 44,1 milyar m³'e yükselmiştir.



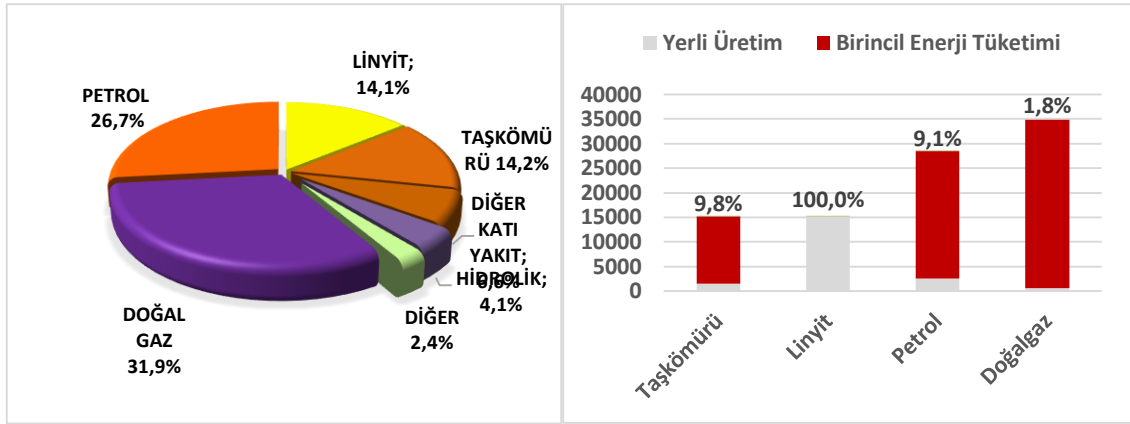
Şekil 2.30 2011 yılı doğal gaz sektörel tüketim payları [50]

Türkiye genel enerji tüketimi içinde doğal gazın payı 2011 yılı için %31 ile birinci sırada yer almaktadır. Türkiye 'de doğal gaz tüketimi geçtiğimiz 10 yılda 2,3 kat artmıştır. Bu artan talebin büyük bölümü, elektrik enerjisi üretimi için kullanılan doğal gaz oluşturmaktadır. Türkiye'nin 2011 yılı doğal gaz tüketiminin sektörel dağılımı incelendiğinde elektrik için %48, sanayi için %26 ve ısınma için %26 oranında aşağıda (Şekil 2.30) gösterildiği gibidir.



Şekil 2.31 Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında gelişimi (1971-2011) [50]

Türkiye'de birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında son yıllardaki gelişimi yukarıda (Şekil 2.31) görülmektedir. 1970'li yıllarda birincil enerji talebindeki payı %50'ye ulaşan petrol, günümüzde de %26,7'lik önemli bir paya sahiptir.



a) Genel anlamda birincil enerji tüketiminde kaynakların oranı

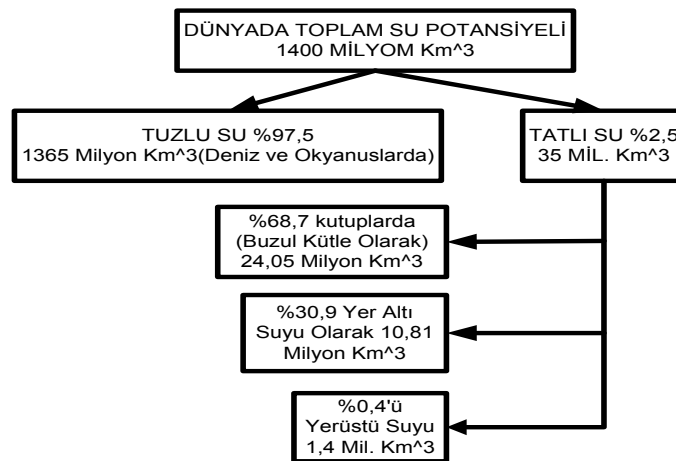
b) Birincil enerji tüketiminde yerli kaynakların miktarı

Şekil 2.32 Türkiye’de 2011 yılı birincil enerji tüketiminde kaynakların durumu [50]

Türkiye’nin birincil enerji tüketiminin %87’sini karşılayan dört fosil yakıt için yerli üretim oranlarına bakıldığında Türkiye, kullandığı petrolün %9,1’ini üretebilmektedir (Şekil 2.32).

2.8 Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Hidrolik Verileri

Dünya’daki toplam su miktarı 1400 milyon km³’tür. Bu suyun %97,5’i denizlerde ve okyanuslardaki tuzlu sulardır. Geriye kalan %2,5’lik kısmı olan 35 milyon km³’ü tatlı su kaynaklarıdır. Tatlı su miktarının %68,7’si kutuplarda buzul kütle halinde, %0,8’ini yeraltında fosil, %30,1’i yeraltı suyu ve %0,4’ü yerüstü suları ve atmosferik buhardan meydana gelmektedir.



Şekil 2.33 Dünya’daki su potansiyelinin dağılımı [56]

2010 World Atlas ve Industry Guide adlı yayına göre, Dünyanın; brüt, teorik hidroelektrik potansiyeli, yaklaşık 39.894.392 GWh/yıl, teknik yapılabilir

hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 14.575.094 GWh/yıl, Ekonomik yapılabilir hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 8.710.948 GWh/yıl dır.

Bugünden itibaren Dünya’da üretilen toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %20’sini Hidroelektrikten elde edilmektedir. Hidroelektrik yaklaşık 53 ülkenin ulusal elektriğinin %50’sini, 21 ülkenin %80’nini ve 17 ülkenin de neredeyse tamamının elektriğini sağlamaktadır.

En yüksek hidroelektrik üretimi sağlayan 10 ülkenin toplam Dünya hidroelektrik üretiminin %70’ini temsil etmektedir. Çin’de işletmede yüksekliği 30 m’nin üzerinde olan 5327 büyük baraj ile Dünyada hidroelektrik üretimde birinci sırada yer almaktadır. Çin ilk sırada olmasına rağmen hidro elektrik santralleri (HES) potansiyelinin % 23’ünü kullanmaktadır. Çin’i ikinci sırada Brezilya takip etmektedir. Brezilya teknik potansiyelinin sadece %25’ini kullanmaktadır. Potansiyelinin dörtte birini kullanmasına rağmen elektrik enerjisinin %83,9’ unu hidroelektrikten karşılamaktadır (Çizelge 2.9).

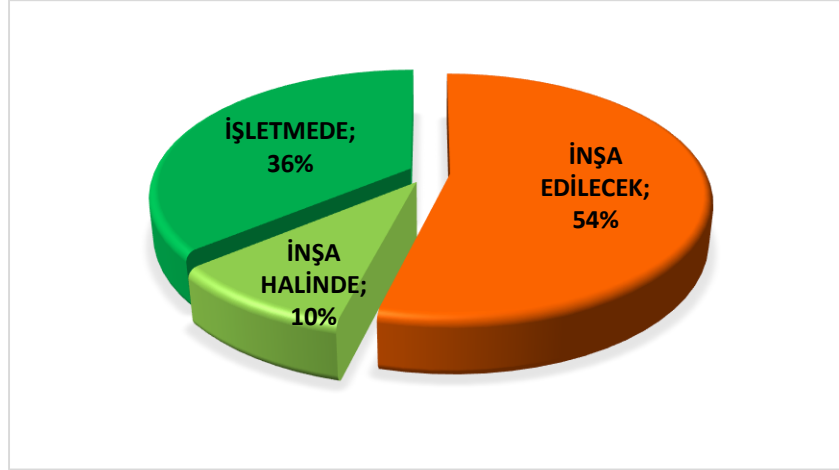
Çizelge 2.9 Dünya’da en yüksek hidroelektrik üretim yapan 10 ülke [56]

No	Ülke	Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh/yıl)	2009 Yılında Üretimdeki Payı %
1	Çin Halk Cum.	200000	860000	15.5
2	Brezilya	84000	391000	83.9
3	Kanada	74433	358000	59
4	ABD	78200	270000	6
5	Rusya	49700	180000	19
6	Hindistan	123570	40000	17.5
7	Norveç	29636	122700	99
8	Japonya	27562	94567	5.2
9	Venazuela	14627	86700	73.4
10	İsveç	16203	65300	48.8
	Toplam	697931	2468267	

2.8.1 Türkiye Hidrolik Su Potansiyeli

Günümüz koşullarında teknik ve ekonomik şartlar çerçevesinde ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama 110 milyar m3 olarak karşımıza çıkmıştır. Ekonomik yapılabilir hidroelektrik enerji potansiyeli 170 TWh/yıl dır. Bu veriler dikkate alındığında Türkiye’de ekonomik yapılabilir HES potansiyeli, teorik yapılabilir HES potansiyelinin %59’u dolayındadır. Fakat bu oran Avrupa’da %76’civarındadır [57].

Türkiye'nin enerji açığının çözümünde hidroelektrik santrallerin hem ekonomik hem de milli olması nedeniyle diğer enerji kaynaklarından daha çok ön plandadır. 2005 yılı verileri incelendiğinde hidroelektrik enerji potansiyeli kurulu güç olarak 36.697 MW kapasite ile 716 HES projesini içermektedir. Türkiye hidroelektrik potansiyelinin % 36'sı aktif işletmede, % 10'u inşa halindedir. Geriye kalan % 54'lük potansiyeli ise geliştirilmek üzere beklemektedir (Şekil 1.39)[57].



Şekil 2.34 Hidroelektrik santrallerinin mevcut durumu[57]

Türkiye’de 483 adet hidroelektrik proje bulunmaktadır. Bu projeler teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir kurulu güç kapasitesi yaklaşık olarak 35.000 MW ’tır. Ortalama enerji üretimi ise 123 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır (Şekil 2.34).

2.9 Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kaynağı Olarak Rüzgar Verileri

Rüzgâr kurulu gücü 1996’dan beri logaritmik olarak artmaktadır.

2010 yılı itibariyle global rüzgar enerjisi pazarında %21’lik büyüme gerçekleşmiştir. Bu büyümede Avrupa bölgesi ülkelerinin payı büyüktür. 2011 yılının küresel ölçekteki 239.000 MW kurulu rüzgar gücünün yaklaşık 94.000 MW’lık bölümü Avrupa’da yer almaktadır [25].

Çin’deki rüzgâr enerji pazarı 2011 yılında %44 oranında bir büyüme ortaya koymuştur. Çin’i sırasıyla 9.616 MW ile Avrupa bölgesi ve 6.810 MW ile de ABD’de yapılan yatırımlar izlemiştir. 2011 yılı verileri değerlendirildiğinde dünyadaki en büyük rüzgâr kurulu gücü 62.733 MW ile Çin’de bulunmakta ve onu 46.919 MW ile ABD’de rüzgar kurulu gücü takip etmektedir (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10 Global rüzgâr enerjisi pazarındaki ilk on ülke (2011) [56]

ÜLKELER	KURULUGÜÇ (MW)	KÜRESEL PAZAR PAYI (%)	2011 KAPASİTE ARTIŞI
ABD	46919	19.7	6810
Almanya	29060	12.2	2086
İspanya	21674	9.1	1050
Hindistan	16084	6.7	3019
İtalya	6747	2.8	950
Fransa	6800	2.9	830
İngiltere	6540	2.7	1293
Kanada	5265	2.2	1267
Portekiz	4083	1.7	377
Diğer Ülkeler	32446	13.6	5168
Toplam	238351	100	35802

2011 yıl sonu itibariyle Asya bölgesinde kurulu rüzgar gücü 82.398 MW'ta ulaşmıştır. Bu güç global rüzgar gücünün %34'nü temsil etmektedir. Çin Asya'da ki en büyük ve hızlı gelişen rüzgar enerjisi pazarına sahiptir. Çin' deki toplam kurulu rüzgar güç miktarı 62.733 MW'tır. Çin'den sonra gelen ikinci büyük rüzgar enerjisi pazarı Hindistan'dır. Hindistan'ın Kurulu rüzgâr gücü 2011 yılı sonu itibariyle 16.084 MW seviyesindedir. Asya'da Çin ve Hindistan'ı takip eden bir diğer ülke Japonya'dır. Japonya'nın küçük ölçekli bir rüzgar enerji pazarı 2501 MW'tır.

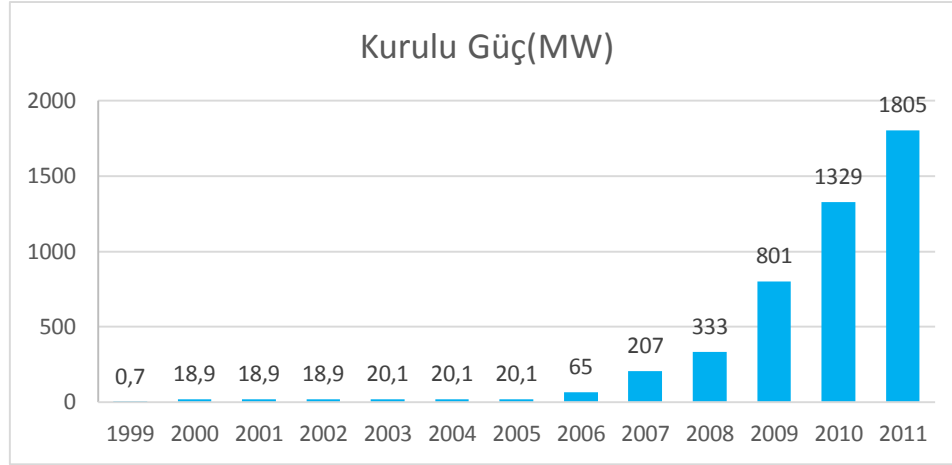
Küresel kurulu rüzgar gücünün 2011 yıl sonu itibariyle yaklaşık %40'lık bölümü 96.607 MW ile Avrupa bölgesidir. Bu kurulu gücün 93.957 MW'lık kısmı Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde bulunmaktadır. Almanya AB rüzgar enerji pazarında 29.060 MW ile birinci sıradadır. Almanya'yı sırasıyla İspanya 21.674 MW ile, Fransa 6.800 MW ile, İtalya 6.747 MW ile ve İngiltere 6.540 MW ile takip etmektedir. Belirtilen bu beş ülke AB rüzgar pazarının %75 gibi büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Güney Amerika'da toplam kurulu rüzgar gücü değeri 2011 yılında 3.203 MW'tır. Bu bölgenin en büyük rüzgâr enerji pazarını 1.509 MW ile Brezilya'dır. Kuzey Amerika'da bulunan kurulu rüzgâr gücü 2011 yılsonu itibariyle 52.184 MW'tır. Bu bölgedeki kurulu rüzgâr enerji pazarı oyuncularını ABD ve Kanada'dır. 2011 yılsonu itibaren Kanada rüzgâr enerji pazarı 5.265 MW 'ta ulaşmıştır [56].

2.9.1 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'deki Kurulu güç 2011 yılsonu itibariyle 52.000 MW düzeyindedir. Türkiye'nin önümüzdeki 10 yıllık dönemde elektrik talebinin yıllık %6-8 arasında artması beklenmektedir. Teorik olarak Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 48.000 MW seviyelerindedir. Bu potansiyelin 38.000 MW 'lık kısmını karasal bölgede ve

10.000 MW'lık kısmını deniz üzerinde elde edilebilir. 2011 yılında 476 MW gücünde rüzgâr enerjisi santralının işletmeye alınmasıyla Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücü 1.805 MW değerine yükselmiştir(Şekil 2.35) [47].



Şekil 2.35 Türkiye kümülâtif rüzgâr kurulu gücü (1999-2011) [47]

Türkiye rüzgâr enerjisi pazarında 2011 yılı sonu itibariyle %35'lik büyüme tahmini yapılmıştır. Türkiye kümülâtif rüzgar kurulu güç değerlendirilmesinde Avrupa'da dokuzuncu sıradadır. 2011 yılında devreye alınan rüzgâr gücü parametresinde ise Avrupa'da 7. Sırada yer almaktadır.

2.10 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi Verileri

Dünya'ya ısı ve ışık şeklinde ulaşan güneş enerjisi, farklı teknolojilerle günlük hayatta kullanılabilir hale getirilir. Güneş enerjisi çevrim teknolojileri genel olarak 3 başlık altında toplanabilir [25]:

Fotovoltaik Güç Sistemleri: Güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan yarı iletken teknoloji tabanlı sistemlerdir. Üretimi için ileri teknoloji gereklidir. Kurulum sonrasında işletim maliyeti sıfıra yakındır. 20-30 yıl boyunca elektrik üretebilmektedirler.

Odaklayıcı Güneş Isıl Güç Sistemleri: Bu teknoloji, güneş ışığının odaklanması ve elde edilen ısınnın türbinler vasıtası ile elektrik enerjisine çevrilmesi temeline dayanır. Bu sistemler büyük sistemler olduğu için küçük ölçekli kurulumları mümkün değildir.

Güneş Toplayıcıları: Bu sistemler Türkiye'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrik üretimine dayalı olmayıp sıcak su elde edilmesi için kullanılan sistemlerdir.

Türkiye günlük 7,2 saat'i aşan güneşlenme süresi ile çoğu Avrupa ülkesinden daha fazla güneş potansiyeli olan bir ülkedir. Türkiye'de henüz kurulu büyük ölçekli bir güneş enerjisi santrali bulunmamaktadır. Şimdiye kadar kurulmuş sistemlerin toplam kapasitesinin 6,5-7 MW civarında olduğu tahmin edilmektedir.

2.11 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Kaynağı Olarak Nükleer Enerji Verileri

Elektrik üretimi için Nükleer Enerji ilk olarak ABD'de kullanılmıştır. ABD'yi takiben 1953'de İngiltere, 1954'de Rusya, 1956'da Fransa ve 1961'de Almanya nükleer enerjiyi elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır.

Dünyadaki Mevcut Durum incelendiğinde, günümüze kadar yapılan tüm gelişmelerden sonra Nükleer Enerjinin elektrik üretiminde kullanımıyla ilgili durum Çizelge 2.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.11 Ekim 2012 itibariyle işletmede, inşa halinde ve planlanan nükleer [58]

Ülke	Nükleer Elektrik Üretimi (2011)		İşletmedeki Santraller		İnşa Edilen Santraller		Planlanan Santraller		Önerilen Santraller	
	10 ⁹ kWh	%	Adet	MW _e	Adet	MW _e	Adet	MW _e	Adet	MW _e
Abd	790.4	19.2	104	102195	1	1218	13	15660	13	21600
Almanya	102.3	17.8	9	12003	0	0	0	0	0	0
Arjantin	5.9	5.0	2	935	1	745	1	33	2	1400
Bae	0	0	0	0	1	1400	3	4200	10	14400
Bangladeş	0	0	0	0	0	0	2	2000	0	0
Belçika	45.9	54.0	7	5943	0	0	0	0	0	0
Beyaz Rusya	0	0	0	0	0	0	2	2400	2	2400
Brezilya	14.8	3.2	2	1901	1	1405	0	0	4	4000
Bulgaristan	15.3	32.6	2	1906	0	0	1	950	0	0
Çek Cum.	26.7	33.0	6	3764	0	0	2	2400	1	1200
Çin	82.6	1.8	15	11881	26	27640	51	57480	120	123000
Endonezya	0	0	0	0	0	0	2	2000	4	4000
Ermenistan	2.4	33.2	1	376	0	0	1	1060		
Finlandiya	22.3	31.6	4	2741	1	1700	0	0	2	3000
Fransa	423.5	77.7	58	63130	1	1720	1	1720	1	1100
G. Afrika	12.9	5.2	2	1800	0	0	0	0	6	9600
Hindistan	28.9	3.7	20	4385	7	5300	18	15100	39	45000
Hollanda	3.9	3.6	1	485	0	0	0	0	1	1000
İngiltere	62.7	17.8	16	10038	0	0	4	6680	9	12000
İran	0	0	1	915	0	0	2	2000	1	300
İspanya	55.1	19.5	8	7448	0	0	0	0	0	0
İsrail	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200
İsveç	58.1	39.6	10	9399	0	0	0	0	0	0
İsviçre	25.7	40.8	5	3252	0	0	0	0	3	4000
İtalya	0	0	0	0	0	0	0	0	10	17000
Japonya	156.2	18.1	50	44396	3	3036	10	13772	5	6760
Kanada	88.3	15.3	18	12794	2	1385	2	1500	3	3800
Kazakistan	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600
Kore (Güney)	147.8	34.6	23	20787	4	5205	5	7000	0	0
Kore (Kuzey)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	950
Litvanya	0	0	0	0	0	0	1	1350	0	0
Macaristan	14.7	43.2	4	1880	0	0	0	0	2	2200
Malezya	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000
Meksika	9.3	3.6	2	1600	0	0	0	0	2	2000
Pakistan	3.8	3.8	3	725	2	680	0	0	2	2000
Polonya	0	0	0	0	0	0	6	6000	0	0
Romanya	10.8	19.0	2	1310	0	0	2	1310	1	655
Rusya	162.0	17.6	33	24164	10	9160	17	20000	24	24000
Slovakya	14.3	54.0	4	1816	2	880	0	0	1	1200
Slovenya	5.9	41.7	1	696	0	0	0	0	1	1000
S. Arabistan	0	0	0	0	0	0	0	0	16	17000
Sili	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4400
Tayland	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5000
Tayvan (Çin)	40.4	19.0	6	4927	2	2700	0	0	1	1350
Türkiye	0	0	0	0	0	0	4	4800	4	5600
Ukrayna	84.9	47.2	15	13168	0	0	2	1900	11	12000
Ürdün	0	0	0	0	0	0	1	1000	-	-
Vietnam	0	0	0	0	0	0	4	4000	6	6700
Dünya	2518	13.5	434	372760	64	64174	160	177915	323	366415

Japonya: Japonyada 2010 yılı sonunda 50 adet nükleer santral ünitesi ile toplamda 48,9 GW gücüne sahiptir. 2010 yılı elektrik üretiminin %27'si olan 1.080 TWh'lik kısmını nükleer enerjiden karşılamaktadır. Elektrik üretiminde diğer kaynakların payı sırasıyla %27 kömür, %27 gaz, %9 petrol ve %7 hidroelektrik santrallerinden karşılamaktadır.

Fukuşima olayından sonra Nükleer Santrallerin kapatılması sonrası CO2 emisyonları 1.210 milyar m³/yıla, yani bu durum 1990 seviyesinin %14 üstüne çıkarmıştır.

Almanya: Almanyada 2011 yılı sonunda 17 adet nükleer santral ünitesi ile toplamda 20.339 MW gücüne sahiptir. Almanya nükleer Reaktörlerinden elektrik ihtiyacının yaklaşık dörtte birini karşılamıştır. Almanyanın 2010 yılı verileri incelendiğinde üretilen 621 TWh'lik elektriğin %43,5'i kömür, %22,5 nükleer, %13,5 gaz, %6 biyoyakıt ve atık, %6 rüzgar, %4 hidroelektrik ve %2 güneş enerjisi santrallerinden sağlamaktadır.

İngiltere: 2010'da üretilen 378 TWh elektriğin sırasıyla %16,4'ü nükleerden, %46,3'ü doğal gazdan, %28,5'i kömürden, %2,7'si rüzgardan, %0,95'i hidro'dan, %3,4 diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından, %1,7'sini de petrol ve diğer kaynaklardan elde etmektedir. İngiltere'de 17 nükleer ünitenin biri hariç hepsi 2023'te kullanım ömrü dolmaktadır. Bu sebeple İngiltere'de yeni nükleer santral yerleri ve dizaynları üzerine çalışmalar yürütülmektedir.

Not: Temmuz 2012'de yapılan bir kamu oyu yoklamasında halkın %63'ünün nükleer enerji kullanımını desteklediği ve sadece %22'sinin nükleer enerjiye karşı olduğu ortaya çıkmıştır.

Fransa: Toplam gücü 63.130 MW olan Fransa'nın 58 adet nükleer santral ünitesi ile elektriğinin %78'ini nükleer enerjiden karşılamaktadır. Fransa'da elektrik fiyatları düşük olması nedeni ile yılda ortalama 70 milyar kWh'in üzerinde elektrik ihracatı yaparak Dünya'nın en büyük elektrik ihracatçısı konumundadır. Yılda 65-80 TWh civarındaki elektriği İtalya, İsviçre, Almanya, Belçika, İspanya ve İngiltere'ye ihraç ederek 3 milyar € kazanmaktadır. 1999'da Fransa, parlamentosu tarafından alınan arz güvenliği, çevreye saygı ve nükleer atıklara yeterli dikkatin gösterilmesini kapsayan üç temel unsur üzerine enerji politikasını inşa etmiştir.

ABD: ABD 2010 yılında 4.361 TWh elektrik enerjisinin %46'sı kömürden, %23'ü gazdan, %19'u nükleer'den, %6,5'i hidro'dan ve %5,5'i diğer kaynaklardan üretmiştir. ABD Dünya'nın en büyük Nükleer elektrik üreticisi konumundadır. 2010'da ABD'nin 101.607 MW gücündeki toplam 104 nükleer reaktöre sahiptir. Burada üretilen 807 TWh, ABD elektrik üretiminin %20'sini oluştururken Dünya Nükleer elektrik üretiminin %30'unu karşılamaktadır.

Rusya: Rusya'nın 2009'da ürettiği 1.013 TWh'lik elektriğin %16'sı nükleer, %47'si doğal gaz, %18'si kömür, %17'si hidroelektrikten karşılamıştır. Rusya nükleer enerjiden elde edilen elektriğin gazın elektrik üretiminde kullanımına göre 5 misli daha fazla gelir sağlamaktadır. Bundan dolayı Rusya Nükleer kapasiteyi arttırma planlarını sürdürmektedir ve 33 reaktörüyle toplam 24.164 MW gücündeki nükleer kapasiteyi 2020'ye kadar iki katına çıkarmayı planlamaktadır.

Rusya kuzeyindeki denizlerde kullanmak üzere üretilen buz kırıcı gemilerde ve ticari gemilerde de nükleer enerjiyi kullanmaktadır.

Çin: Çin'in 2009 yılında ürettiği 3.643 TWh'lik elektrik enerjisinin %79'u kömür, %15'i hidro, %2'si gaz, %2 nükleer, %2'de diğer kaynaklardan elde etmektedir. Çin'in aktif halde 15 nükleer ünitesinin kapasitesi 11.881 MW'dır. Bunun yanında inşa halindeki 26 nükleer ünitenin kapasitesi 27.640 MW'dır. Çin 2020'ye kadar 60 GW, 2030'a kadar 200 GW ve 2050'ye kadar 400 GW yapmayı planlamaktadır.

Türkiye: Türkiye'nin nükleer reaktör işletme deneyimi yaklaşık 50 yıllıktır. Türkiye'nin İlk nükleer reaktörü TAEK-Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde kurulmuş ve 1962 yılında işletmeye alınarak 1 MWth ısıl gücünde havuz tipi araştırma reaktörü (TR-1)dir. Bu reaktör daha sonra 5 MWth ısıl gücüne çıkartılarak (TR-2) 1980'de yeniden işletmeye alınmıştır.

2.12 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Kaynağı Olarak Biyoyakıt Enerjisi Verileri

Biyoyakıtlar gaz, sıvı ve katı olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir. Doğalgazın kullanıldığı elektrik, ısınma, pişirme ve soğutma gibi her alanda kullanılmasının yanısıra otomobillerde, ağır vasıtalarda, uçaklarda, trenlerde, gemilerde ulaştırma yakıtı olarak önemli miktarda kullanılabilir. Biyo yakıtlar birçok form da kullanılabilir [1,22,23,29,35]:

Biyoetanol, sıvı halde bulunan biyoyakıtlardandır. Benzin ve motorinle harmanlanarak kullanılabilir.

Biyodizel, sıvı halde bulunan biyoyakıttır. Doğrudan motorin yerine kullanılabileceği gibi motorinle de harmanlanarak kullanılabilen bir biyoyakıttır.

Biyogaz, gaz halde bulunan biyoyakıttır. Elektrik üretiminde kullanılmakla birlikte zenginleştirilmesi sonrasında doğal gazın kullanıldığı her alanda kullanılmaktadır. Örneğin otomobillerde, trenlerde vb. kullanımı mümkündür.

Biyokütle, katı halde bulunan biyoyakıttır. Çeşitli formlarda kullanılabilir. Örnekleri *biyobriketler*, *biyopelletler* kömür ve odunun kullanıldığı her alanda kullanılabilir. Termokimyasal yöntemlerle gaz ve sıvı biyoyakıtlara erişilebilir, elektrik üretilmesi ve pek çok kimyasal ürün elde edilmesi de mümkün olmaktadır.

Biyoehtanol Dünyada en çok üretilen sıvı biyoyakıttır. Üretilen sıvı biyoyakıtın altıda beşi (5/6)'sı biyoetanoldür. 2010 yılı değerleri incelendiğinde dünyada 101,4 milyar lt biyoetanöl, 21 milyar lt biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretimi 2011 yılında ise 22,1 milyar lt olarak üretilmiş, en fazla etanol üreten ülke ABD, en fazla biyodizel üreten ülke AB ülkeleridir. En büyük üretici ülkeler ise Almanya, İspanya, Fransa ve İtalya'dır. 82,7 milyar dolar olan dünya biyodizel pazarının geliştirilmesi için bu ülkeler tarafından destek verilmektedir. Biyoetanöl üretimi ise 52 ülkede destek görmektedir.

AB: AB üyesi ülkeler **Biyodizel** üretiminde en büyük üreticidir. 2010 yılında 9,1 milyar lt olan biyodizel üretimi 2011 yılında 9,5 milyar lt olmuştur. Ana hammadde olarak kanola kullanılmaktadır. 2016'dan sonraki yıllar için AB'de biyodizel soya ve palm yağından üretilmesi planlanmaktadır. Yine **Biyoehtanol** üretiminde söz sahibi olmaya başlayan AB'de üretim şeker pancarı ve tahıllardan yapılmaktadır.

Biyogaz, AB ülkelerinin pek çoğu için önemli enerji kaynağı haline gelmiştir. Bunların başında gelen Almanya'da 7000'i aşkın biyogaz tesisi işletilmektedir. Biyogaz elektrik üretimi ve ısınma amaçlı kullanılmasıyla birlikte, aynı zamanda doğal gaz niteliğinde zenginleştirilerek doğal gaz hattına da beslenmektedir. İsveç 2020 yılı için yapmış olduğu planlamada doğal gaz ihtiyacının tümünü biyogazdan karşılamayı amaçlamaktadır. Bir diğer önemli nokta ise ülkede kullanılan araçların üçte biri on yıla aşkın süredir, Trenlerde 2005 yılından bu yana biyogazla kullanılmaktadır.

ABD: Amerika'da en çok üretilen ve tüketilen biyoyakıt türü biyoetanoldür. 2011 yılında faaliyet gösteren 209 tesiste 52,54 milyar lt biyoetanöl üretilmiştir. Ülke genelinde üretim kapasitesi 56,3 milyar lt olarak kaydedilmiştir. ABD'de etanolün üretimi ve kullanımı 2006 yılında petrol ithalatını 170 milyon varil azatlığı belirtilmiştir.

Brezilya: Brezilya’da biyoetanolü otomobil yakıtı olarak 1930’lu yıllardan bu yana kullanılmaktadır. Brezilya ürettiği biyoetanolün yaklaşık üçte birini ABD’ye ihraç etmekle birlikte Japonya ve AB ülkelerine de biyoetanol ihraç etmektedir.

Hindistan: Hindistan’da şeker kamışı biyoetanol üretiminde kullanılmaktadır. 2001 yılından beri % 5 biyoetanol kullanılan Hindistanda 2008 yılından itibaren %10 biyoetanol kullanım zorunluluğu getirilmiştir. Ülkede 2011 yılında 2,4 milyar lt biyoetanol üretilmiştir. 2017 yılında hükümet %20 biyoetanol kullanımını zorunlu hale getirileceğini açıklamıştır.

Güney Afrika: Güney Afrika’da %2 biyoetanol (250 milyon lt) üretilmektedir ve %5 biyodizel harmanlama zorunluluğu getirilmiştir.

Türkiye: Türkiye’de geçtiğimiz on yıl içerisinde biyodizel ve biyoetanol sektörleri gelişim göstermekte, son birkaç yıldır biyogaz sektöründe de çalışmalar hızlandırılmıştır.

2011 yılı verilerine göre EPDK’da kayıtlı 23 firmanın **biyodizel** üretimi lisansı vardır. Yerli tarım ürünlerinden biyodizel üretimi yapan sadece bir firma (DB Tarımsal Enerji Sanayi Ve Ticaret A.Ş) bulunmaktadır. İzmir’de faaliyet gösteren firma aspir bitkisini kullanarak Eskişehir’den Turhal’a, Uşak’tan Siirt’e kadar verimsiz tarım arazilerinde biyodizel üretimini yapmaktadır. Tesis kapasitesi 20 bin ton/yıl’dır. 2013 yılında 80 bin ton/yıl olması beklenmektedir.

Söz konusu işleme lisansına sahip firma 2010 yılında 7.460 ton biyodizel üretimi yapılmış, dağıtıcı lisansı sahiplerine 5.774 ton satış gerçekleştirilmiş ve 3.011 ton ihraç edilmiştir. Aynı firma tarafından 2011 yılında 11.646 ton biyodizel üretimi gerçekleştirilmiş ve dağıtıcı lisansı sahiplerine 10.136 ton satılmıştır.

Türkiye’de, **biyoetanol** sektöründe üç üretim tesisi bulunmaktadır. Türkiye’de kurulu biyoetanol üretim kapasitesi 149,5 milyon litredir. Bu üretimin %56’lık kısmı, 84 milyon litre ile Pankobirlik çatısı altında yer alan Konya Şeker Tic. ve San. A.Ş. gerçekleştirmektedir. Türkiye’nin biyoetanol kurulu kapasitesi benzin tüketimimizin yaklaşık %7’sine karşı gelmektedir. Fakat pazarda yer alan biyoetanol, benzin tüketimimizin %1’inin çok altında kalmaktadır. 2013 tarihinden itibaren yüzde iki ve 2014 tarihi itibarıyla de en az yüzde üç oranında yerli tarım ürünlerinden üretilmiş biyoetanol ilave edilmesi zorunluluğu getirilmiştir.

2013 yılında Türkiye’de benzine harmanlanması zorunlu biyoetanol miktarı yaklaşık 54 milyon lt olması beklenmektedir. Türkiye’nin kurulu biyoetanol portföyü dikkate alındığında; 54 milyon lt biyoetanolün kapasitesi; 34 milyon lt’si şeker pancarından, 10 milyon lt’si mısırdan ve 10 milyon lt’si buğdaydan elde edilmesi düşünülmektedir.

Biyogaz konusunda Türkiye’deki çalışmalar 1980 yılında Tarım Bakanlığı bünyesinde başlamış fakat sürdürülememiştir. Vizyon 2023’e göre, biyokütle alanında 2005 itibariyle başlaması planlanan çalışmalar doğrultusunda, 2010 Yılı’na kadar biyokütle gazlaştırma araştırmalarının bitirilmesi ve pilot tesislerin kurulması planlanmaktadır. 2018 Yılı’nda küçük (1-3 MW) ve orta (5-10 MW) ölçekli biyokütle gazlaştıran kojenerasyon tesislerinin kurulması planlanmaktadır.

Ankara-Mamak çöplüğü 22,6 MW’lık elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Elde edilen elektriğin yanı sıra oluşan atık ısı çöplük arazisinde kurulan seralarda değerlendirilmektedir. Bir diğer çalışma olan toplamda 2.000 m2’ye tamamlanacak havuzlarda verimli bir biyoyakıt hammaddesi olan su yosunu yetiştirilmektedir. Ayrıca 2011 yılında Türkiye’de TÜBİTAK-MAM tarafından İzmit Belediyesi ortaklığı ile kurulan, küçük ve büyük baş hayvan atıkları ile park ve bahçe atıklarından üretim yapan 330 kW’lık biyogaz tesisi hizmete açılmıştır.

2.13 Türkiye ve Dünya Enerji Kaynakları Durum Değerlendirmesi ve SWOT

Analizi

Enerji verimliliği gerek enerji tüketimindeki artan talebin karşılanması ve gerekse sera gazı emisyonlarının azaltılmasındaki en önemli maliyet etkin önlem ve girişimdir. Ekonomistler için enerji verimliliği; bir birim katma değer yaratmak için harcanan enerji anlamına gelmektedir ve “Enerji Yoğunluğu” olarak adlandırılmaktadır. Bu nedenle enerji yoğunluğunu düşürmek için etkin enerji verimliliği politikaları sadece teknolojiye veya davranış değişikliğine değil, bunların kombinasyonu da gerektirmektedir. Ülkelerin enerji yoğunluğu uzun dönemde azalarak ve birbirlerine yaklaşılarak global seviyeyi bulmaktadır.

Enerji konusunda yapılan çalışmalarda, enerjinin çevre ile olan ilişkisi dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Sürdürülebilir bir kalkınma sağlanması için birbiri ile sıkı etkileşim halinde olan enerji-ekonomi-çevre üçlü faktörün dengede olmasına bağlıdır. Enerji kaynaklarının tümü “az veya çok” belirli bir seviyede çevreyi olumsuz yönde

etkilemektedir. Özellikle fosil yakıtlar kömür, linyit, doğal gaz, sıvı yakıtlar vb. çevre açısından önemli sorunlar yaratan enerji kaynaklarıdır.

Son on yılı kapsayan araştırmalar çerçevesinde atmosferde hızlı bir ısınmanın olduğu ortaya çıkmakta ve bu küresel ısınma denilen “global warming” doğal iklim süreçleri çerçevesinde olmasından ziyade insan faaliyetlerinden kaynaklandığı tespit edilmemiştir. Küresel ısınma, sera gazlarının karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), kükürt hekzaflorür (SF₆), florokarbonlar gibi gazların atmosferde birikmesinden dolayı sera etkisi normal düzeyin üstünde çıkmakta ve atmosferin ortalama sıcaklığın artmasına neden olmaktadır.

Tüm bu gelişmeler ışığında geçen yirmi yılda dünyada birincil enerjinin arzında önemli gelişmeler ve değişiklikler olmuştur. Dünyadaki iklim değişikliğinin, kullanılan kaynaklarının giderek azalması, teknolojinin ve enerjinin verimliliğindeki gelişmeler, sosyal şartların ve ekonomik durumun getireceği zorunluluklar göz önünde bulunarak oluşturulan senaryolar incelendiğinde dünya birincil enerji arzı toplamında ve kaynakların kompozisyonunda mevcut planlamanın dışına çıkılacağı öngörülebilir. Dünya birincil enerji arzında enerji kaynaklarının payı oldukça önemli hale gelmektedir.

Türkiye’nin 2012 yılı için dünyanın 17’nci ekonomisi ve Avrupa’nın 6’ıncı büyük ekonomisi konumundadır. Türkiye, birincil enerji yoğunluğu açısından, gelişmiş ülkelerle kıyaslamasında; “enerji yoğun” ekonomilerden birisi olarak değerlendirilebilir (Çizelge 2.12) Türkiye ve dünya ile ilgili karşılaştırmayı aşağıda Çizelge 2.12’de ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Çizelge 2.12 2010-2012 yıllarına göre Türkiye’nin karşılaştırmalı enerji görünümü

Enerji Yoğunluğu (TEP-2010)	Enerji Yoğunluğu 2009-2010 (% Gelişim)	Kişi Başı Enerji Tüketimi (TEP-2010)	CO2/Nüfus (2011) Metrik Ton	Dünya Geneli (CO2 %) (2010)	Enerji Tüketimi-2010 (TEP)	Enerji Arzı-2010 (TEP)	Enerji Bağımlılık Oranı (%)	Doğal Gaz 2011 (Milyon Feet Küp)			Petrol 2011 (Thousand Barrel Per Day)			Kömür 2011 (Thousand Short Tons)			Yenilenebilir 2010 (Milyar KiloWattSaat)			Yenilenebilir Enerji Kaynakları						
								Arz	Tük.	BağımlıOran	Arz	Tük.	BağımlıOran	Arz	Tük.	BağımlıOran	Arz	Tük.	BağımlıOran		Kaynaklar	Potansiyel	Faaliyette			
Türkiye	0.000134	-0.043	1.454	3.761	0.87	113,146,096.46	34,044,627.24	-69.9%	27.00	1579.00	-98.3%	57.60	655.30	-91.2%	86063.00	112496.00	-23.5%	55.32	55.32	0.0%	Hidrolik	45,000 MW	17,359.3 MW			
ABD	0.000189	0.012	7.987	17.621	23.5	2,470,591,635.37	1,884,802,290.55	-23.7%	28479.00	24385.00	16.8%	10136.20	18882.10	46.3%	1094336.00	1003066.00	9.1%	440.23	440.23	0.0%	Rüzgar	48,000 MW	1,792.7 MW			
OECD	0.000164	0.008	4.877	10.396	2.14	6,054,802,935.49	4,143,541,090.08	-31.6%	50523.00	55766.00	-9.4%	21624.90	46402.80	-53.4%	2265196.00	2402544.00	-5.7%	1935.47	1935.47	0.0%	Güneş	300 TWh/Yıl	0			
OECD-Dışı	0.000215	-0.015	1.211	3.444	Ulaşılamadı	6,810,865,815.67	8,679,741,974.16	27.4%	94132.00	62944.00	49.5%	65988.00	42190.90	56.4%	6175060.00	5721057.00	7.9%	2231.73	2231.73	0.0%	Jeotermal	600 MW	114.2 MW			
Avrupa	0.000138	0.010	3.482	7.071	13.88	2,112,329,262.69	1,143,531,561.51	-45.9%	11549.00	18909.00	-38.9%	4269.00	14961.00	-71.5%	772275.00	1003697.00	-23.1%	947.63	947.63	0.0%	Biyoenerji	17 MTEP	117.4 MW			
Çin	0.000275	-0.033	1.911	6.520	24.1	2,542,158,431.35	2,277,840,078.18	-10.4%	3629.00	4624.00	-21.5%	4347.00	9852.10	-55.9%	3844942.00	3828869.00	0.5%	770.92	770.92	0.0%						
Rusya	0.000366	0.018	5.235	12.546	5.72	738,901,968.90	1,341,197,036.03	81.5%	23686.00	17975.00	31.8%	10239.20	3115.00	228.7%	367986.00	256691.00	43.4%	168.10	168.10	0.0%						
Dünya	0.000188	-0.001	1.874	4.694	100	12,865,668,751.15	12,823,283,064.24	-0.3%	144655.00	118710.00	21.9%	87612.90	88593.60	-1.1%	8440256.00	8123601.00	3.9%	4167.20	4167.20	0.0%						
Almanya	0.000188	-0.005	4.302	9.187	2.63	351,206,491.39	120,932,765.46	-65.6%	420.00	2740.00	-84.7%	141.00	2396.60	-94.1%	207853.00	256661.00	-19.0%	109.59	109.59	0.0%						
2011 Dünya % Enerji Arzı									23.7			33.1			30.3			12.9			(Yenilenebilir + Diğer)					
2011 İthalat (mTep)									36			36			15			0			(Yenilenebilir + Diğer)					
2011 Tüketim Oranı %									32.2			26.6			31.3			9.9			(Yenilenebilir + Diğer)					
2011 Üretim Oranı %									0.644			2.128			17.5			9.9			(Yenilenebilir + Diğer)					
Bağımlılık Oranı									0.98			0.92			0.44			0			(Yenilenebilir + Diğer)					
Türkiye Verileri									Elektrik (% 2012 Verileri)		43.1 %		2 %		27.5		%		27.2 %		(Yenilenebilir + Diğer)		(Yenilenebilir + Diğer)			
									Sanayi (%) 2011 Verileri		24.2 %		Ulaşılamadı %		Ulaşılamadı %		Ulaşılamadı %		(Yenilenebilir + Diğer)		Ulaşılamadı %		(Yenilenebilir + Diğer)		(Yenilenebilir + Diğer)	
									Isınma (%) 2011 Verileri		25.8 %		Ulaşılamadı %		Ulaşılamadı %		Ulaşılamadı %		(Yenilenebilir + Diğer)		Ulaşılamadı %		(Yenilenebilir + Diğer)		(Yenilenebilir + Diğer)	
									Kurulu Güç 2012 Verileri		37.0 %		3.7 %		24.1		%		36.4 %		(Yenilenebilir + Diğer)		36.4 %		(Yenilenebilir + Diğer)	
Enerji İthal Edilen Ülkeler 2011 (%)									Rusya	55 %	İran	51 %	Güney Afrika	3.3	milyon ton (2012)	Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji İthalatı Bulunmamaktadır.										
									İran	21 %	Irak	17 %	Rusya	9.9	milyon ton (2012)											
									Azerbaycan	10 %	Rusya	12 %	ABD	4.3	milyon ton (2012)											
									Cezayir	11 %	Sudi Arabi	11 %	Kolombiya	7.3	milyon ton (2012)											
									Nijerya	3 %	Kazakistan	7 %	Anısturya	1.4	milyon ton (2012)											
									Diğerleri	8 %	Diğerleri	2 %	Diğerleri	2.0	milyon ton (2012)											

Hidrolik = 24.2%

Rüzgar = 2.4%

Hidrolik = 32.5%

Rüzgar = 3.5%

Hidrolik = 24.2%
Rüzgar = 2.4%

Hidrolik = 32.5%
Rüzgar = 3.5%

	Potansiyel	Birim	2011 Arz (Bin Tep)	2011 (%)
Linyit	11.7	Milyar Ton	35,841	31.3
Taşkömürü	1.3	Milyar Ton		
Asfaltit	77.5	Milyon Ton		
Hampetrol	43.1	Milyon Ton	30,499	26.6
Bitümler	1.6	Milyar Ton		
Hidrolik	129.4	Milyar kWh/Yıl	4,501	3.9
Doğalgaz	6.2	Milyar m³	36,909	32.2
Rüzgar	48,000	MW/Yıl	406	0.3
Jeotermal	32,100	MW/Yıl	597	0.5
Biyokütle/Enerji	8.6	Mtep	5,018	4.32
Güneş Enerjisi	32.6	Mtep	630	0.5
Doğal Uranyum	9,129	Ton	0	0

Enerji yoğunluğu dikkate alındığında Türkiye 2010 yılında 0.000134 TEP ile 2009 yılına oranla %-4.31 enerji yoğunluğu artış göstermiştir. Aynı yıllarda Rusya %1.76 ile enerji yoğunluğundan azalma göstermiştir. Rusya'yı; ABD %1.24 ile, Avrupa geneli %1.01 ile, ve OECD üyesi ülkeler %0.75 ile enerji yoğunluklarında küçülmüşlerdir. Enerji yoğunlukları artan ülkeleris sırasıyla Türkiye %-4,31, Çin %-3.31, OECD üyesi olmayan ülkeler %-1.5, Almanya %-0.50 ve Dünya devletleri toplanma %-0.12 enerji yoğunlukları artmıştır.

Ülkelerin gelişmişlik düzeylerinde etkili bir gösterge olan kişi başı enerji tüketim miktarları göz önüne alındığında Türkiye çizelge incelendiğinde Dünya genel ortalamasının altında yer almaktadır. Kişi başı enerji tüketiminin en çok olduğu ülke 2010 verilerine göre 4.877 TEP ile ABD yer almaktadır. Türkiye ise OECD üyesi olmayan ülkeler son sırada yer alırken Türkiye, OECD üyesi olmayan ülkelere 1.454 TEP ile sondan ikinci sıradadır.

CO₂ salınımı toplumları tehdit eden önemli bir unsurdur. Sanayi devriminden sonra insanlığı en çok tehdit eden problemlerden bir diğeridir. Ülkelerin atmosfer kirliliğine etkilerinin doğru bir şekilde ölçüle bilmeleri ve gerekli önlemlerin alınması için ülkelerin kişi başı CO₂ salınım miktarı ve bunların dünya genelindeki payları önemli bir ölçüttür. Dünyada en çok kişi başı CO₂ salınımı olan ülke 17.621 TEP ile tüm dünyanın CO₂ salınımının %23.5 gibi bir oran ile ABD gelmektedir. ABD'yi sırasıyla 10.396 TEP ile OECD üyesi ülkeler, 12.546 TEP ile Rusya izlemektedir. Türkiye 3.761 TEP ile ve dünya geneli %0.87 gibi küçük bir oran ile kişi başı CO₂ salınımı konusunda diğer ülkelere daha az etkiye sahiptir.

Ülkelerin enerji arzlarının enerji tüketimlerini ne kadar karşıladığı, o ülkenin enerji bağımlılığını ortaya koymaktadır. Bu durum ülkelerin gelişmişlikleri konusunda bir diğer önemli ölçüt olarak kullanılabilir. Çizelgede yer alan ülkelerin Rusya hariç üretimlerinden daha çok tükettikleri görülmektedir. Türkiye'nin dışa bağımlılığı 2010 yılı verileri değerlendirildiğinde %69.9 gibi bir oran ortaya çıkmaktadır. TÜİK verileri 2012 yılı değerlendirmelerinde bu oranın %70 in üzerine çıktığı belirtilmektedir. ABD %23.7, Çin %10.4 ve Almanya %65.6 bir oran ile dışa bağımlı ülkelerdir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta olarak gelişmiş ülkelere Almanya'nın enerji konusunda Türkiye'den pek de farklı olmadığı dikkat çekmektedir.

Tüm Dünya’da birincil enerji kaynakları konusu oldukça önem arz etmektedir. Tüm Dünya’da birincil enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan petrol 2011 verileri dikkate alındığında dünya enerji arzı payı % 33.1’lik kısmını oluşturarak stratejik konumdadır. Bunun yanında kömür de en az petrol kadar önemli birincil enerji kaynağıdır ve dünya enerji arzındaki payı % 30.3’tür. Bu iki birincil enerji kaynağının son yıllardaki en büyük rakibi dünya enerji arzında ki %23.7’lik payı ile doğalgaz gelmektedir. Bu üç enerji kaynağı ülkelerin bağımsız strateji belirlemelerinde büyük bir role sahiptir. Dünyanın çevre dostu ve insanlığın geleceğini tehdit etmeyen enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya enerji arzındaki payı ise %12.9 ile son sırada yer almaktadır. Türkiye’nin 2011 yılında ortalama günlük petrol arzı 57.6 bin varil olmasına rağmen tüketimi ise 655.30 bin varil olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda Türkiye’nin petrol de dışa bağımlılığı %-91.2 gibi büyük bir oran söz konusu olmaktadır. Bunun yanında dünyanın süper gücü ABD’nin dışa bağımlılığı %-46.3, Çin’in %-55.9, Avrupa %-71.5, OECD üyesi ülkelerin %-53.4, OECD üyesi olmayan ülkelerin %-56.4 ve Almanya’nın %-94.1 iken Rusya’nın üretim fazlası vererek % 228.7 olmuştur. Almanya’nın her ne kadar tüketim miktarları Türkiye ile farklılık gösterse dahi bağımlılık oranlarında büyük benzerlik göstermektedir.

Türkiye’nin 2011 yılında ortalama günlük kömür arzı 86063.00 bin varil olmasına rağmen tüketimi ise 112496.00 bin varil olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda Türkiye’nin kömür de dışa bağımlılığı %-23.5 gibi petrol kadar olmasa da büyük bir oran söz konusu olmaktadır. Bunun yanında dünyanın süper gücü ABD’nin dışa bağımlılığı değil ve %9.1, Çin %0.5 ve OECD üyesi olmayan ülkelerin %7.9 arz fazlası verirken, Avrupa %-23.1, OECD üyesi ülkelerin %-5.7, ve Almanya’nın %-19.0 arz eksikliği veya dışa bağımlılığı olmuştur. Rusya’nın üretim fazlalığı % 43.4 olmuştur. Almanya’nın her ne kadar tüketim miktarları Türkiye ile farklılık gösterse dahi Kömür enerjisinde de bağımlılık oranlarında büyük benzerlik göstermektedir.

Türkiye’nin 2011 yılında ortalama günlük doğalgaz arzı 27.00 bin varil olmasına rağmen tüketimi ise 1579.00 bin varil olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda Türkiye’nin doğalgaz da dışa bağımlılığı %-98.3 gibi petrol gibi büyük bir oran söz konusu olmaktadır. Bunun yanında dünyanın süper gücü ABD’nin %16.8 ve OECD üyesi olmayan ülkelerin %49.5 arz fazlası verirken, Çin %-21.5, Avrupa %-38.9, OECD üyesi ülkelerin %-9.4, ve Almanya’nın %-84.7 arz eksikliği veya dışa bağımlılığı olmuştur. Rusya’nın üretim fazlalığı % 31.8 olmuştur. Almanya’nın her ne kadar tüketim

miktarları Türkiye ile farklılık gösterse dahi doğalgaz enerjisinde de bağımlılık oranlarında büyük benzerlik göstermektedir.

Türkiye'nin 2011 yılında ortalama günlük yenilenebilir enerji arzı 55.32 Milyar KilowatSaat olmuştur. Tüketim ise yine 55.32 Milyar KilowatSaat olarak gerçekleşmiştir. Bu durumda Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarında dışa bağımlılığı %0 olarak gerçekleşmiştir. Diğer ülke verileri incelendiğinde 2011 yılı için dışa bağımlılıkları %0 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum Çizelgede gösterilen ülkelerin yenilenebilir enerji konusunda herhangi bir ülkeden enerji alımı yapmadıkları ve üretebildikleri kadar tükettikleri sonucu çıkmaktadır.

Türkiye 2011 yılında enerji ithalatında doğalgaz miktarı 36 mTEP, Kömür miktarı 15 mTEP ve petrol miktarı ise doğal gaz ile aynı olmak üzere 36 mTEP olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji ithalatı bulunmamaktadır. Türkiye'nin 2011 yılı verileri incelendiğinde toplam enerji tüketiminin %32.2'lik payı ile doğalgaz, %26,6'lık pay ile petrol, %31.3'lük pay ile Kömür karşılarken yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %9.9 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye tükettiği toplam enerji miktarının %1'lik kısmını doğalgaz, %2,3'ünü petrol, %17.5'ini kömür ve %9.9'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından üretmektedir.

Türkiye'nin 2012 verileri incelendiğinde elektrik enerjisi üretiminde kullandığı enerji kaynaklarından doğalgazdan %43.1, petrolden %2, kömürden %27.5 ve yenilenebilir enerji kaynaklarından %27.2 faydalanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermalin payı %0.60, rüzgarın payı %2.4, hidroliğin payı %24.7 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminde kurulu gücünün kaynaklar bazında doğalgazın payı %37.0, petrolün payı %3.7, kömürün payı %24.1 ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %36.4'tür. Kurulu güçte yenilenebilir enerji kaynakları ise hidrolik %32.5, rüzgar %3.5, jeotermal %0.2 ve yenilenebilir atık %0.2 gibi bir paya sahiptir. 2011 verileri incelendiğinde Türkiye'nin sanayide kullandığı doğalgazın payı tüm tüketimin %24.2'si iken ısınmada kullandığı doğalgaz ise %25.8 olmuştur.

Türkiye'nin %70 gibi büyük bir oranda enerjide dışa bağımlı bir ülke olduğunu daha önce belirtilmiş idi. 2011 verileri incelendiğinde Türkiye ithal ettiği doğalgazın %55'ini Rusya'dan, %21'ini İran'dan, %10'unu Azerbaycan'dan, %11'ini Cezayir'den, %3'ünü Nijerya'dan ve %8'ini diğer devletlerden satın alarak tedarik etmektedir. Görüldüğü

gibi Türkiye'nin en büyük doğalgaz tedarikçisi Rusya'dır. Rusya'yı İran takip etmektedir. Türkiye ithal ettiği Petrolün %51'ini İran'dan, %17'sini Irak'tan, %12'ini Rusya'dan, %11'ini Sudi Arabistan'dan, %7'ünü Kazakistan'dan ve %2'sini diğer devletlerden satın alarak tedarik etmektedir. Görüldüğü gibi Türkiye'nin en büyük petrol tedarikçisi İran'dır. İran'ın en yakın takipçisi Irak gelmektedir. Türkiye her iki enerji kaynağında da sadece iki ülkeye %50 gibi bir oranla bağımlı halde bulunmaktadır.

2012 verileri incelendiğinde Türkiye'nin enerji kaynaklarından petrol ve doğalgaza oranla kömürde diğer ülkelere bağımlılığı daha azdır. Fakat Türkiye %44 gibi bir oranla kömürde bağımlı bir ülke konumundadır. Bu nedenle Türkiye ithal ettiği Kömürün 3.3 milyon ton Güney Afrika, 9.9 milyon ton Rusya, 4.3 milyon ton ABD, 7.3 milyon ton Kolombiya, 1.4 milyon ton Avusturya ve 2 milyon ton diğer devletlerden satın alarak tedarik etmektedir. Kömür alımlarında yine en büyük tedarikçi Rusya'dır.

Türkiye'nin yapılan çalışmalar sonucunda 2011 yılsonu itibari ile tespit edilmiş olan yerli enerji kaynakları potansiyelimiz ise linyit, taş kömürü ve asfaltit 90.5 milyar ton olurken 2011 yılı arzı ise 35,841 Bin TEP ile toplam enerji arzın %31.3 ünü karşılamıştır. Ham petrol ve bitümler toplamda 44.7 milyar ton olurken 2011 yılı arzı ise 30,499 Bin TEP ile toplam enerji arzın %26.6'sını karşılamıştır. Doğalgaz 6.2 milyar m³ olurken 2011 yılı arzı ise 36,909 Bin TEP ile toplam enerji arzın %32.2'sini karşılamıştır. Hidrolik potansiyeli 48000 MW ile 129.4 milyar kWh/yıl olurken 2011 yılı arzı ise 4501 Bin TEP ile toplam enerji arzın %3.9'unu karşılamış ve faaliyette olan toplam kapasitesi ise 17359.3 MW'tır. Rüzgâr potansiyeli 48000 MW/yıl olurken 2011 yılı arzı ise 406 Bin TEP ile toplam enerji arzın %0,3'ünü karşılamış ve faaliyette olan toplam kapasitesi ise 1792.7 MW'tır. Jeotermal potansiyeli 32100 MW/yıl olurken bunun 600 MW'lık kısmı elektrik enerjisi üretimi için uygun olup 2011 yılı arzı ise 597 Bin TEP ile toplam enerji arzın %0,5'ünü karşılamış ve faaliyette olan toplam kapasitesi ise 114.2 MW'tır. Biokütle/enerji potansiyeli 17 Mtep olurken 2011 yılı arzı ise 5018 Bin TEP ile toplam enerji arzın %4.32'sini karşılamış ve faaliyette olan toplam kapasitesi ise 117.4 MW'tır. Güneş enerji potansiyeli 32.6 Mtep ile 300 TWsaat/yıl olurken 2011 yılı arzı ise 630 Bin TEP ile toplam enerji arzın %0.5'ini karşılamıştır fakat faaliyette olan kurulu güç henüz inşa edilmemiştir. Türkiye'nin doğal uranyum potansiyeli 9129 tondur ve herhangi bir çıkarma işlemi gerçekleştirilmemiştir.

Sonuç olarak Türkiye'nin bilimsel ve teknik araştırma kurumu olan TÜBİTAK tarafından yapılan enerji ve doğal kaynaklar paneli 2003 raporu ve bölüm 2'de gerçekleştirilen geniş çaplı Türkiye'nin ve Dünya'nın mevcut enerji kullanımı durum analizi detaylıca incelenmiştir. Bu geniş çaplı inceleme sonucunda oluşturulan Türkiye'nin enerji ve doğal kaynakları değerlendirmesini içeren SWOT analizi aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Güçlü Yanlar:

- Tüm Yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olması ve her birinin kullanım oranının yüksek olması
- Dünya ekonomi ligi tablolarına göre Türkiye Dünyanın 17. büyük ekonomisi ve Avrupa'nın 6. büyük ekonomisi konumundadır.
- Hızlı büyüyen bir ekonomiye sahip
- Kömür yataklarının zenginliği (Verim yeteri kadar alınamıyor)
- Hidrolik kaynakların zenginliği
- Temiz ve yenilenebilir enerji potansiyelinin yüksekliği
- Yetişmiş insan gücünün olması
- Girişimci sanayi yapısına sahip olması
- Enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olması
- Yeni enerji teknolojilerinde yararlanılabilecek stratejik kaynakların varlığı (Bor, Toryum vb)
- Genç ve dinamik bir nüfusa sahip olması
- Yeşil alana dönüştürülebilecek arazi potansiyelinin yüksek olması
- Türkiye'nin yabancı yatırım potansiyelinin olması

Zayıf Yanlar:

- Yeteri kadar petrol kaynağının olmaması
- Yeteri kadar doğalgaz kaynağının olmaması
- Nükleer teknoloji ve ileri teknolojinin olmaması
- Türkiye enerji bağımlılığı %71,5 olması
- Bürokratik engeller ve hukuki altyapının zayıf olması
- Ar-Ge çalışmalarıyla ilgili kaynak ve teşviklerin yetersiz olması ve Ar-Ge kültürünün olmayışı ya da zayıflığı.
- Teknolojik ve bilimsel alt yapının yetersiz olması

- Türkiye sanayi altyapısının yetersiz olması
- Kullanılan kömür santralı teknolojisinin yerli kaynaklara uygun olmaması

Fırsatlar:

- Enerji kaynaklarının Avrupa devletlerine ulaşması konusunda geçiş noktasında yer alması.
- Yenilenebilir enerji teknolojilerine girme potansiyelinin olması
- Jeopolitik konum “Avrupa pazarına yakın olması ve enerji transfer köprüsü olma potansiyeli
- Enerji alanında yeni teknolojilerin geliştirilmesi
- Avrupa Birliği'ne, enerji yoğun sektörlerde ihracat imkânı
- Türkiye'nin bölgesel güç olma potansiyeli ve bölge ülkelerin liderlik yapabilme yeteneğinin olması.

Tehditler:

- Türkiye'nin enerji arzında kömürün payı %56'dır. (CO2 salınımı konusunda riskli)
- Komşu ülkelerindeki siyasi istikrarsızlık ve karışıklıklar,
- Ekonomik, teknolojik, siyasi ve bilimsel yönlerden dış müdahalelere açık olma,
- Bölgemizdeki (Kafkaslar, Orta Doğu ve Balkanlar) olası olumsuz gelişmeler,
- İç göç ve plansız kentleşme,
- Birincil enerji arzında ithalat oranının ve doğal gazı bağımlılığın artması,
- Toplumsal dengelerin ve iç huzurun inşasında yaşanan güçlükler,
- Dünya enerji pazarlarındaki tekelleşme,
- Genç beyin göçü.

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yenilenebilir enerji, dünyadaki en hızlı büyüyen enerji kaynağı türüdür. Bu nedenle bu güne kadar yapılan çalışmalarda, Enerji talebi belirleme ve enerji alternatifleri konusunda çok kriterli karar vermeye ilişkin çok sayıda makaleye rastlamak mümkündür. Bu alt bölümde, konu ile alakalı yapılan literatür çalışması kronolojik sıraya göre kısaca şöyle özetlenmiştir:

Xu ve Chan [60], enerji performansı sözleşme mekanizması altında sürdürülebilir Bina Enerjisi Verimliliği İyileştirmesi (Building Energy Efficiency Retrofit – BEER) için bir model geliştirmek üzere Analitik Ağ Sürecini (Analytical Network Process - ANP) kullanmışlardır. Bu çalışmanın yürütümü aşamasında bir dizi görüşme ve anket çalışmasına dayanarak otel yapılarındaki sürdürülebilir BEER için anahtar performans kriterleri ve kritik başarı etkenleri tanımlaması yapılmıştır.

Kutlu ve Ekmekçioğlu [61] hata türü ve etkileri analizi (FMEA) için kullanılan üç risk faktörünü uzman kişiler yardımı ile risk öncelik değeri belirlenmek için bulanık FMEA, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır.

Yu ve Zhu [62] Çin'nin enerji talebini ortaya koyacak hibrit bir yapı ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda bir tane hibrit algoritma oluşturulmuş. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının-Genetic Algoritması (PSO-GA) için genetic algoritma, Yol-katsayısı analizi (Path-coefficient analysis) yöntemlerini kullanarak birincisi Enerji talebinin %99'dan daha yüksek bir şekilde GSYH ve kent nüfusundan etkilendiği ortaya konulmuştur. Birincisi Enerji talebinin toplam nüfus ve kömür ile negatif ilişki ve yüksek derece olduğu tespit edilmiştir. Hibrit yöntemin diğer yöntemlerin yalnız

uygulanmasında elde edilen sonuçların daha doğru sonuç verdiği ortaya çıkarılmıştır. Üçüncüsü Çin'in enerji talebi 2015 için 15 milyon tce olarak belirtilmiştir.

Shan vd. [63] Öncelikle, Çin'in enerji tüketiminin mevcut durum analizi ve sonra birincil enerji simülasyonu için LEAP modeli uygulamak ve 2020 nihai enerji talebini ortaya koyarak, farklı senaryo kompozisyonları ile 2030 yılını ekonomik kalkınma, enerji verimliliği ve enerji yapısı değerlendirmelerini yapmışlardır. Yapılan çalışmanın sonunda, toplam birincil enerji talebinin 2020 yılında 4840-5070 Mtce ulaşacak, 2030 yılında 5580-5870 Mtce olacağı ortaya konulmuştur. Birincil enerji de kömürün payı azalacağı, petrol, doğal gaz ve fosil olmayan enerji kaynaklarının payı artacağı ortaya konulmuştur. Her üç ekonomik büyüme senaryoları için %40-45 karbon emisyon yoğunluğu azaltma hedefine ulaşılacağı belirtilmiştir. Fosil olmayan enerji kaynaklarının daha da yaygınlaştırılması ile karbon emisyon yoğunluğu 2020 yılına kadar % 45 den daha fazla azalabileceği ortaya konulmuştur.

Yu vd. [64] Yaptığı çalışmada beş faktör olan GSYİH, nüfus, sanayileşme oranı, toplam enerji tüketimi, kentsel nüfusun ve kömürün toplan enerji içerisindeki payının yüzdelik oranının Çin'in enerji talebi üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri üzerinde durulmuştur. Linear, üstel ve kuadratik model yöntemleri kullanılmıştır. Çin'in enerji talebi 2015 yılında 4,48 tce olacağı tahmin edilmiştir.

Fan ve Xia [65] bir hibrid enerji "girdi-çıkıtı" modeli ile temel etmenlerinin ayrıştırılması ile enerji yoğunluğunun bu etmenler tarafından nasıl etkilendiği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda alternatif senaryolar oluşturulmuştur. Hybrid energy IeO modeli ve Modified RAS yöntemlerini kullanarak Enerji girdileri, sanayi yapısı ve teknolojik gelişmeler enerji talebi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu gösterilmektedir. Çin'de enerji talebi, ekonominin geçmiş yıllarda olduğu gibi hızla artmaya devam edeceği 2020 yılında 4,7 milyar tce ulaşacağı tahmin ediliyor.

Yanli vd. [66] Çin'in ulaşım için enerji gereksiniminin kapsamlı bir tahminini yapmaktadır. Tahminleme yöntemlerini kullanarak 2030 yılında, karayolu taşımacılığında enerji talebinin 250 milyon ton olacağı ortaya konulmuştur.

Kıran vd. [67] yeni bir hibrit yapı oluşturularak Türkiye'nin enerji talebini ortaya koymaya çalışmışlardır. Yeni yöntemin oldukça etkili olduğu belirli kriterler çerçevesinde ortaya konulmuştur.

Bordignon vd. [68] Elektrik fiyatına talep tahminlerinin nasıl etkilendiği konusunda yapılan bir çalışma. Rejimi anahtarlama ve zaman içinde değişen parametre modelleri, çok modeli ve evrimsel düşünceler, zaman serileri yöntemleri, geriye dönük test analizi, hata ölçümleri, Markov rejim anahtarlama yöntemlerini kullanmış ve bu 5 yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır.

Forouzanfar vd. [69] İran için ulaşımda enerji talebinin ne olduğu konusunda Genetik algoritmada yapılan tahminlerin Neural Network ve diğer talep tahminleri yöntemleri ile karşılaştırma yapılarak genetik algoritmanın sonuçlarındaki hataların çok küçük olduğu ortaya çıkarılmıştır. Talep tahmininde GSYH, Araç sayısı ve nüfus göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

Sueyoshi [70], enerji şirketlerinin verimlilik odaklı sıralamasını belirlemek için Veri Zarflama Analizi (DEA) ve Diskriminant Analizin (DA) birleştirilmiş bir uygulamasını önerilmiştir. DEA ile kullanılarak enerji şirketleri sınıflandırıldı ve sonra bunların verimlilik değerlerini ve sıralarını değerlendirmek için DEA ve Diskriminant Analiz DA birlikte kullanıldı.

Doukas vd. [71], Tacikistan'daki enerji sektörü aşamalı olarak tanıtılması için iş dünyasına yönelik atölye çalışmaları; teknik ayrıntılar ve tasarım önerileri içeren kurulum rehberleri aracılığıyla desteklenecek en uygun, yenilenebilir enerji kaynakları teknolojisini derinlemesine araştırılmıştır.

Hongboa ve Nian [72] Çin'in enerji talebinin iklim değişikliğinin temel olarak analiz eder ve önümüzdeki on yıl içinde Çin'in enerji gelişim eğilimi için SPSS ve tahminleme yöntemlerini kullanılmıştır. Sistemde herhangi bir gelişim söz konusu değilse bile enerji talebi, enerji arzını aşacaktır sonucu ortaya konulmuştur.

Toan vd. [73] Vietnam'ın mevcut durumunun arka planında ne olduğu ve şimdiki trendlerin neler olduğu ortaya konulmuş ve önümüzdeki yıllarda enerji talebinin ve enerji arzının ne olduğu konusunda bilgi vermektedir.

He vd. [74] Bu yazıda kapsamlı olarak planlama ve % 20 enerji tasarrufu sağlayan senaryolar ile 2010 yılında Liaoning için enerji tasarrufu ve güç tüketimi durumları konusunda analiz yapılmıştır. Kapsamlı bir simülasyon çalışması ile, enerji tasarrufu ve enerji talep seviyeleri farklı senaryolar altında değerlendirilmiştir. Güç talep tahmini yöntemlerini kullanarak Liaoning enerji tüketiminin gelecek için istikrarlı bir büyüme trendi iöerisinde olacağı öngörülmüştür. Toplam enerji kullanımı içinde elektrik

enerjisinin kullanımı 2010 yılından %16 oranında artış göstermiş olduğu ortaya konulmuştur.

Rout vd. [75] Çin üzerinde kısa ve orta vadeli birçok çalışma yapılmış iken uzun dönemli (2100) odaklanan çalışmalar az olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sektörel enerji ihtiyacı ve uzun vadeli emisyonları ele almaktadır. Bunun için TIMES G5 yöntemlerini kullanarak 2100 yılı için Çin tam anlamıyla bir enerji ithalatçısı ve petrol ithalatçısı olduğu belirtilmiştir. 2100 yılında yaklaşık olarak 10080 Mteo petrol ve yaklaşık 207 Mtoe doğal gaz ithalatı gerçekleştireceği belirtilmiştir. Petrol ve doğal gazın aksine, 2100 yılında kömürde yaklaşık olarak 95Mteo ihraç edebileceği ortaya konulmuştur.

Chenchena vd. [76] kısa bir sürede Çin'in enerji talebinin tahmini yapmak için zayıflaması tampon operatör (weakening buffer operatör) kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak zayıflaması tampon operatör yönteminin, verilerin tahmin hassasiyetini arttırdığı gösterilmiştir.

Lee ve Lin [77] Ofis olarak kullanılan binaların enerji performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmış, Çoklu Karar Verme, TOPSİS ve Regresyon analizi yöntemlerini kullanarak (9 tane devlete ait ofislerin değerlendirmesi gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak yöntem kullanılabilir görülmüştür.

Sadeghzadeh ve Salehi [78] günümüzde ortaya çıkan enerji gereksinimi ve bununla birlikte çevresel kirliliğin önlenmesine yönelik yakıt pillerinin otomotiv endüstrisinde değerlendirilmesi ile sistemde yer alacak uygun yakıt pilinin seçilmesi için MCDM ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak alternatifler arasında “Laboratuvar ölçeğinde Donanım” ve “Laboratuvar ölçeğinde know-how” kullanılabilir iki alan seçilmiştir.

Yan vd. [79] kömür kullanılarak elde edilen enerjinin tasarrufu ve aynı zamanda ortaya çıkan çevre kirleticisi emisyon gazının azaltılması amaçlanmış GRD-TOPSIS yöntemlerini kullanarak Sistemde kömürün daha verimli kullanılması için 7 tane öneri sunulmuştur.

Cristóbal [80] yenilenebilir enerji planlanmasında İspanya devlet politikasının belirlenmiştir. VIKOR yöntemi kullanarak Biokütle ve Rüzgar enerjisi en anlamlı kaynak olarak ortaya çıkmıştır.

Sola vd. [81] Elektrik motorlarının enerji kullanımları daha efektif olabilmesi için motor girdilerinin Promethee 11 yöntemiyle seçimlerinin gerçekleştirilmesine yöneliktir.

Burada amaç endüstride enerji kullanımının daha dengeli ve miktar olarak daha minimum enerji harcayan motorların yapımını gerçekleştirme şeklindedir. Motor maliyeti sadece parça maliyetleri değildir aynı zamanda kullanım ve kullanırken yapılan enerji tasarrufu olduğu vurgulanmıştır.

Daly vd. [82] Bu yazıda, Özel araçlar için enerji talebinin odaklanılmıştır. Modellemede; kapasite geliştirmek, söz konusu mevzuatı analiz etmek ve bunları değerlendirmeyi amaçlamıştır. Baseline tahmini yöntemlerini kullanarak İrlanda için elde edilen sonuçları daha önce gerçekleştirilenler ile karşılaştırıldığında filo verimliliği göreceli büyüme gerçekleştirdiği ve bu durumun özel araç enerji talebinde artışın yavaşladığı öngörüsünde bulunulmuştur.

Shafie-khah vd. [83] gün öncesi elektrik fiyatı tahmin etmek için yeni bir hibrit yöntem önerilmiştir. Dalgacık (WT), Auto-Regressive Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA), Radyal Taban Fonksiyonlu Sinir Ağları (RBFN), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemlerini kullanarak önerilen hibrit yöntemin, tahmin doğruluğu için önemli bir gelişme sağlayabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Dilaver ve Hunt [84] Türkiye'nin toplam enerji tüketiminde GSYH'nın ve elektrik fiyatının etkisi ve gelecek içim talebin ne olacağı konusunda bir çalışma. Structural time series model yöntemlerini kullanarak daha önce yapılan çalışmaların gerçeği yansıtmadığı fakat yapılan bu çalışmada elektrik miktarı ve fiyatların daha gerçekçi olduğu ortaya konulmuştur.

Geem [85] Güney Kore için enerji taleplerinin birkaç model oluşturularak ne kadar olduğu ve nasıl değiştiğini ortaya koymaya çalışmaktadır. Yapay sinir ağları yöntemini kullanarak Kore enerji talebinde GSYH sına oranla pek fazla değişim göstermediği ortaya konulmuştur.

Jiaa vd. [86] Çin'in enerji talebinin ortaya konulmasında TIMES metodu ve ESDPM metodu kullanılmıştır. Bu yöntemler kullanarak Çin'in Enerji Talebinin 2020 yılına kadar hızlı bir şekilde arttığı ve 2020 yılından sonra yavaşladığı ortaya konulmuştur.

Paulus ve Borggreffe [87] Teknik ve ekonomik potansiyeli yüksek enerji yoğun endüstrinin elektrik enerjisi yönetiminde piyasadaki dengelenmenin sağlanması yönelik bir çalışma. Talep tarafı yönetimi yöntemi kullanarak simülasyon sonuçları ortaya konulmuş ve politika oluşturulmuştur.

Huang vd. [88] Tayvan için uzun dönemli enerji talebinin kısıtlı kaynaklarının göz önüne alınarak bir politika doğrultusunda ele almak için uzun dönemli Enerji Alternatifleri Planlama Sistemi (LEAP) yöntemlerini kullanarak sonuçlar ortaya konulmuştur.

Lee vd. [89], hidrojen ekonomisinde; hidrojen enerji teknolojilerine yönelik enerji teknolojisi için stratejik bir yol haritası hazırlanmış ve hidrojen enerjisi teknolojilerinin göreceli verimliliğini değerlendirmek amacıyla melez bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve veri zarflama analizi modeli (DEA) de dahil olmak üzere entegre iki aşamalı çok kriterli karar verme (MCDM) yaklaşımını uygulamışlardır.

Kaya ve Kahraman [90], en iyi enerji alternatifini seçmek için geliştirilmiş bir bulanık TOPSIS metodolojisi önerilmiştir. Seçim kriterlerinin ağırlıkları bulanık bir Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile saptanmaktaydı.

Lee vd. [91]; ekonomik etki, ticari potansiyel, iç kapasite ve teknik yeniden yapılandırma gibi etkenleri göz önüne alarak hidrojen enerjisi teknolojisine yönelik stratejik bir yol haritası hazırlanmış ve hidrojen enerjisi teknolojisine yönelik yol haritasındaki (ETRM) hidrojen enerjisi teknolojilerinin göreceli ağırlıklarına öncelik vermek için bir metodoloji önerilmiştir.

Cavallaro [92] Termal ve Güneş enerjinin kullanıldığı sistemlerde ısı transferinde kullanılan sıvıların etkinliğinin ve verimliliğini ölçmek için bulanık çok kriterli ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak Sıvılaştırılmış tuzun enerji üretim maliyetini düşürdüğü ve enerji performansı ve verimliliğini yükseltmekte olduğunu vurgulanmıştır. Sıvı tuzun sistemde kullanılan sıvılara oranla daha ucuz ve daha çevreye duyarlı bir durumu söz konusu olduğu ve bunun yanında sıvı tuzun donma noktasının daha yüksekte olması sistemi donmaya karşı koruyan daha iyi bir sisteme ihtiyaç duyduğu ortaya konulmuştur.

Kaya ve Kahraman [16] İstanbul için kullanılabilecek en iyi yenilenebilir enerji kaynağını belirlemesi için Fuzzy MCDM, VIKOR, AHP yöntemlerini kullanmışlardır. Rüzgâr enerjisi İstanbul için kullanılabilecek en iyi yenilenebilir enerji kaynağı olarak bulunmuştur.

Theodorou vd. [93] MCDM yöntemleri kullanmak amaçlamıştır. AHP, Promethee, Electre yöntemlerini kullanarak yöntemlerin sistemdeki güçlü yanları ve zayıf yanları karşılaştırmalı olarak ortaya konulmuştur.

İnglesi [94] Güney Afrika'da elektrik talebini açıklamak ve değişkenleri belirlemek için bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Tahmini elektrik talebini oluşturacak Ko-entegrasyon ve Hata Düzeltme için Engle-Granger metodolojisi kullanılarak yapılan çalışmada GSYİH ve ülkenin büyüklüğü "nüfus ve m² cinsinden oldukça etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Celiktas ve Kocar [95] Türkiye'nin yenilenebilir enerji geleceği Delphi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Delphi Teknoloji öngörü yöntemi kullanarak yenilenebilir enerjilerin sadece ekonomik ve çevresel faydalar sağlamadığı, aynı zamanda yaşam standartlarını iyileştirdiğini ortaya konulmuştur.

Bhattacharyya ve Timilsina [96] mevcut enerji talep modellerinin gelişmekte olan ülkelerin son dört yılda metodolojik farklılıklar ve gelişmeler vurgulayarak mevcut enerji talep tahmin yöntemleri gözden geçirmeye çalışmışlardır. Ekonometrik yöntem ve son kullanma yöntemleri ile gelişmiş ülkelerle ilgili konulara ağırlık verilerek, enerji talebinin modellenmesi ile ilgili literatürü gözden geçirmişlerdir.

Kucukali ve Baris [97] Türkiye'nin Kısa vadeli yıllık brüt elektrik enerjisi talebinin ne olduğu üzerine yapılan bir çalışma. Bulanık mantık yöntemlerini kullanarak Elektrik taleplerinin düzenli bir şekilde %8 gibi bir oranla yükselmediği. Burada büyük etkinin GSYİH'da iken asıl etkinin ekonomik büyüme ile alakalı olduğu ortaya konulmuştur.

Aragonés-Beltrán vd. [98], bir İspanyol şirketi için fotovoltaik (PV) güneş enerjisi proje riskinin en aza indirilerek seçmek için Analitik Ağ Süreci (ANP) yaklaşımını kullanmışlardır. Böylelikle bu çalışma da en iyi fotovoltaik (PV) proje seçilmiştir.

Heo vd. [99], Kore Devleti'nin 2030 yılına değin yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik hedefini incelemişlerdir. Bu tür kararlar, bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Pilavachi vd. [100] 7 tane bilindik hidrojen üretim prosesleri AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir. AHP, Tekli kriter analizi, Çoklu kriter analizi yöntemlerini kullanarak Hidrojen üretim süreci sıralamasında ilk hidroelektrik-elektroliz sistemi (H-EL) olarak kabul edilir ve kömür gazlaştırma olayı (CG) kötü olarak ortaya konulmuştur.

Kahraman vd. [14] Türkiyede kullanılabilir yenilenebilir enerji alternatiflerinin Bulanık AHP, Bulanık AD yöntemlerini kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin birbirleri ile aynı sonuçları ortaya koyduğu belirtilmiş, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının Rüzgâr olduğu sonucuna varılmıştır.

Deshmukh ve Deshmukh [101] Enerji planlamasını bölgelere ayırarak "köy, belde ve İlçe olarak bölgelere ayrılması" bölge tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Mevcut durum ile karşılaştırması yapılmış, hedef programlama yöntemlerini kullanarak karma yapı için oluşturulan model mevcut yapıdan daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur.

Terrados vd. [102] bölgesel düzeyde yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yerli kaynaklara dayalı yeni bir enerji stratejisi oluşturulmaya çalışılmıştır. SWOT analizi yöntemlerini kullanarak elde edilen strateji ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji ile Türkiye'deki kaynakların payını %42 oranında artırabilir olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Wang vd. [15] sürdürülebilir enerji için çok kriterli karar vermenin farklı aşamalarıyla ilgili yöntemlerini gözden geçirilmiştir. AHP, bulanık küme yöntemlerini kullanarak yöntemler değerlendirilmiştir. Çok Kriterli Karar vermedeki tüm aşamalarda kullanılan yöntemlerin hangilerinin daha iyi sonuç verdiği ve hangisinin ön plana çıktığı ortaya konulmuştur.

Tsoutsos vd. [103] yenilenebilir enerji kaynaklarının Yunan adalarından Crete üzerinde kurulması hedeflenmiş ve bu konuda enerji planlaması aşamasındaki uzmanlar tarafından belirlenen ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel kriterlere göre değerlendirme yapılmıştır. Bunun için Promethee yöntemlerini kullanarak değerlendirme yapılmıştır.

Lu vd. [104] Tayvan'da sürekli büyüyen motorlu taşıtların ekonomik gelişmeleri ve taşıtların enerji tüketimleri konusunda enerji taleplerindeki değişimlerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Grey tahminleme yöntemi kullanarak sonuçlar ortaya konulmuştur.

Neves vd. [105] Elektrik kurumlarında kullanılan enerjinin efektif kullanımı konusunda bilgi vermektedir. Burada amaç: kamu kurumları olmuş yada olmamış bağımsız bir enerji ajansı tarafından fayda maliyet analizi açısından kısıtlamalar ve sakıncalar konusunda değerlendirme yapabilir olup olmadığının denetlenmesi için Çok kriterli karar destek ve ELECTRE III yöntemlerini kullanılmıştır.

Papadopoulos ve Karagiannidis [106] Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin belirli bir bölge için kullanımının değerlendirilmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çok kriterli analiz; Electre III; yöntemlerini kullanarak "RES, yenilenebilir enerji kaynakları sistemi bu tür özel bölgeler için "izole edilmiş bölgeler için" kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Salah vd. [107] elektrik şebekeleri ile fotovoltaik panelleri birbirine bağlayan bir aparat için bir bulanık algoritma yazma amaçlanmıştır. Bu aparat ile daha çok enerjinin korunması amaçlanmaktadır. Bunun için Fuzzy karar verme yöntemlerini kullanarak ortaya çıkartılan aparat enerji tasarrufunda etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Baruah ve Bora [108] Bazı prospektif mekanizasyon stratejileri ile enerji arz ve talep senaryoları oluşturularak pirinç ekimi için bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Dizel yakıtı olan talep %200 artış göstermiş, insana olan bağımlılık da %80 oranında azalma göstermiş ve son olarak hayvanlara olan bağımlılık da %100 oranında azalmıştır.

Srinivasan [109] orta vadeli bir enerji talep tahminleri sistemi üzerinde durulmakta, enerji sisteminin her sektör için son kullanıcı için enerji talebini belirlemek ve tahmininde yardımcı olmak için konut, sanayi, ticari, sanayi dışı, eğlence ve kamu aydınlatma yükünü temsil eden enerji sisteminin üzerinde durmaktadır. Yapay sinir ağları, Özörgütlenme ağlar, veri işleme ağları Grubu yöntemi (GMDH) yöntemlerini kullanılmış ve kullanılan yöntemlerin sonuçlarının farklılıklarının nerelerden kaynaklandığı üzerinde durulmuştur.

Jian vd. [110] enerji talebini etkileyen temel faktörlerin ekonomik büyüme, toplam nüfus ve birincil enerji kaynak yapısı olduğunu gösterdiği ekonomik büyüklük temel belirleyici faktör olduğu ve birincil enerji yapısının büyük kısıtlayıcı faktör olduğu vurgulanmış, Kısmi en küçük kareler regresyon, path analizi gibi yöntemlerini kullanarak Toplam sonuçlar değerlendirildiğinde Bayes yaklaşımının kullanılması sonuçların daha kesin olması üzerinde oldukça etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Ünler [111] Türkiye'nin enerji talebini daha verimli tahmin etmek için bir model önerilmiştir. PSO tabanlı enerji talep tahminleri (PSO-EDF) kullanılmıştır. Baz alınan göstergelerin; gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH), nüfus, ithalat ve ihracat enerji talebinin temel enerji göstergeleri olduğu vurgulanmıştır. Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), karınca kolonisi optimizasyonu yöntemlerini kullanarak senaryolar çerçevesinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Adams ve Shachmurove [112] Çinin hızlıca büyüyen Kömür, petrol and gaz ihtiyacından doğan ithalatını değerlendirmektedir. Bunun için bir ekonometrik model kurmak ve bu yöntemi kullanmaktır. Burada duyarlılık analizi gerçekleştirerek Çin'de nükleer enerji, hidroelektrik, ve alternatif enerji kaynakları ile ek üretim yaparak

değişim için yeteri kadar potansiyelinin olduğu belirtilmiştir. Bunlara ek olarak Çin ekonomisinin enerji verimliliğini artırmak için politikalar geliştirmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Mavrotas vd. [113], çok amaçlı matematiksel programlama yaklaşımını kullanarak belirsiz enerji talebini modellenmiştir. Bu çalışmada, toplam maliyeti en aza indirmeyi ve talep tatmin derecesini ise en yüksek düzeye çıkarmayı amaçlamışlardır.

Lee vd. [114], enerji tasarrufuna ve Kore'nin gereksinimlerine özgü alternatif enerji kaynaklarına odaklanıp Analitik Hiyerarşi Süreci'ni (AHP) kullanarak Kore'nin hidrojen enerjisine yönelik teknoloji potansiyelini araştırılmıştır.

Hirematha vd. [115] DEP "yerinden yönetimler için enerji planlaması" ihtiyacı açıklar ve bunun için kaç çeşit farklı enerji planlama modelleri, optimizasyon modelleri, arz talep modelleri, bölgesel modeller, kaynak modelleri ve nöral modellerin yerinden yönetimlere taşınması, kurulması ve uygulanması konusunda, optimization modelleme yöntemlerini kullanarak DEP Modelinin geliştirilmesi gerektiği ortaya konulmuştur.

Haris vd. [60] esnek çok kriterli karar verme yaklaşımında bulanık değerler kullanılarak sürdürülebilir enerji teknolojileri öncelikleri konusunda politika belirlemek amaçlanmaktadır. Bu çalışmada MCDM ve LOWA yazılım yöntemleri kullanarak ortaya konulmuştur.

Terrados vd. [116] doğrudan, yenilenebilir kaynakların kullanılmasına odaklanmıştır. Özellikle güneş ve biokütle enerji üzerinde durulmuş ve hangisinin işletme yönetim tekniklerini açık bir şekilde etkilediği sürdürülebilir bir enerji modeli tasarımı vurgulanmıştır. Strategic planlama ve SWOT analizi yöntemlerini kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif kullanımları ön plana çıkarılmıştır.

Løken [117] Enerji planlamasında literatür çalışması ortaya konulmuş. AHP, Promethee, Electre yöntemleri irdelenmiştir.

Edigera ve Akar [118] Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) ve sezonsal ARIMA (SARIMA) metodları kullanılarak gelecekteki Türkiye için birincil enerji kaynaklarının tahmini 2005-2020 yılları arası için yapılmıştır. Türkiye için enerji kaynakları konusundaki taleplerin nasıl değişeceğini ortaya konulmuştur.

Winebrake ve Sakva [119] enerjinin çok önemli olduğu bu dönemde enerji yönetiminde ve kullanımı için yapılan talep tahminlerinde gerçekleşen hataların sektörel olarak

etkisinin ne olduğu konusunda yapılan bir çalışmadır. Bir hata ayrıştırma tekniği kullanarak %0,1 lik bir hatanın sektöre etkisi %4-ile %5 arasında değiştiği ortaya konulmuştur.

Zhou vd. [120] 1995 yılında yapılan çalışmanın günümüzde nasıl değiştiğini anlamaya yönelik yapılan anketin yenilenmesi ve geliştirilmesi hedeflemiştir. Bu, çok kriterli karar verme yöntemleri ve enerji ile ilgili çevresel çalışmaların önemini 1995 yılından bu yana önemli ölçüde arttığı tespit edilmiş, yapılan son anketten bu tarafı yeni gelişmelerde ele alınmıştır. Karar analizi, MCDM yöntemlerini kullanarak Enerji ile ilgili çevresel araştırmaların önemi artmıştır sonucu ortaya konulmuştur.

Erdoğan vd. [121] Analitik Ağ Süreci'ni ANP kullanarak ev ısıtmasında kullanılmak üzere en uygun yakıtı saptamaya çalışmışlardır.

Keong [122] arz ve talep girişimlerini baz alarak dağıtımda enerji koruma teknoloji veya sürdürülebilir enerji tüketimindeki yöneliminin değişimleri ortaya konulması şeklinde bir makale ortaya konulmuştur.

Pohekar and Ramachandran [18] 90 tane yayın kullanılarak en çok kullanılan yöntem AHP, Promethee ve ELECTRE yöntemleri olduğu tespit edilmiştir.

Yao ve Chi [123] Enerji taleplerinin kontrol altına alınmasını sağlamak ve efektif kullanımı sağlayarak faturanın hafifletilmesini sağlamaya yönelik bir çalışma. Taguchi–Grey based predictor yöntemlerini kullanarak bu yöntem ile elektrik talep tahmininin mümkün olduğu ortaya konulmuştur.

Tanatvanit vd. [124] Tayvan da Enerji tüketiminde üç sektör öne çıkmaktadır. Bunlar: tüketim miktarlarına göre sırasıyla taşıma, endüstri ve konut sektörleridir. Bu durumda 2020 yılına kadar oluşacak taleplerin ve çevresel etkilerin ne olduğu ortaya konulmuştur. Energy demand analysis yöntemlerini kullanarak etkin motorların üretilmesi ile ortaya çıkan enerji tüketim fazlalığı ve ortama verilen CO2 salınımında azalma oldukça etkili olacaktır sonucu ortaya konulmuştur.

Beccali vd. [125] enerji kaynaklarının kullanımı için yüksek bir potansiyelin olması ve aynı zamanda İtalya'nın sosyo ekonomik yapısı ve tarihine bağlı olarak İtalya'nın diğer bölgelerine göre farklı bir konumda yer alması konusunu ele alarak, MCDM yöntemlerini kullanarak 12 değerlendirme kriteri ile üç tane senaryo üzerinden gerçekleştirilen çalışma; fosil yakıtların kullanımlarının azaltılması, mevcut sistemde, teknik ihtiyaçları ile birlikte, en alakalı bir konu olduğu ortaya konulmuştur.

Haralambopoulos ve Polatidis [126] Chios, Yunanistan adasında bulunan bir jeotermal kaynak, kullanılması ile ilgili bir vaka çalışması test edilmekte. MCDM, PROMETHEE yöntemlerini kullanılmıştır.

Jacobsen [127] enerji ekonomisi modellerde teknolojik ilerleme dahil edilerek bunun uzun dönemli enerji talebine olan etkilerinin ne olabileceği ortaya konulmuştur. Energy-economy modelling yöntemlerini kullanarak teknolojik etkinin enerji tüketimi üzerinde oldukça etkili olduğu saptanmıştır.

Hung vd. [128] MEDEE-S de seçilen değişkenlerin değerlendirilmesi için güçlü bir enerji talep tahmini modeli için gelişmiş bir uzman sistem sunulmuştur. Enerji talep tahmini yöntemlerini kullanarak gelişmekte olan ülkeler için MEDEE-S, güçlü bir enerji talebinin analizi ve tahmin modelidir sonucu ortaya konulmuştur.

Fouquet vd. [129] İngiltere'nin enerji taleplerinin ve politikaların ortaya konulması için hangi faktörlerin rol oynadığı ve nasıl değiştikleri ve bu değişimle enerji tüketimini ve politikasını nasıl etkilediği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Eşbütünleşme analizi yöntemlerini kullanarak İngiltere'nin uzun dönemli ve kısa dönemli enerji talebinin petrol, ekonomik aktiviteler ve gerçekçi bir fiyatlandırmanın 7 sektör üzerindeki etkisi kontrol edilmiştir.

Georgopoulou vd. [130] Bölgesel enerji planlamasının Yunan adaları için ELECTRE III ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan bu yöntemin bölgesel enerji planlamasında oldukça etkili olduğu vurgulanmıştır.

Beccali vd. [131] bulanık mantığa dayalı bir karar destek sistemi mevcut sistem ile karşılaştırılacaktır. Yenilenebilir enerji difüzyonu üzerine odaklanmıştır. Her iki yöntemin avantaj ve dezavantajları ele alınarak, bazı önerilerde bulunulmuştur. MCDM, ELECTRE yöntemlerini kullanarak iki yöntemin de etkili olduğu ortaya konulmuştur.

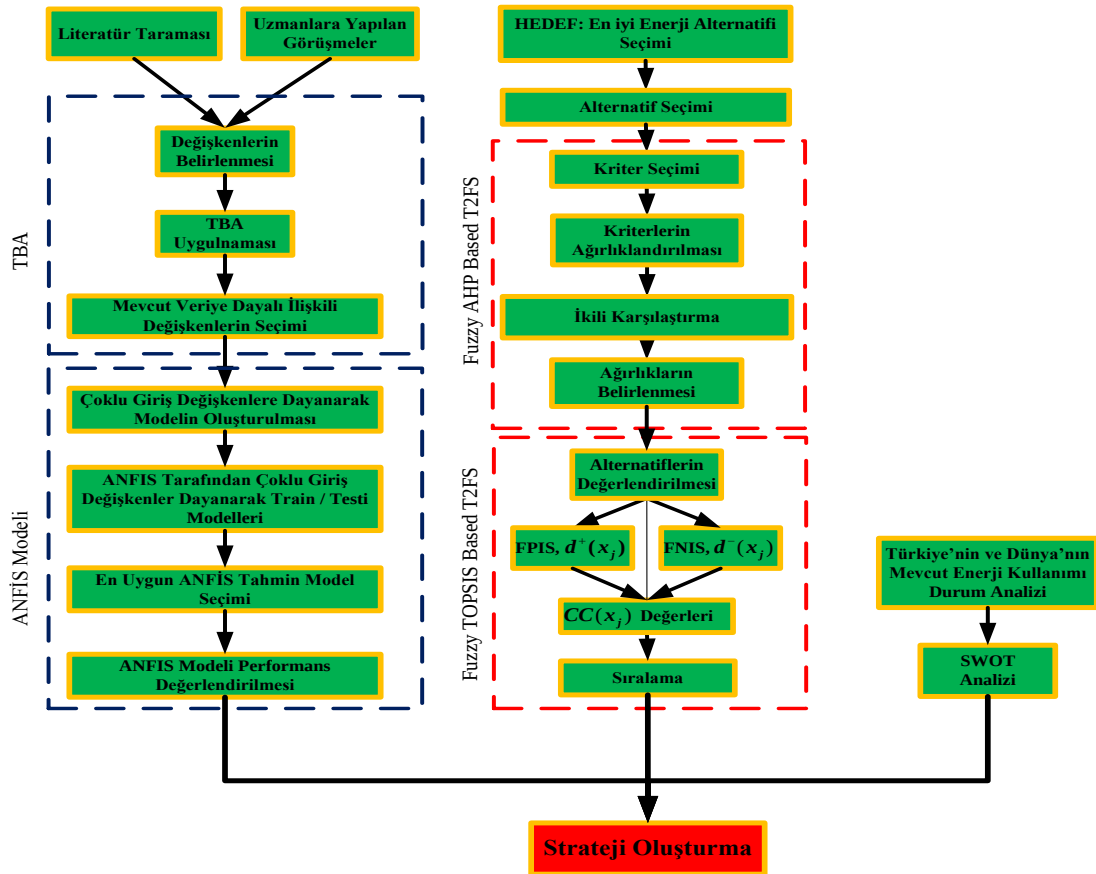
Assimakopoulos ve Psarras [132] aylık olarak gerçekleşen en çok talebin olduğu zamanların hareketini inceleyen ve Yunanistan'ının 1970 ve 1988 dönemini ele almaktadır. Zaman serileri yöntemlerini kullanarak sistem genel anlamda az farklılıklar göstermesine rağmen sezonsal etki oldukça önemli olmaktadır sonucu ortaya konulmuştur.

Yukarıda yapılan literatür çalışmalarından farklı olarak bu çalışmada TBA analizi, ANFIS ve MCDM yöntemlerinden olan Tpe-2 Fuzzy TOPSIS-AHP entegre bir şekilde birleştirilerek bu dört metodu birleştiren yeni bir hibrit yapı ortaya konulmuştur. Bu

Çalışmada, tip-2 bulanık kümelere dayalı Analitik Hiyerarşı Süreci (AHP) ve TOPSIS'den oluşan çok kriterli karar verme (MCDM) metodolojisi onerilmektedir. Bu çalışmada onerilen metodolojide, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynakları için saptanan kriterler tip-2 aralıklı bulanık Analitik Hiyerarşı Süreci (AHP) yöntemiyle ağırlıklandırılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise tip-2 aralıklı bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmaktadır. Daha sonra, söz konusu sıralama incelendiğinde yeni ekonomik düzende Türkiye'nin büyüyen enerji gereksinimlerine dayalı olarak hangi enerji alternatiflerinin öncelikli olarak kullanılması gerektiği konusunda bize yol gösterecektir.

PROBLEM ÇÖZÜMÜNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışmanın ilk aşaması, TBA ve ANFİS metotlarının birleştirilmesi ile hibrit bir metot oluşturulmuştur. Buna ek olarak elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında oluşan farklar değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Strateji belirleme süreç akış şeması.

Bu çalışmada ikinci aşaması, enerji planlaması ve yatırımına yönelik bulanık çok kriterli karar verme sorunlarını çözmek için tip-2 aralıklı TOPSIS yöntemini ve tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi birlikte kullanılarak ikinci bir hibrit metot oluşturulmuştur. Türkiye için en uygun enerji alternatifinin saptanması amacıyla

kullanılacaktır. Kriter ağırlıkları, tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Sonra, tip-2 aralıklı bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenen sıralama vektörüne göre bütün alternatiflerin sıralaması belirlenecektir.

Bu çalışmada üçüncü aşaması, Türkiye'nin ve Dünya'nın mevcut enerji kullanımı durum analizi detaylıca incelenerek Türkiye'nin enerji ve doğal kaynakları değerlendirmesini içeren SWOT analizi oluşturulacaktır.

Bu çalışmanın sonucunda Türkiye'nin sağlıklı bir enerji politikasının oluşturulabilmesi için stratejiler belirlenecektir (Şekil 4.1).

4.1 Temel Bileşenler Analizi

Yapılan bilimsel incelemelerde problemin tanımlanmasında, kısıtlayıcı varsayımlar altında geçerli olan tek değişkenli analizlerin yeterli olmadığı görülmektedir. Tek değişkenli istatistiksel analizlerin yerine incelenen konu veya problem ile ilgili birden fazla özelliğin bir arada ele alınmasına olanak sağlayan çok değişkenli analizler almıştır. Tek değişkenli olan analizlerle ilgili en önemli kısıt, problemdeki birçok faktörün deneysel yöntemler kullanılarak kontrol altında tutulması ve her defasında tek bir faktörün probleme etkisinin incelenmesi şeklindedir.

Çok değişkenli analizler, birden çok özelliğin analizi ile ilgilenen çok değişkenli analizler uygulamalarda farklı amaçlar “basitleştirme ve boyut indirme, birimlerin sınıflandırılması, bağımlılık yapısının incelenmesi, hipotez testleri ve hipotez oluşturma, sıralama ve ölçekleme” ile kullanılırlar [133]. Çok değişkenli istatistiksel analizde n tane bireye (nesne) ilişkin p tane değişken (özellik) incelenmektedir. Bu özelliklerden birçoğunun birbiriyle ilişkili ve p 'nin oldukça büyük olması durumunda analiz sonuçlarının yorumlanmasında ve özetlenmesinde ortaya çıkan güçlüklerin giderilmesinde bu yöntemler kullanılmaktadır [134].

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden bazıları: setler arası korelasyon analizi, kümeleme analizi, çok değişkenli varyans analizi, ayırma analizi, kanonik korelasyon analizi ve temel bileşenler analizi yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmada, talep tahmini için kullanılacak parametrelerin analizi TBA yöntemi kullanılmıştır.

Setler arası Korelasyon Analizi: (Canonical Correlation Analysis), $p > 1$ ve $q > 1$ sayıda değişken içeren iki veri seti (X ve Y) arasındaki değişkenler arası ilişkileri ortaya

koymak amacıyla yararlanılan bir yöntemdir [135]. Setlerarası korelasyon analizi ise, iki ve daha fazla değişken seti ($X_1, X_2, \dots, X_p$); ($Y_1, Y_2, \dots, Y_q$) arasındaki ilişkiyi doğrusal bileşenler aracılığı ile değerlendiren bir yöntemdir [136].

Kümeleme Analizi: Nispeten homojen olan grup veya kümelerin gözlemlerini tek parça olarak birleştirmek için kullanılan bir tekniktir [137]. Kümeleme analizi bir veri setinin farklı gruplar içerip içermediğini belirlemek ve tespit etmek için kullanılan çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin genel adıdır [138], [139].

Gruplaşmamış verileri benzerliklerine göre sınıflandırmak ve uygun, işe yarar, özetleyici bilgiler elde etmek istendiğinde kullanılır. Kümeleme Analizi ile özetleyici uygun bilgi elde edilecektir. Varlık örneklerini, daha küçük sayıda varlıklar arasında benzerliklere bağlı karşılıklı özel alt guruplar halinde sınıflandırır.

Kümeleme Analizi, birimleri p değişkene göre hesaplanan ve benzerlik ölçüsü olarak kullanılan bazı ölçüler kullanarak homojen gruplara bölmek amacıyla kullanılır. Bu amaç dört grupta toplanabilir [136].

- n sayıda birimi, nesneyi, oluşumu, p değişkene göre saptanan özelliklerine göre olabildiğince kendi içinde türdeş (homojen) ve kendi aralarında farklı (heterojen) alt gruplara (küme) ayırmak.
- p sayıda değişkeni, n sayıda birimde saptanan değerlere göre ortak özellikleri açıkladığı varsayılan alt kümelere ayırmak ve ortak faktör yapıları ortaya koymak.
- Hem birimleri hem değişkenleri birlikte ele alarak, ortak n birimi p değişkene göre ortak özellikli alt kümelere ayırmak.
- Birimleri, p değişkene göre saptanan değerler için, izledikleri biyolojik ve tipolojik sınıflamayı ortaya koymak (taksonomik sınıflandırma yapmak).

Çok Değişkenli Varyans Analizi: iki ve daha fazla değişkenli ($p \geq 2$) normal dağılım gösteren ($k \geq 2$) popülasyon göre kurulmuş hipotezlerin test edilmesinde ve tek yönlü-iki yönlü deneme sonuçları ile çok değişkenli ve çok faktörlü deneme sonuçlarının analizinde yararlanılan bir yöntemdir [136].

Çok değişkenli varyans analizi, hipotezi test etmek için deneysel durumun tasarlanmasında iki ya da daha fazla bağımsız değişkenin, birden fazla bağımlı değişken üzerindeki etkisi incelemede kullanılır. Farklı kategorilerde olan bağımsız değişkenler

ve iki veya daha fazla bağımlı metrik değişken arasındaki ilişkiyi eşzamanlı olarak araştırır.

Ayrırma Analizi: Ayrırma Analizi, başlangıçta tanımlanan sınıflandırma değişkeninin incelenen bireylerin gruplandırılmasını ne ölçüde başardığını ortaya koyan, gruplar arasında ayırım sağlama konusunda en fazla etkisi olan değişken veya değişkenleri belirleyen ve aynı değişkenler ile yeni bir bireyin hangi grupta yer alabileceği konularının ortaya çıkarılabilmesini amaçlayan çok değişkenli bir analizdir [140].

Kanonik korelasyon analizi: X bağımsız ve Y bağımlı değişken kümesine ayrılan özelliklerden, X değişken grubu q adet ve Y değişken grubu p adet ($p > 1$) özellik içermektedir [2]. Yani bağımlı değişken ve bağımsız değişken sayısı birden fazla olduğu durumlarda bu analiz yöntemi kullanılır. Bu analiz ile, X değişken grubu içerisindeki özelliklerin doğrusal kombinasyonları ile Y değişken grubu içerisindeki özelliklerin doğrusal kombinasyonları arasındaki korelasyon katsayıları araştırılır [141].

Temel Bileşenler Analizi (TBA): Bir değişkenler setinin varyans-kovaryans yapısını, bu değişkenlerin doğrusal birleşimleri vasıtasıyla açıklayarak, verilerin indirgenmesi ve yorumlanmasını sağlayan, çok değişkenli bir istatistik tekniğidir [142]. Cebirsel olarak temel bileşenler, n ölçümündeki p değişkenin doğrusal birleşimleridir. Geometrik olarak ise; orijinal koordinat eksenlerini oluşturan p değişkenin temel bileşenlerin her biri yeni eksenleri meydana getirmesi suretiyle döndürülmüş yeni bir koordinat sistemini göstermektedir [143]. Temel Bileşenler Analizinin üç genel amaca hizmet etmektedir [136]: Veri indirgemesi yapmak, tahminleme yapmak, veri setini bazı yöntemlerin analiz edebileceği forma sokmak.

TBA girdi değişkenlerin lineer birleşimlerinin oluşturulduğu bir matematiksel dönüşümdür; temel bileşenler olarak ifade ettiğimiz yeni değişkenler orijinal veri içerisinde mümkün olduğunca çok farklı varyasyon oluşturularak açıklamaya çalışılır [144], [145]. 1901 yılında Karl Pearson'un başlattığı temel bileşenler analizi çalışmaları, 1933 yılında Hotelling tarafından geliştirilmiştir [145]. Temel bileşenler analizi, çok değişkenli analizin en eski ve en çok bilinen tekniğidir [146]. Pearson (1901) tarafından ilk olarak kullanılmıştır. Daha sonra teknik bağımsız olarak (1933) yılında Hotelling tarafından geliştirilmiştir. TBA çok sayıda birbiri ile ilişkili değişkenler içeren veri setinin boyutlarını veri içerisinde varolan değişimlerin mümkün olduğunca korunarak daha az boyuta indirgenmesini sağlayan bir dönüşüm tekniğidir

[147]. Temel bileşenler analizi ile değişkenlerin bileşkeleri diyebileceğimiz daha az sayıda yeni değişkenler ya da temel bileşenler oluşturulur. Temel bileşenler birbirinden bağımsız olmasından dolayı değişkenler arası bağımlılık yapısı da ortadan kaldırılmaktadır [146]. TBA iki önemli görevleri yerine getirir [148]. İlk olarak, bu verilerin çok boyutluluğunu azaltacak bir yol sağlaması. İkincisi, keşfedici veri çözümlemesi/analizi için intersample ve intervariable özelliği gösteren ilişkilerin grafik gösterimi sağlayan güçlü görselleştirme sağlayan bir araç olmasıdır. Grafik çizimlerindeki yüklemeler ile (Temel bileşenlerin lineer kombinasyonu üzerinde orijinal değişkenlerin ağırlıkları inşa edilmiştir) örnekler aracılığıyla orijinal değişkenler arasındaki korelasyon gösterirken, grafik çizimlerindeki puanlar (yeni değişkenler üzerinde nesnelerin koordinatları) örnekler arasında benzerlikler hakkında bilgi verir [149]. TBA, eldeki veriyi daha az sayıda değişkenle ifade edebilecek en iyi dönüşümü belirlemeyi amaçlar [147]. Dönüşüm sonrasında elde edilen değişkenler ilk değişkenlerin temel bileşenleri olarak adlandırılır. İlk temel bileşen varyans değeri en büyük olandır ve diğer temel bileşenler varyans değerleri azalacak şekilde sıralanır [150], [151], [152].

4.2 Bulanık Sinir Ağı

Yapay Zekâ tekniği; Yapay Sinir Tekniği(ANN), Bulanık Mantık(FL) ve Uyarılabilir Nöro Bulanık Çıkarsama Sistemi (ANFIS) gibi karmaşık sistemleri modellemede ve çoğu zaman tahmin için etkili bir alternatif araç olarak kullanılır [153].

4.2.1 Yapay Sinir Ağı

Sinir ağları, sinir sistemi içinde bilgi yoluyla uyarılarak işlem gören bilgisayar algoritmalarıdır [154]. ANN paralel dağıtımlı işlemcili nörobilgisayar gibi düşünülebilir. [155]. Bir sinir sisteminin asli unsurları gizli işlem tabakalarının girdi ve çıktı tabakaları içine sistemleştirilmiş olan nöronlardır. Regresyon türü problemlerde en yaygın sinir ağı yöntemi çok tabakalı yapılardır (Multi-layer Perceptron-MLP) [156]. MLP üç katmana sahiptir: girdi katmanı, çıktı katmanı ve gizli katmandır. Nörondaki girdiler, nöronun ağırlık girdisinin toplamı ve nöronun sapması/önyargısından oluşur. Nöronun çıktısı, nöronun girdisi ve onun geçiş fonksiyonuna bağlıdır [157].

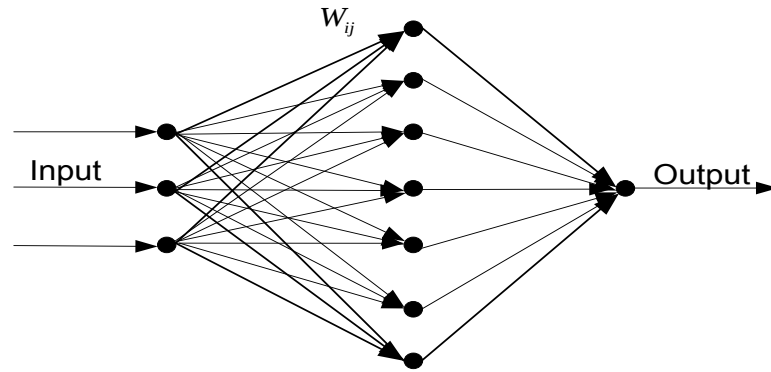
Matematiksel olarak, bir k nöronu aşağıdaki denklemle tanımlanabilir:

$$u_k = m \sum_{j=1}^m W_{kj} x_j \quad (4.1)$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k) \quad (4.2)$$

$x_1, \dots, x_m$ girdi sinyalleridir, $w_{k1}, \dots, w_{km}$ nöron k 'nın ağırlıklarıdır, u_k girdi sinyallerine bağlı lineer birleştirici çıktıdır, b_k Sapma/eğiklikdir, $\varphi(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonudur, ve y_k nöronun çıktı sinyalidir.

Burada, çok tabakalı algı diye adlandırılan yaygın kullanımlı bir model (MLP). ANN (Şekil 4.2) kullanılmıştır. MLP tipi ANN bir girdi tabakası, bir ya da birden fazla gizli tabaka ve bir çıktı tabakasından oluşur [158].



Şekil 4.2 Üç katmanlı ANN algılayıcı model yapısı

Q kadar bir eğitim verimizin olduğunu düşünelim. $\{\vec{l}_1, \vec{l}_2, \vec{l}_3, \vec{l}_4, \dots, \vec{l}_Q\}$ girdi verisi ilk katman olarak empoze edilmektedir. ANN belirlenen hedef vektörüne ulaşmada eğitimi uygular. $\{\vec{t}_1, \vec{t}_2, \vec{t}_3, \dots, \vec{t}_Q\}$ hedef vektörü ANFİS yapısında son katmanda yer alır. Nöronlardan çıkan çıktılar I, O_i , nöron j girdisi ağırlık değeri W_{ij} ile birleşir. Noron k 'nin aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$O_k = f\left(\sum_i W_{ij} O_i\right) \quad (4.3)$$

$f(x) = 1/(1 + e^{-x})$ ve toplam nöronlar komşu/yanyana katmanlar olduğunda, Çıktı nöronların hedefi t olduğunu varsayalım. Bu durumda çıktı nöronlarındaki hata değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$E = \frac{1}{2}(t_k - O_k)^2 \quad (4.4)$$

Nöron k üretilen değer ve hedef değer çıktısı arasındaki farka bağlı olarak, çıkış nöronu olsun. Ağırlık değeri (W_{ij}) çıktı hatasını azaltmak için kullanılır. Bu çıktı değerleri ilk girilen giriş değerlerine ulaşana kadar çıktı katmanında ki hata gizli katmana geri aktarılır [159].

Genelleştirilmiş kural keşfi (Generalized Rule Discovery-GRD) algoritması, gradyan hataya göre ağırlıklara uyum sağlar:

$$\Delta W_{ij} = -\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\frac{\partial E}{\partial O_i} \frac{\partial O_i}{\partial W_{ij}} \quad (4.5)$$

ANN sonuçlarının değerlendirilmesi için, aşağıdaki hata yüzdesi ölçüsü (percentage error measure) uygulanır.

$$hata = \frac{|gerçekyük - tah.edil.yük|}{gerçekyük} \times 100 \quad (4.6)$$

4.2.2 Bulanık Mantık

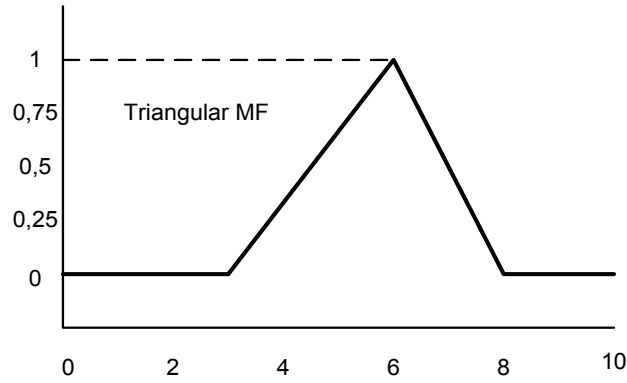
Yapay zeka ilk olarak Zeng tarafından karışık sistemlerin çözülmesinde kullanmak için ortaya atılmıştır [160]. Bir ANN giriş ve çıkış çiftleri öğrenir ve onlara interaktif bir şekilde uyum sağlama yeteneğine sahiptir. Bulanık uzman sistem, giriş alanından çıkış alanına doğrusal olmayan bir yol/harita uygular. Bu harita bir takım If-then kuralları ile yapılır. Yapılan bu kurallar haritada/yapıda/yol her bir local hareketi ortaya koymuştur [24].

Bu durum;

X: bir veri kümesi veya değer olsun, A: bir diğer veri kümesi veya değer olsun, x: veri kümesinin bireysel değeri olsun ve $\mu_A(x)$; X ve A ile ilişkili üyelik fonksiyonu. $\mu_A(x)$: A ya ait x in derecesini ortaya koyar. Onun değeri 0 ile 1 arasında bir değerdir. Üyelik fonksiyonu deneme yanılma ile seçilir. Burada dört üyelik fonksiyonu vardır. Bunlar; üçgensel, ikizkenar yamuk, Gauss, Genelleştirilmiş çan [161]. Genel olarak, biz diğer üyelik fonksiyonları ile %25-30 oranında örtüşen üyelik fonksiyonunu seçmek isteriz. Bunlara bağlı olarak, mağkul üyelik değerlerini seçmek isteriz [162]. Bu çalışmada üçgensel fonksiyon seçilmiştir. Çünkü bu fonksiyon hem basit hem de en çok kullanılandır. Bu üçgensel fonksiyon şöyle ifade edilir, üç parametresi vardır 'a'

(minimum), ‘b’ (orta), ve ‘c’ (maksimum) bunlar üçgenin yapısını oluşturur. Şekil 4.3’de üçgensel yapıyı göstermektedir.

$$A = \begin{cases} 0, x \leq a \\ (x-a)/(b-a), x \in (a,b) \\ (c-x)/(c-b), x \in (b,c) \\ 0, x \geq c \end{cases} \quad (4-7)$$



Şekil 4.3 Üçgen üyelik fonksiyonu

4.2.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

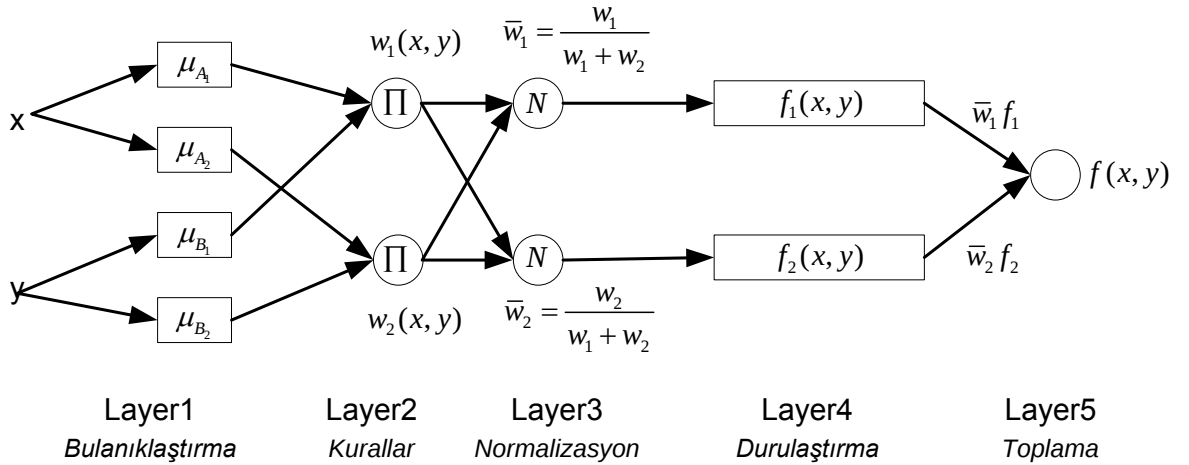
Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems- ANFIS), yapay sinir ağlarının paralel hesaplayabilme ve öğrenme kabiliyeti ile bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanan melez bir yapay zeka yöntemidir. Jang [164] tarafından 1993 yılında geliştirilmiş olan ANFIS model sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini ve Melez öğrenme (Hybrid learning) algoritmasını kullanır.

ANFİS, hibrit bir yapay zeka modelidir. Yapay sinir ağlarının paralel hesaplamalar ve öğrenme yeteneği ve bulanık mantık sonuç çıkarma özelliğini birlikte kullanır [163]. ANFİS, bulanık modelleme yaklaşımı olan veri güdümünü kullanmaktadır. Bu yöntem ilk olarak Juran tarafından ortaya konulmuştur [164]. ANFİS metodu ANN ile FL metotlarının entegrasyonlarının sonucunda ortaya çıkmıştır [165]. Adaptif ağlarında temel öğrenme kuralı en dik iniş yöntemidir [164]. ANFİS soru için kurulan veya veri ile ilgili oluşturulmuş yapıya göre, bir uzman tarafından atanacak kuralların tüm olası kuralları atayabilir [163]. Temel ANFİS modelinin akış şeması Şekil 4.5’te gösterilmiştir.

ANFİS metodolojisi akıl yürütme yeteneği olan yapay zeka ve öğrenme kapasitesi olan Sinir Ağları yönteminin belirli bir metodoloji kullanılarak birleştirilmesi sonucu ortaya

koyulmuştur [154]. ANFİS metodunun amacı hedef değerler ile girdi değerler arasında doğru bir ilişki sağlayacak model ya da haritayı oluşturmaktır [166]. Bulanık çıkarım sistemi (FIS), bir bilgi gösterimidir. Bu durum, her bulanık kural sistemini ortaya koyarken, sistemi lokal bir şekilde anlatmaktadır [167]. ANFİS iki parttan oluşmaktadır. Bunlardan birinci part öncel, ikincisi sonuç partıdır [154]. Bu partlar birbirlerine ilişki ağına da bulanık kurallar ile bağlıdır. ANFİS metodunun tahminlemede kullanılan yapısı Şekil 4.4'te ortaya konulmuştur. Bu şekilde iki girdili ve bir çıktılı olarak belirlenmiştir [168].

Adaptif (uyumlu) ağlar, doğrudan bağlanmış düğümlerden oluşur. Her bir düğüm, bir işlem birimini temsil eder. Düğümler arasındaki bağlantılar, aralarındaki değeri tam olarak belli olmayan bir ilgiyi (ağırlığı) gösterir. Düğümlerin hepsi veya bir kısmı adaptif yapıda olabilir. Adaptif, bu düğümlerin çıkışlarının değişebilir parametrelerle belirlenmesi suretiyle oluşturulur. Öğrenme kuralları, değişebilir parametrelerin, ağıın tamamının çıkışı ile hedef değer arasındaki farkı, yani hatayı minimum yapacak şekilde nasıl değiştirilmesi gerektiğini belirler. Gradient vektörü, zincir kuralının ardışık işlemleriyle türetilir. Adaptif ağlar, sistem tanımlama için kullanılır. Verilen giriş-çıkış veri setleriyle tanımlanan bilinmeyen sistemin, en uygun ağ yapısı ve parametre setleriyle en iyi şekilde modellenmesinde kullanılır.



Şekil 4.4 Genel ANFIS yapısı.

Sugeno-type olan ANFİS modelinde beş tane katman bulunmaktadır ve bu MATLAB programının Simulink tool'u kullanılmıştır. Her katmanın hesaplamaları ve öğrenme algoritmaları kendi kaynaklarında detaylı olarak açıklanmıştır [169], [170], [171].

Model için oluşturulan diyagram Şekil 4.4'te verilmiştir. Katmanlar ile alakalı bilgi aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

İlk olarak, Bulanık Takagi-Sugeno modeli, temel olarak iki temel kural üzerine inşa edilmiştir. Bu kurallar aşağıda gösterildiği gibidir.

Rule1:

*if x is A_1 and y is B_1 THEN $z_1 = f_1 = p_1 * x + q_1 * y + r_1$*

Rule2:

*if x is A_2 and y is B_2 THEN $z_2 = f_2 = p_2 * x + q_2 * y + r_2$*

A_i ve B_i dilsel ifadeler iken, (p_i, q_i, r_i) öğrenme sürecinde elde edilen sonuç parametrelerdir [172].

Şekil 4.4'deki gibi iki girişli bir çıkışlı ve 2 kurallı Sugeno tipi bir ANFIS yapısında 5 adet katman vardır. Aynı katmandaki düğüm fonksiyonları özdeş olup, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Giriş düğümleri (Layer 1): Bu tabakada her düğüm crisp girişlerin üyelik notları üretir: ve her düğümün çıkışları O_i^1 hesaplanabilir.

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \text{ for } i=1,2 ; O_i^1 = \mu_{B_{i-2}}(y) \text{ for } i=3,4 \quad (4.8)$$

Bu katmandaki her düğüm bir dilsel ifadeye karşılık gelir. Çıktı düğümü olan (Q), dilsel ifadenin üyelik fonksiyonu değerine eşittir. (O_i^1 ; i inci düğümün 1 inci çıkışını, i düğüm sayısıdır). Bir düğümün parametreleri, dilsel etiketi karakterize etmek için kullanılan üyelik fonksiyonunun şeklini değiştirebilir. μ_{A_i} ve μ_{B_i} ; A_i ve B_i dilsel ifadelerin üyelik fonksiyonlarını ifade eder.

$$O_i^2 = \mu_{A_i}(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.9)$$

c ve σ değerleri, melez öğrenme algoritması ile parametrelerin güncellenmiş halidir. ANFİS yönteminin temel yapısında bu parametreler ayarlanabilir değildirler.

Kural düğümleri (Layer 2): ikinci katmanda sabit düğümler vardır. Düğüm sayısı bir çarpanı olarak kullanılan sabit düğümlerin sayısına eşittir. Bu katmandaki her düğüm sugeno bulanık çıkarım sistemine göre inşa edilen kuralları ve sayıları ifade eder. Bu tabakanın çıktıları “Güçlü ateşleme O_i^2 adlandırılan”, katman 1 de elde edilmiş ilgili derecelik ürünleridir.

$$O_i^2 = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i=1,2 \quad (4.10)$$

Burada, y ve μ_{B_i} düğüm i başka bir giriş temsil eder ve dilsel etiket (örneğin, vb, küçük, büyük gibi) sırasıyla bu giriş ile ilişkili.

Ortalama düğümleri (Layer 3): Ana hedef tüm kuralların ateş gücü toplamak için her i . kuralın ateş gücü oranını hesaplamaktır. Tüm düğüm değerleri, aşağıdaki denklem ile hesaplanan her bir düğümün giriş değerleri olarak kabul edilmektedir. Bu katmandaki ateş dayanımı ($\bar{w}_i$) normalize edilir;

$$O_i^3 = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i} \quad i=1,2 \quad (4.11)$$

Sonuçsal düğüm (Layer 4): Bu katman, her kuralın ağırlıklı değerleri (sonuç parametreleri olarak adlandırılır) belirlenir. Bu tabakanın düğümleri adaptif düğümlerdir ve genellikle birinci dereceden Sugeno tipi polinomlardır. Belirlenen toplam çıkış veya model çıktısı ve / veya tarif edilen fonksiyon üzerinde i inci kuralının katkısı hesaplanır;

$$O_i^4 = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad i=1,2 \quad (4.12)$$

$\bar{w}$ normalleştirme tabakasının çıkışıdır. Bu tabakada olan (M) öğrenme algoritması için "parametreleri buna bağlı" olarak adlandırılır ve önemlidir. Bu katman parametreleri (p_i, q_i ve r_i) bağımlı parametreler olarak adlandırılan öğrenme algoritması için önemlidir. Her parametre, eğitim verilerinin çıkış verilerini eşleştirmek için uygun bir değere ayarlanır.

Çıkış düğümleri (Layer 5): Son katmanda tek bir sabit düğüm vardır ve çıkışları crisp özelliklere sahiptir. Bu tabaka, çıkış düğümü olarak adlandırılır. Bu tek düğüm, gelen tüm sinyalleri toplayarak genel çıkışları hesaplar;

$$f(x, y) = \frac{w_1(x, y) f_1(x, y) + w_2(x, y) f_2(x, y)}{w_1(x, y) + w_2(x, y)} = \frac{w_1 f_1 + w_2 f_2}{w_1 + w_2} \quad (4.13)$$

$$O_i^5 = f(x, y) = \sum_i \bar{w}_i f_i = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 = \frac{\sum_i \bar{w}_i f_i}{\sum_i \bar{w}_i} \quad (4.14)$$

Bu algoritmalar için ayrıntıları ve matematiksel arka planı Nayak vd. [166] ve Jang ve vd. [174] in bulabilirsiniz.

Her katman bir nöro-bulanık sistem bileşeni olan ANFİS'in bir ileri beslemeli sinir ağı yapısı vardır [174]. ANFİS eğitim verilerini öğrenme ve genelleme yeteneğine sahiptir [175]. ANFİS'in en güçlü yanı dilsel kavramları ele almak ve giriş-çıkışları arasında doğrusal olmayan ilişkileri bulmak için yeteneğinin olmasıdır [176]. ANFİS etkili otomatik bulanık kural üretimi ve parametre optimizasyonu için YSA öğrenme yeteneği kullanmaktadır. Bunu yaparak, üyelik fonksiyonu parametreleri ve bulanık if-then kuralları tasarımı tanımlayıp, bulanık sistem tasarımı temel sorunlarını ortadan kaldırır [168],[177].

ANFİS, ele alınan problem için oluşturulan yapıya göre olası tüm kuralları atayabilmekte veya kuralları veriler yardımıyla uzmanlar tarafından atanmasına imkan vermektedir. ANFİS'in kural oluşturabilmesi veya kural oluşturulmasına imkan sağlaması uzman görüşlerinden faydalanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle birçok tahmin probleminde yapay sinir ağlarına uzman görüşlerinden faydalanma imkanı tanıdığı için ortalama hata kareler (MSE) kriterine göre daha iyi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. ANFIS modelin temel akış diyagramı Şekil 4.4'te verilmiştir.

ANFİS, genel olarak üyelik fonksiyonlarının optimize dağılımını belirlemek için girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi belirlemek için iki öğrenme yöntemi kullanır. Bu öğrenme yöntemleri propagation ve hybrid dir. Hibrid sistem propagation ve en küçük kareler metodlarının bir kombinasyonudur [178]. Melez öğrenme algoritması, ileri besleme ve geri besleme olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. İleri beslemede, giriş parametreleri sabit alınarak sonuç parametrelerinin değerleri en küçük kareler yöntemi ile hesaplanırken, geri beslemede ise sonuç parametreleri sabit alınarak giriş parametreleri geri yayımlı öğrenme algoritması ile hesaplanmaktadır [179]. Üyelik fonksiyonları ile ilişkili parametreler öğrenme süreci boyunca değişir. Gradyan vektörü bu parametrelerin hesaplanmasını kolaylaştırır [180].

Modelin performansının değerlendirilmesi için bazı istatistiksel parametreler kullanılmaktadır. Bu istatistiksel parametreler; Ortalama karesel hata (MSE), Toplam Hatalar Karesi (SSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE), korelasyon katsayısı (R) ve olasılık (P). Bunlardan bazıları aşağıda ortaya konulmuştur.

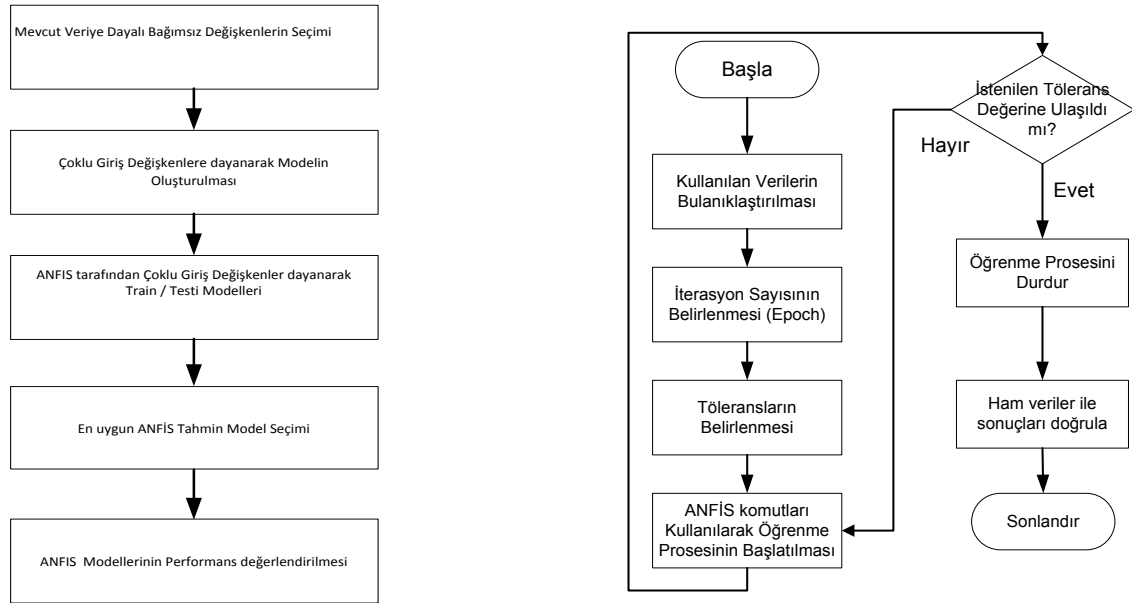
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (Z_s - Z_0)^2 \quad (4.15)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_s - Z_0| \quad (4.16)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Z_s - \bar{Z}_0)^2 \quad (4.17)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Z_s - Z_0}{Z_s} \right| \quad (4.18)$$

Z_s gerçek değer, Z_0 tahmini değer, $\bar{Z}_0$ tahmin edilen değerlerin ortalaması ve n tahmin sayısını “tahmin edilen dönme sayısı” Bu parametreler gerçek ve tahmini değerler arasındaki uyumun değerlendirilmesini ortaya koyar.



a) ANFIS tahmin sistem sürecinin akış şeması.

b) ANFIS akış şeması.

Şekil 4.5 Tahmin sisteminin genel yapısı

Bu çalışma da takip edilen süreç Şekil 4.5’te ortaya konulmuştur.

4.3 Karar verme Yöntemleri

4.3.1 Analitik Hiyerarşi Proses

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir. AHP’nin temel avantajlarından biri, çok sayıda kriterle başa çıkabilmenin diğer metotlara göre daha

kolay olmasıdır. AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977 de ise Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir. Saat ve Mesiha [181] AHP, bir problemi küçük parçalara ayırır, ikili karşılaştırmalara tabi tutar, her hiyerarşi için öncelikleri belirler ve böylece belli bir mantıksal süreci düzenler. Bu özelliklerinden dolayı AHP seçim ve değerlendirme problemlerinde, birçok yazar tarafından kullanılmıştır [182],[183],[184].

Bir karar verme probleminin AHP ile çözümlenebilmesi için gerçekleştirilmesi gereken adımlar ve hesaplamalar aşağıda tanımlanmıştır [182].

Adım 1: Karar verme problemi tanımlanır.

Karar verme problemleri iki aşamada tanımlanır. Birinci aşama karar noktalarının belirlenmesi, ikinci aşama ise karar noktalarını etkileyen criterler belirlenir. Karar noktalarının sayısı m , karar noktalarını etkileyen criteer sayısı ise n ile gösterilmiştir.

Adım 2: Criterler arası karşılaştırma matrisi oluşturulur.

Criterler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Bu matrisin köşegeni üzerindeki matris bileşenleri 1 değerini alır. Karşılaştırma matrisi aşağıda gösterildiği gibi dir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani $i = j$ olduğunda, 1 değerini alır. Çünkü bu durumda ilgili criteer kendisi ile karşılaştırılmaktadır. Criterlerin karşılaştırılması, birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre birebir ve karşılıklı yapılır.

Adım 3: Faktörlerin Yüzde Önem Dağılımları Belirlenir

Faktörlerin bütün içerisindeki ağırlıklarını, diğer bir deyişle yüzde önem dağılımlarını belirlemek için, karşılaştırma matrisini oluşturan sütun vektörlerinden yararlanılır ve n

a_{ij} adet ve n bileşenli B sütun vektörü hesaplanmasında (4.20) eşitliğinden yararlanılarak aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (4.20)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Belirlenmiş bu adımlar diğer değerlendirme kriterleri içinde tekrarlandığında kriter sayısı kadar B sütun vektörü elde edilir. n adet B sütun vektörü, bir matris formatında bir araya getirildiğinde ise aşağıda gösterilen C matrisi oluşturulmuş olur.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

C matrisinden kriterlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilir. Bunun için (4.23) eşitliğinde gösterildiği gibi C matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve *öncelik vektörü* olarak adlandırılan W sütun vektörü oluşturulur.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4.23)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

Adım 4: Criter Kıyaslamalarındaki Tutarlılık Ölçülür

AHP, CR hesaplaması, criter sayısı ile *temel değer* adı verilen (λ) katsayısının karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. λ 'nın hesaplanması için öncelikle A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından D sütun vektörü elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

Bulunan D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden (Eşitlik 4.26) her bir değerlendirme criterionine ilişkin temel değer (E) elde edilir. Bu değerlerin aritmetik ortalaması (4.27) eşitliğinden yararlanılarak karşılaştırmaya ilişkin temel değer (λ) hesaplanır.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (4.26)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (4.27)$$

λ hesaplandıktan sonra *tutarlılık göstergesi* (**CI**), (4.28)'eşitliğinden yararlanarak hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.28)$$

Son aşamada ise CI, *random gösterge* (**RI**) olarak adlandırılan ve Çizelge 2.2' de gösterilen standart düzeltme değerine bölünerek (4.29) eşitliğinden yararlanılarak CR hesaplanır. Çizelge 2.2' den de criter sayısına karşılık gelen değer seçilir.

Çizelge 4.1 Random gösterge (RI) değerleri

N	RI	N	RI
1	0	9	1.45
2	0	10	1.49
3	0.58	11	1.51
4	0.90	12	1.54
5	1.12	13	1.56
6	1.24	14	1.57
7	1.32	15	1.59
8	1.41		

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.29)$$

Hesaplanan CR değeri 0.10'dan küçük olması karar vericinin yaptığı anketlerin tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.10'dan büyük olması durumunda, AHP' de yapılan bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir.

Adım 5: Her bir criteer için, m karar noktasındaki yüzde önem dağılımları bulunur.

Her bir karşılaştırma işleminden sonra $m \times 1$ boyutlu ve değerlendirilen criteerlerin karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını veren S sütun vektörü oluşturulur:

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{m1} \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

Adım 6: Karar noktalarındaki sonuç dağılımının bulunması.

Yukarıda anlatılan n tane $m \times 1$ boyutlu S sütun vektöründen oluşturulan ve $m \times n$ boyutlu K karar matrisi oluşturulur:

$$K = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

Sonuçta karar matrisi W öncelik vektörü ile çarpıldığında m elemanlı L sütun vektörü elde edilir. L sütun vektörü karar noktalarının yüzde dağılımını ifade eder. Diğer bir deyişle vektör elemanlarının toplamı 1 eder. Bu dağılım aynı zamanda karar noktalarının önem sırasını da göstermiş olur.

$$L = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} \\ l_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ l_{m1} \end{bmatrix} \quad (4.32)$$

4.3.2 TOPSIS metodu

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) metodu ilk olarak Hwang and Yoon [185] tarafından ortaya atılmıştır. Bu metodun önde gelen özelliği seçilen alternatiflerin pozitif ideal çözümlere uzaklığının en yakın olması ve aynı zamanda negative ideal sonuçlarada olan uzaklığının en uzak olmasıdır [186]. Fuzzy Topsis metodu, kriterlerin ağırlıklandırılması ve alternatiflerin karşılaştırılmasında fuzzy sayılar denilen dilsel değişkenlerin kullanılmasıyla geleneksel TOPSIS metodu içerisindeki eksiklerin ortadan kaldırılması ya da minimize edilmesi amaçlanarak ortaya çıkmıştır [79].

Bu çalışma, Chen ve vd. [79] tarafından önerilen TOPSIS'in bir uzantısını ele almaktadır. Önerilen metodoloji altı adımı içerir;

Adım 1: bir değerlendirici komitesi belirlenir: Tüm değerlendiricilerin kararları oluşturulur, $D_k = (k = 1, 2, \dots, K)$, bu değerlendirmeler sayılar cinsinden gösterilir yada oluşturulur.

Adım 2: Kriter değerlendirmesi yapılır.

Adım 3: Alternatif ve kriterlerin değerlendirilmesi için uygun dilsel değişkenler belirlenir.

Adım 4: Karar matrisinin normalize edilmesi: Karar matrisinin oluşturulması için normalize vektörü kullanılır. Vector normalizasyonu aşağıdaki eşitlik kullanılarak oluşturulur;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^j}} \quad (4.33)$$

Adım 5: karar matrisinin ağırlıklandırılmasının hesaplanması: Her alternatif, kriter ağırlıkları ile çarpılır.

$$V_{ij} = w_{ij} r_{ij} \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, m \\ j = 1, \dots, n \end{matrix} \quad (4.34)$$

Adım 6: Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümlerin ortaya konulması: Bu adımda A^* ve A^- Pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözümler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_j^*, \dots, V_n^*\} = \left\{ \left[\max_i V_{ij} / j \in J_1 \right], \left[\min_i V_{ij} / j \in J_2 \right], / i \in 1, \dots, m \right\} \quad (4.35)$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\} = \left\{ \left[\min_i V_{ij} / j \in J_1 \right], \left[\max_i V_{ij} / j \in J_2 \right], i \in 1, \dots, m \right\} \quad (4.36)$$

Adım 7: Uzaklıkların hesaplanması: Uzaklıkların ortaya koyulabilmesi, pozitif ideal çözümlere ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkların ölçülmesi sonucunda ulaşılır. Alternatiflerin birbirine olan uzaklıkları öklid ilişkisine bakılarak hesaplanır.

Pozitif ideal çözüme olan uzaklık:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (4.37)$$

Negatif ideal çözüme olan uzaklık:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (4.38)$$

Adım 8: pozitif ideal sonuca olan yakınlığın hesaplanması

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)} \quad (4.39)$$

Adım 9: Tercih sırasının belirlenmesi: Sonuç olarak, en iyi alternatif en yüksek C_i^* değeri olarak hesaplanır.

4.3.3 Tip-2 Bulanık Kümeler

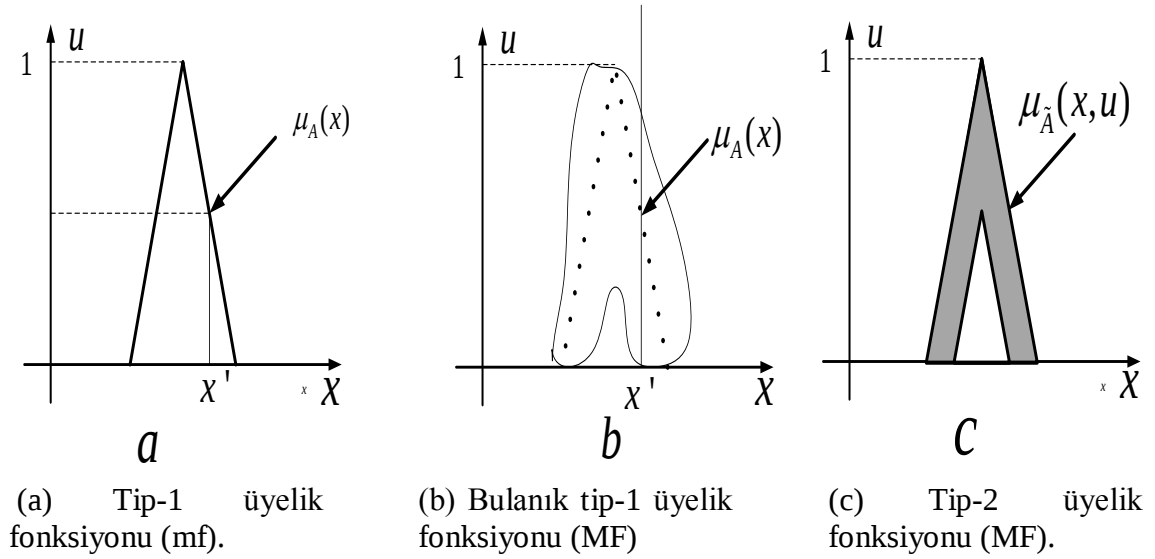
Karar verme sürecinde, sosyo-ekonomik çevrenin giderek artan karmaşıklığı ve insan düşüncesinin içkin öznel doğasının belirsizliğinden ötürü nitelik değerlerine ilişkin bilgi, genellikle muğlak veya bulanıktır. Bu gerçek, pek çok araştırmacının karar süreçlerindeki belirsizlik ve muğlaklığı modellemek için bulanık küme (Fuzzy Set - FS) kuramının uygulanmasına yol açmıştır [187], [188].

Bazı bulanık çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri, tip-1 bulanık kümelerle dayalı olarak önerilmiştir. Tip-2 bulanık kümeler, tip-1 bulanık kümelerden daha fazla belirsizlik içerir. Bunlar, gerçek dünyanın belirsizliğini ve bulanıklığını temsil etmek için bize daha fazla serbestlik derecesi sağlar. Tip-2 bulanık kümeler, tip-1 bulanık kümelerin bir uzantısı olarak görülebilir. Değerlendirme değerlerini ve niteliklerin ağırlıklarını temsil etmek için geleneksel tip-1 bulanık kümeler yerine tip-2 aralıklı bulanık kümeler kullanıldığından tip-2 bulanık kümeler, bulanık çok kriterli karar verme sorunlarının daha esnek ve zeki bir biçimde problem çözümüne yönelik bize yararlı bir yöntem sunarlar [189], [190].

Birincil ve ikincil üyelik ile nitelenen tip-2 bulanık kümeler, tip-1 bulanık kümelerin bir uzantısıdır [191]. Literatürde, tip-2 bulanık kümelerle ilişkin bazı makaleler bulunabilir. Chen ve Lee [192], TOPSIS'e dayalı grup kararı verme sorunlarının üstesinden gelme amacını taşıyan ideal bir çözüme (TOPSIS) yakın bir öncelik sıralaması için tip-2 aralıklı bir bulanık teknik önermiştir. Vahdani ve Hadipour [190], bir bakım stratejisi seçimini içeren bir sorunu çözmek için tip-2 aralıklı bulanık kümelerle dayalı bir ELECTRE yöntemi önermişlerdir. Chen [193], çok kriterli karar verme MCDM yöntemindeki kriterlerin önemini kestirmek ve tip-2 aralıklı bulanık kümelerle dayalı karar verme süreçlerindeki hoşgörü önyargısını azaltmak için yararlı bir yöntem önermiştir. Chen [194], hem iyimser hem de kötümser tahminlerin büyüklüğünü belirlemek için tip-2 aralıklı bulanık nokta operatörlerine dayalı bir skor etkinliği kullandı ve tip-2 aralıklı bulanık kümelerle dayalı bilişsel uyumsuzluğu azaltmak için bir model geliştirmiştir. Chen [195], tamamlanmamış ağırlık altında ara değerli genelleştirilmiş bulanık sayılardan oluşan çok kriterli bir karar verme (MCDM) yöntemi önerdi. Wang vd. [187], sıralama değerlerine ve tip-2 aralıklı bulanık kümelerin aritmetik işlemlerine dayalı çok kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri önerdiler. Chen vd. [196] de tip-2 aralıklı bulanık kümelerin sıralanmasına dayalı çok nitelikli grup kararı verme sorunlarını ele almak için bir yöntem geliştirdiler. Chen [197],

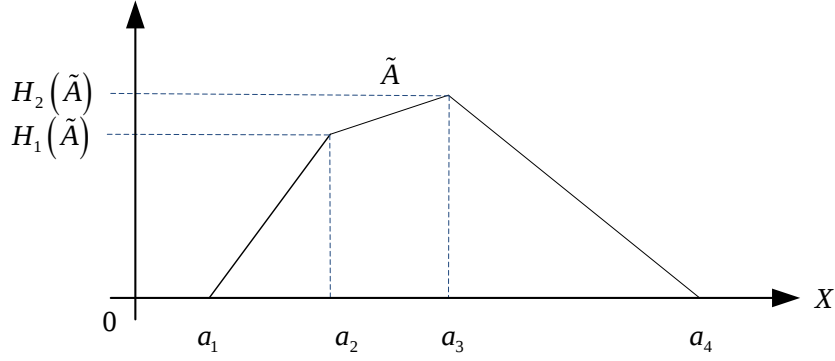
kriterlerin hedeflenen öneminin saptanması ve tip-2 aralıklı bulanık kümelerle dayalı çok kriterli grup kararı verme sorunlarının üstesinden gelmek için yeni bir yöntem önermiştir.

Tip-2 bulanık kümelerin temel kavram ve işlemleri aşağıda sunulmakta ve tip-2 bulanık kümeler ile tip-2 aralıklı bulanık kümelerin bazı tanımları kısaca incelenmektedir. Üçgenin üzerindeki noktaların Şekil 4.6(b)'de olduğu gibi aynı oranda olma zorunluluğu taşımaksızın sola ya da sağa doğru kaydırılarak tip-1 üyelik fonksiyonunun bulanıklaştırılması Şekil 4.6(a)'da gösterilmektedir. Sonra, “ x ”in belirli bir değerinde sözgelimi “ x' ”de üyelik fonksiyonu için artık tek bir değer yoktur. Bunun yerine, üyelik fonksiyonu dikey çizginin bulanıklık ile kesiştiği yerde değer kazanır. Bu değerlerin hepsinin aynı biçimde ağırlıklandırılması gerekmez. Dolayısıyla bu noktaların hepsine bir genişlik dağılımı verebiliriz. Bunu tüm $x \in X$ 'lere uygulayarak bir tip-2 bulanık kümeyi niteleyen üç yönlü bir üyelik fonksiyonu– bir tip-2 üyelik fonksiyonu yaratırız [198].



Şekil 4.6 Tip-1ve Tip-2 üyelik fonksiyonları [199].

$\tilde{A}$ Şekil 4.7'de gösterildiği gibi ikizkenar yamuk biçimli tip-1 bulanık küme $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3, a_4; H_1(A), H_2(A))$ olsun. $H_1(A)$, a_2 elemanının üyelik değerini, $H_2(A)$ ise a_3 elemanının üyelik değerini ifade eder. Buna göre $0 \leq H_1(A) \leq 1$ ve $0 \leq H_2(A) \leq 1$ 'dir. Eğer $a_2 = a_3$ ise tip-2 bulanık küme $\tilde{A}$ üçgen biçimli tip-1 bulanık küme olur [175].



Şekil 4.7 İkizkenar yamuk biçimli tip-1 bulanık küme [199].

Tanım 4.1 X söylem evrenindeki tip-2 bulanık küme $\tilde{\tilde{A}}$ aşağıda gösterildiği gibi tip-2 üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$ ile temsil edilebilir [192], [198], [200], [20]:

$$\tilde{\tilde{A}} = \{((x, u), \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1], 0 \leq \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) \leq 1\}$$

Burada $0 \leq \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) \leq 1$ ve $J_x [0, 1]$ 'deki bir aralığı ifade eder. Ayrıca, tip-2 bulanık küme $\tilde{\tilde{A}}$ şu şekilde de temsil edilebilir:

$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) / (x, u) = \int_{x \in X} \left[\int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) / u \right] / x$$

Burada, $J_x \subseteq [0, 1]$ ve $\iint$ tüm geçerli x ve u üzerindeki birleşmeyi ifade eder. Buna göre, x birincil değişken; $J_x \subseteq [0, 1]$, x 'in birincil üyeliği; u , ikincil değişken ve $\int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) / u$ ise x 'deki ikincil üyelik fonksiyonudur (MF). $\iint$ tüm geçerli x ve u üzerindeki birleşmeyi ifade eder. Ayrı söylem evrenleri için $\int$ 'nin yerine $\sum$ geçer.

Tanım 4.2 $\tilde{\tilde{A}}$, tip-2 üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$ ile temsil edilen X söylem evrenindeki bir tip-2 bulanık küme olsun. Eğer tüm $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) = 1$ ise $\tilde{\tilde{A}}$ 'ye tip-2 aralıklı bir bulanık küme denir. Bir tip-2 bulanık küme olan $\tilde{\tilde{A}}$ aşağıdaki gibi gösterilen özel bir tip-2 bulanık küme türü olarak görülebilir [187], [192], [198], [201].

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1/(x, u) = \int_{x \in X} \left[\int_{u \in J_x} 1/u \right] / x$$

Burada, x birincil değişken; $J_x \subseteq [0, 1]$, x 'in birincil üyeliği; u ikincil değişken ve $\int_{u \in J_x} 1/u$ ise x 'deki ikincil üyelik fonksiyonudur.

Tanım 4.3 Bu makalede, tip-2 aralıklı bulanık kümelerin referans noktalarının ve üst ve alt üyelik fonksiyonlarının büyüklüklerinin tip-2 aralıklı bulanık kümeleri nitellemek için kullanıldığı bulanık çok kriterli karar verme sorunlarının üstesinden gelmek amacıyla tip-2 aralıklı bulanık kümeleri kullanmak için bir yöntem sunuyoruz. Bir tip-2 aralıklı bulanık kümenin üst üyelik fonksiyonu ve alt üyelik fonksiyonu, tip-1 üyelik fonksiyonunu gösterir. Bu durum, aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = \left((a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{A}_i^U), H_2(\tilde{A}_i^U)), (a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{A}_i^L), H_2(\tilde{A}_i^L)) \right)$$

Burada $\tilde{A}_i^U$ ve $\tilde{A}_i^L$ tip-1 bulanık kümeler; $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L$ ve a_{i4}^L ise tip-2 aralıklı $\tilde{A}_i$ 'nin referans noktalarıdır. $H_j(\tilde{A}_i^U)$, üst ikizkenar yamuk biçimli üyelik fonksiyonu olan $\tilde{A}_i^U$ 'daki $a_{i(j+1)}^U$ elemanının üyelik değerini ifade eder. $H_j(\tilde{A}_i^L)$ ise alt ikizkenar yamuk biçimli üyelik fonksiyonu olan $\tilde{A}_i^L$ 'daki $a_{i(j+1)}^L$ elemanının üyelik değerini ifade eder. Buna göre, $1 \leq j \leq 2$, $H_j(\tilde{A}_i^L)$ [187], [192], [198].

Tanım 4.4 İkizkenar yamuk biçimli tip-2 aralıklı bir bulanık küme olan $\tilde{A}_i$ sıralama değeri olan $Rank(\tilde{A}_i)$ şu şekilde tanımlanır [192], [201], [203].

$$\begin{aligned} Rank(\tilde{A}_i) &= M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) + M_2(\tilde{A}_i^L) + M_3(\tilde{A}_i^U) + M_3(\tilde{A}_i^L) \\ &- \frac{1}{4} (S_1(\tilde{A}_i^U) + S_1(\tilde{A}_i^L) + S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) + S_3(\tilde{A}_i^U) + S_3(\tilde{A}_i^L) + S_4(\tilde{A}_i^U) + S_4(\tilde{A}_i^L)) \\ &+ H_1(\tilde{A}_i^U) + H_1(\tilde{A}_i^L) + H_2(\tilde{A}_i^U) + H_2(\tilde{A}_i^L) \end{aligned}$$

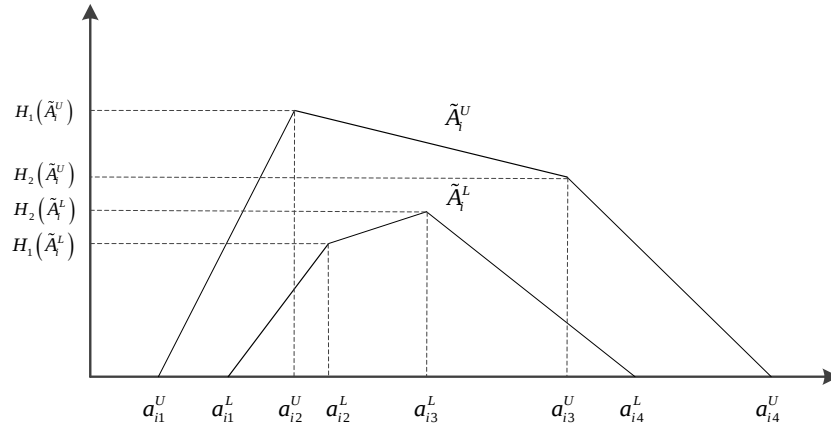
Burada $M_p(\tilde{A}_i^j)$, a_{ip}^j ve $a_{i(p+1)}^j$ elemanlarının ortalamasını;

$M_p(\tilde{A}_i^j) = (a_{ip}^j + a_{i(p+1)}^j) / 2, 1 \leq p \leq 3$, a_{iq}^j ve $a_{i(q+1)}^j$ elemanlarının standart sapmasını;

$$S_q(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} \left(a_{ik}^j - \frac{1}{2} \sum_{k=q}^{q+1} a_{ik}^j \right)^2}, 1 \leq q \leq 3, \quad S_4(\tilde{A}_i^j), \quad a_{i1}^j, a_{i2}^j, a_{i3}^j, a_{i4}^j \text{ elemanlarının}$$

$$\text{standart sapmasını; } S_4(\tilde{A}_i^j) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 \left(a_{ik}^j - \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 a_{ik}^j \right)^2} H_p(\tilde{A}_i^j), \text{ ikizkenar yamuk}$$

biçimli üyelik fonksiyonu olan $\tilde{A}_i^j, 1 \leq p \leq 3, j \in \{U, L\}$, ve $1 \leq i \leq n$. 'deki $a_{i(p+1)}^j$ elemanının üyelik değerini ifade eder ve Şekil 4.8 ise ikizkenar yamuk biçimli tip-2 aralıklı bir bulanık kümeyi gösterir.



Şekil 4.8 Tip-2 aralıklı bulanık küme $\tilde{A}$, 'nın ikizkenar yamuk biçimli üyelik fonksiyonu [202].

Tip-2 aralıklı bulanık küme üzerindeki tip-2 aralıklı bulanık küme $\tilde{A}$ işleminin ikizkenar yamuk biçimli üst üyelik fonksiyonu olan $\tilde{A}_1^U$ ve ikizkenar yamuk biçimli alt üyelik fonksiyonu olan $\tilde{A}_1^L$ aşağıdaki gibidir [187], [192], [198], [202]:

Toplama:

$$\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right)$$

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \\ \tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \oplus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \\ &= \left((a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, a_{14}^U + a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ &\quad \left. (a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \right)\end{aligned}$$

Çıkarma:

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{A}}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\ \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right) \\ \tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \ominus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \\ &= \left((a_{11}^U - a_{21}^U, a_{12}^U - a_{22}^U, a_{13}^U - a_{23}^U, a_{14}^U - a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), \right. \\ &\quad \left. (a_{11}^L - a_{21}^L, a_{12}^L - a_{22}^L, a_{13}^L - a_{23}^L, a_{14}^L - a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \right)\end{aligned}$$

Çarpma:

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{A}}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\ \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \left((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \right)\end{aligned}$$

Aritmetik işlem:

$$\begin{aligned}\tilde{\tilde{A}}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\ k\tilde{\tilde{A}}_1 &= \left((k \times a_{11}^U, k \times a_{12}^U, k \times a_{13}^U, k \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), \right. \\ &\quad \left. (k \times a_{11}^L, k \times a_{12}^L, k \times a_{13}^L, k \times a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \right) \\ \frac{\tilde{\tilde{A}}_1}{k} &= \left(\left(\frac{1}{k} \times a_{11}^U, \frac{1}{k} \times a_{12}^U, \frac{1}{k} \times a_{13}^U, \frac{1}{k} \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U) \right), \right. \\ &\quad \left. \left(\frac{1}{k} \times a_{11}^L, \frac{1}{k} \times a_{12}^L, \frac{1}{k} \times a_{13}^L, \frac{1}{k} \times a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L) \right) \right)\end{aligned}$$

Burada $k > 0$.

4.3.4 Tip-2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreç Metodolojisi

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), gerçek yaşamdaki yapılandırılmamış sorunların modellenmesi için yaygın biçimde kullanılan karar vermeye yönelik bir analiz aracıdır. Bir hedef kümesi için ikili karşılaştırma değerlerine dayanan AHP, tercihleri gösteren benzer bir öncelik vektörünü ortaya çıkarmak için uygulanır. Tahminleri puanlamak için sayısal tercihleri saptamanın zorluğundan ötürü belirli bir ölçüde belirsizlik, bir AHP sorunundaki ikili karşılaştırma değerlerinin bazıları ya da tümüyle özdeşleşecektir. Söz konusu belirsizlikler içerisinde ikili karşılaştırmayla oluşturulan bir öncelik vektörü, bir bulanık AHP sorunudur. Bulanık AHP yönteminin ilk görevi, aynı hiyerarşideki her bir etken çiftinin göreceli önemine ilişkin karar vermektir [204], [205].

Bu makalede, kriterlerin ağırlık matrisini saptamak amacıyla tip-2 aralıklı bulanık kümelere dayalı bulanık çok kriterli karar verme (MCDM) sorunlarının üstesinden gelmek için AHP yöntemini geliştirilmiştir. Tip-2 aralıklı bulanık kümelere dayalı bulanık AHP aşamaları kısaca aşağıdaki gibidir [187], [206], [203]:

Aşama 1: Hiyerarşik yapı içindeki tüm kriterler arasında tip-2 aralıklı bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

$$\tilde{M} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (4.40)$$

Burada,

$$1/\tilde{a}_{ij} = \left(\left(\frac{1}{\tilde{a}_{ij4}^U}, \frac{1}{\tilde{a}_{ij3}^U}, \frac{1}{\tilde{a}_{ij2}^U}, \frac{1}{\tilde{a}_{ij1}^U}; H_1(\tilde{a}_{ij}^U), H_2(\tilde{a}_{ij}^U) \right), \left(\frac{1}{\tilde{a}_{ij4}^L}, \frac{1}{\tilde{a}_{ij3}^L}, \frac{1}{\tilde{a}_{ij2}^L}, \frac{1}{\tilde{a}_{ij1}^L}; H_1(\tilde{a}_{ij}^L), H_2(\tilde{a}_{ij}^L) \right) \right)$$

Aşama 2: Bulanık geometrik ortalamayı bulmak için geometrik ortalama tekniği aşağıdaki gibi kullanılır:

$$\tilde{r}_i = \left(\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \cdots \otimes \tilde{a}_{in} \right)^{1/n} \quad (4.41)$$

burada

$$\sqrt[n]{\tilde{a}_{i1}} = \left(\left(\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^U}; H_1(\tilde{a}_{ij}^U), H_2(\tilde{a}_{ij}^U) \right), \left(\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^L}; H_1(\tilde{a}_{ij}^L), H_2(\tilde{a}_{ij}^L) \right) \right)$$

Aşama 3: Her bir kriterin tip-2 aralıklı bulanık ağırlığı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes \left(\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n \right)^{-1} \quad (4.42)$$

4.3.5 Tip-2 Bulanık TOPSIS Metodolojisi

TOPSIS yöntemi, ideal bir çözüme yakın bir öncelik sıralaması için kullanılan bir tekniktir. TOPSIS yöntemi, MCDM ilişkin popüler bir yaklaşım olup literatürde yaygın bir biçimde uygulanagelmıştır. Bulanık bir TOPSIS yöntemi, karar verme sorununda ilişkin olan belirsizlik ile başa çıkmaya olanak sağlar. Bu makalede, ayrıca, tip-2 aralıklı bulanık kümelerle dayalı MCDM sorunlarını aşmak için geliştirdiğimiz TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin aşamaları aşağıdaki gibidir [192]:

Aşama 1: p^{th} karar vericisinin Y_p karar matrisi ve $\bar{Y}$ ortalama karar matrisi sırasıyla aşağıda gösterildiği gibi oluşturulur.

$$Y_p = (\tilde{f}_{ij}^p)_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11}^p & \tilde{f}_{12}^p & \dots & \tilde{f}_{1n}^p \\ \tilde{f}_{21}^p & \tilde{f}_{22}^p & \dots & \tilde{f}_{2n}^p \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{f}_{m1}^p & \tilde{f}_{m2}^p & \dots & \tilde{f}_{mn}^p \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.43)$$

$$\bar{Y} = (\tilde{f}_{ij})_{m \times n}$$

Burada

$$\tilde{f}_{ij} = \left(\frac{\tilde{f}_{ij}^1 \oplus \tilde{f}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{f}_{ij}^k}{k} \right), \tilde{f}_{ij}, \quad \text{tip-2 aralıklı bir bulanık kümedir;}$$

$1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, 1 \leq p \leq k$ ve k ise karar vericilerin sayısını ifade eder.

Aşama 2: p^{th} karar vericisinin niteliklerinin W_p ağırlıklandırma matrisi ve $\bar{W}$ ortalama ağırlıklandırma matrisi sırasıyla aşağıdaki gibi oluşturulur:

$$W_p = (\tilde{w}_i^p)_{1 \times m} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1^p & \tilde{w}_2^p & \dots & \tilde{w}_m^p \end{bmatrix} \quad (4.44)$$

$$\bar{W} = (\tilde{w}_i)_{1 \times m}$$

Burada $\tilde{w}_i = \left(\frac{\tilde{w}_i^1 \oplus \tilde{w}_i^2 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_i^k}{k} \right), \tilde{w}_i$, tip-2 aralıklı bir bulanık kümedir;

$1 \leq i \leq m, 1 \leq p \leq k$ ve k ise ise karar vericilerin sayısını ifade eder.

Bu makalede, kriterlerin ağırlığı tip-2 aralıklı bulanık AHP kullanılarak saptanmıştır.

Aşama 3: Ağırlıklandırılmış karar matrisi (olan) $\bar{Y}_w$ oluşturulur.

$$\bar{Y}_w = (\tilde{v}_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \dots & \tilde{v}_{1n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} f_1 \\ f_2 \\ \dots \\ f_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \dots & \tilde{v}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} & \dots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.45)$$

Burada $\tilde{v}_{ij} = \tilde{w}_i \otimes \tilde{f}_{ij}, 1 \leq i \leq m$ ve $1 \leq j \leq n$

Aşama 4: Tanım 4 esas alınarak, $1 \leq j \leq n$ olduğu tip-2 aralıklı bulanık küme $\tilde{v}_{ij}$ 'nin sıralama değeri olan $\tilde{v}_{ij}$ hesaplanır. Sıralamaya göre sıralanmış karar matrisi ağırlıkları olan $\bar{Y}_w^*$ oluşturulur.

$$\bar{Y}_w^* = (Rank(\tilde{v}_{ij}))_{m \times n} \quad (4.46)$$

Burada $1 \leq i \leq m$ ve $1 \leq j \leq n$

Aşama 5: Pozitif ideal çözüm olan $x^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+)$ ve negatif ideal çözüm olan $x^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-)$ bulunur.

Burada

$$v_i^+ = \begin{cases} \max_{1 \leq j \leq n} \{Rank(\tilde{v}_{ij})\}, & \text{if } f_i \in F_1 \\ \min_{1 \leq j \leq n} \{Rank(\tilde{v}_{ij})\}, & \text{if } f_i \in F_2 \end{cases} \quad (4.47)$$

$$v_i^- = \begin{cases} \min_{1 \leq j \leq n} \{Rank(\tilde{v}_{ij})\}, & \text{if } f_i \in F_1 \\ \max_{1 \leq j \leq n} \{Rank(\tilde{v}_{ij})\}, & \text{if } f_i \in F_2 \end{cases} \quad (4.48)$$

Burada F_1 , fayda nitelikleri kümesini, F_2 ise zarar nitelikleri kümesini ifade eder ve $1 \leq i \leq m$ 'dir.

Aşama 6: Her bir alternatif x_j ile pozitif ideal çözüm x^+ arasındaki $d^+(x_j)$ uzaklığı aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

$$d^+(x_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Rank(\tilde{v}_{ij}) - v_i^+)^2} \quad (4.49)$$

Burada $1 \leq j \leq n$ 'dir. Her bir alternatif x_j ile negatif ideal çözüm x^- arasındaki $d^-(x_j)$ uzaklığı aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

$$d^-(x_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (Rank(\tilde{v}_{ij}) - v_i^-)^2} \quad (4.50)$$

Burada $1 \leq j \leq n$.

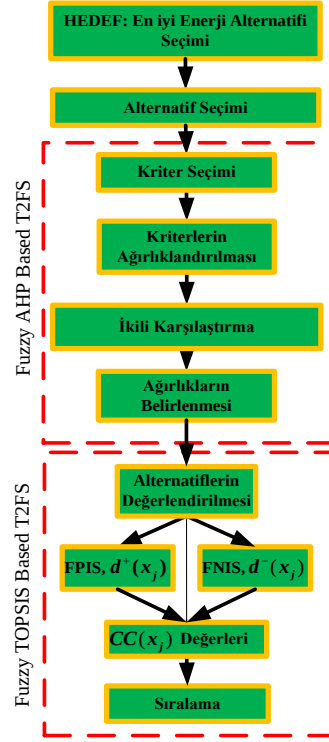
Aşama 7: x_j 'nin, x^+ pozitif ve negatif ideal çözümüne göre göreceli yakınlık derecesi olan $CC(x_j)$ aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır:

$$CC(x_j) = \frac{d^-(x_j)}{d^-(x_j) + d^+(x_j)} \quad (4.51)$$

Burada $1 \leq j \leq n$.

Aşama 8: $CC(x_j)$ 'nin değerleri, $1 \leq j \leq n$ olduğu küçükten büyüğe doğru bir sırayla sıralanır. $CC(x_j)$ 'in değeri büyüdükçe, alternatiflerin x_j tercih edilme dereceleri artar ve burada $1 \leq j \leq n$ 'dir.

Önerilen bulanık metodoloji:



Şekil 4.9 Önerilen tip-2 aralıklı bulanık AHP-TOPSIS hibrit metodoloji

Bu makalede, TOPSIS ve AHP'ye dayalı bulanık MCDM metodolojisi tip-2 bulanık kümelerle geliştirilmiştir. Önerilen metodolojinin çerçevesi Şekil 4.9'da gösterilmektedir. İlk aşamada literatür incelemesi sonucu kriterler belirlenmiştir. Uzman kararlarına göre kriterlerin ağırlıkları ve Türkiye için en iyi enerji kaynağı alternatifi belirlenmiştir.

ÖNERİLEN MODELİN TÜRKİYE ENERJİ PLANLAMASINDA UYGULANMASI

5.1 Problemin tanımlanması

Enerji, yaşamın her aşamasında olduğu gibi ülkelerin gelişmişlik düzeyini de etkileyen ekonominin önemli girdilerinden biridir. Bu güne kadar yapılan çalışmalar, ülkelerin artan enerji talepleri ve buna karşılık azalan enerji kaynaklarının etkili ve verimli kullanılamamasının altında yatan nedenin, enerji yatırımlarının zamanında ve ülke geneline dengeli bir şekilde dağıtılmamış olmasından kaynaklandığı ortaya konulmaktadır.

Türkiye'nin de pek çok enerji kaynağına sahip olmasına karşın bu kaynaklar şimdiye değin yeterince kullanılmamıştır. Geçmişte olduğu gibi bugün de enerji konusunda büyük oranda dışarıya bağımlı olan Türkiye enerji talebinin yaklaşık olarak üçte birini sadece yerli üretimden karşılamaktadır. Fosil yakıt enerjisinin giderek azalmasından ötürü Türkiye, gelecek birkaç on yıl içinde büyük olasılıkla enerji sıkıntısı, enerji güvencesizliği ve yüksek enerji fiyatları gibi sorunlarla karşı karşıya kalacaktır. Dahası, Türkiye'nin fosil yakıt tüketimine olan bağımlılığı, küresel ısınmayı hızlandırıp yerli çevre kalitesini düşürecektir. Bu nedenlerle, sağlıklı bir enerji politikasının oluşturulabilmesi için Türkiye'nin enerji alt yapısının bilinmesi, geleceğe yönelik perspektiflerin oluşturulması ve mevcut enerji kaynaklarının ülke için hangisinin daha verimli olduğunun bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere tüm enerji kaynaklarını belirli bir politika çerçevesinde planlanması gerekmektedir. Bu kaynakların işletilmesi için gerekli teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanımını yaygınlaştırılması sağlanarak ülkenin sürdürülebilir ekonomik kalkınmasında yaşamsal bir önem taşıyacaktır. Bu çalışmada ortaya konulan sonuçlar, mevcut politikaların ve geleceğe yönelik perspektifleri ortaya

koyarak; ulusal boyutta tutarlı, günün koşullarına uygun yeni enerji politikaları üretebilme imkânı sunmaktır. Bu doğrultuda:

- Türkiye’de mevcut enerji kaynakları konusunda inceleme gerçekleştirmek,
- Mevcut enerji kapasitesinin tespit edilmesi, ihtiyaçların belirlenmesi, kapasite doğrultusunda yatırımların yönlendirilmesi sağlanarak ülke geneline dengeli enerji dağılımının sağlanması ve gelecek için bir perspektif oluşturmak.
- Türkiye’nin mevcut yapısına göre gelişmişliği yansıtan; seçilmiş sosyal ve ekonomik göstergeler ile ülkenin enerji yapısını yansıtan göstergeler kullanarak, Türkiye’nin enerji üretim ve tüketim durumlarına göre farklılaşmayı tespit etmek ve enerji tüketimlerine göre Türkiye’nin Enerji durumunun bütünsel bir bakış açısıyla değerlendirmek.
- Türkiye’nin potansiyelinin ortaya çıkartılmasıyla, gelişmeyi hızlandırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla Türkiye’nin önündeki 20-25 yıl için enerji gereksiniminin ortaya çıkarılması doğrultusunda yapay zeka yöntemlerinden olan ANFİS metodu kullanılarak enerji talep tahmini gerçekleştirmek ve gerçek talebin ne olabileceğini belirlemek.
- Gerçekleşmesi beklenen talep tahminlerini karşılamak için Türkiye’nin genel enerji alternatiflerinin ortaya konulması ve en iyi alternatifin veya alternatiflerin Tip-2 aralıklı bulanık kümeler yöntemine dayalı bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi kullanılarak tutarlı stratejilerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

5.2 Temel Bileşenler Analizi ile Veri Analizi

Bu çalışmada kullanılan değişkenlerin optimal sayıda olmasını sağlayacak fazla sayıda değişkenleri analiz etmeyi ve bu değişkenlerin temelinde yatan ortak boyutları açıklamak için Temel Bileşenler Analizi (TBA) yapılmaktadır. Bu yöntem ile özetleyici uygun bilgi elde edilecektir. Enerji tüketimi üzerinde değişkenlerin etkisi analiz edilecektir. Bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişki ortaya koyulmaya çalışılarak araştırılacaktır.

Bu çalışmada talep tahmini için kullanılacak değişkenler yapılan literatür taraması ve konuyla ilişkili uzmanlar ile yapılan görüşmeler yoluyla belirlenmiştir. Burada son on yılda yapılmış makaleler inceleme altına alınmış ve en çok kullanılan değişken çeşitleri

belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Çizelgede da anlaşılacağı gibi yapılan literatür taramasında otuz iki farklı kullanılabilir veri değişkeni tespit edilmiştir.

Veri değişkenlerinden GSYH 17 defa, nüfus 16 defa, ihracat miktarı ve ithalat miktarı 9 defa olmak üzere talep tahmininde en çok kullanılan dört değişken olduğu görülmektedir. Araç sayısı 4 defa ve elektrik tüketici sayısı da 3 defa kullanılmıştır. Yıllık ortalama Petrol fiyatı ve yıllık ortalama elektrik fiyatı değişkenleri de ikişer kez kullanılmıştır. Geri kalan 24 değişken ise birer kez kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Son on yılda talep tahmini için en çok kullanılan değişkenler

	REFERANSLAR																				Toplam
	208	209																			
GSYİH	208	209																			17
Nüfus	208		211		213	215	85	217	218	219	220	221									16
Kayıtlı Arac Sayısı	208						85	217	218												3
Şehirleşme Oranı		209																			1
Yolcu Ciro		209																			1
Nakliye Ciro		209																			1
Ulaşım Enerji Tüketim Miktarı		209																			1
Yan Sanayi			210																		1
GSMH			211																		1
Kömür Tüketimi				212																	1
Petrol Tüketimi				212																	1
Doğalgaz Tüketimi				212																	1
Yıl				212																	1
İthalat Miktarı					213			217		219	220	221									9
İhracat Miktarı					213			217		219	220	221									9
Ortalama Sıcaklık (Yıllık)					214																1
Kurulu Güç Kapasitesi					214																1
Konut Elektrik Tüketimi (Yıllık)					214																1
Enerji Tüketimi						215															1
Sektörel Elektrik Tüketimi							216														1
Elektrik Tüketici Sayısı							216						222								3
Petrol Fiyatı							85											228			2
Taşınan Yolu Sayısı							85														1
Konut Üretimi										219											1
Çimento Üretimi										219											1
Petrol Üretimi											220										1
Petrol İthalatı											220										1
Araç Sayısı																					1
Elektrik Fiyatı Ortalaması (Yıllık)																		226	227	228	4
Ekonomik Büyüme																					2
Toplam Kat Edilen Mesafe																			88		1
Elektrik Tüketim Miktarı (Yıllık)																			227		1
																					1

Çizelge 5.1’de belirlenen tüm değişkenlerin verilerine Türkiye’deki karşılıklarına ulaşamamıştır. Bu olumsuz durumdan dolayı Türkiye için yıllık verilerine ulaşılan Çizelge 5.2 de gösterilen değişkenler talep tahmini için kullanılacaktır. Bu değişkenler sırasıyla elektrik enerjisi tüketim miktarı, elektrik enerjisi üretim miktarı, ithalat miktarı, ihracat miktarı, birim başına enerji üretimi, dolar, altın fiyatı, GSYİH, petrol üretimi, petrol varil fiyatı, bina sayısı, ham petrol üretimi ve enerji kullanımı (KT Eşdeğer Petrol) dür. Belirlenen bu değişkenler ANFIS yaklaşımı için girdi değişkenleri olarak kullanılacaktır.

Çizelge 5.2 Talep tahmini için kullanılan TBA analiz verileri [230]

Yıl	Elektrik Enerjisi Tüketim Miktarı	Elektrik Enerjisi Üretim Miktarı	İthalat Miktarı	İhracat Miktarı	Birim Başına Enerji Üretimi	Dolar	Altın Fiyatı	GSYİH	Petrol Üretimi	Petrol Varıl Fiyatı	Bina Sayısı	Ham Demir Üretimi	Enerji Kullanımı (KT Eşdeğer Petrol)
1950	660,90	789,50	285.664,00	263.424,00	6.427,00	0,00	0,00	19,03	148.143,00	0,14	8.293,00	163.267,00	2.370,67
1951	746,30	887,90	402.086,00	314.082,00	6.650,00	0,00	0,00	22,86	159.971,00	0,31	8.413,00	163.267,00	3.157,01
1952	861,50	1.020,20	555.920,00	362.914,00	6.808,00	0,00	0,00	26,29	171.799,00	0,49	8.533,00	239.810,00	3.943,35
1953	995,90	1.200,80	532.533,00	396.061,00	7.389,00	0,00	0,00	30,63	183.627,00	0,66	8.653,00	163.267,00	4.729,68
1954	1.174,50	1.402,50	478.359,00	334.924,00	7.617,00	0,00	0,00	31,26	195.455,00	0,84	8.773,00	239.810,00	5.516,02
1955	1.327,40	1.579,80	497.637,00	313.346,00	7.820,00	0,00	0,00	37,59	207.283,00	1,02	8.893,00	163.267,00	6.302,36
1956	1.510,90	1.819,10	407.340,00	304.990,00	8.380,00	0,00	0,00	43,38	219.111,00	1,19	9.013,00	239.810,00	7.088,70
1957	1.720,80	2.056,70	397.125,00	345.217,00	8.936,00	0,00	0,00	57,68	230.939,00	1,37	9.133,00	316.353,00	7.875,03
1958	1.923,00	2.303,40	315.098,00	247.271,00	9.291,00	0,00	0,00	68,84	242.767,00	1,54	9.253,00	392.896,00	8.661,37
1959	2.129,10	2.587,30	469.982,00	353.799,00	9.458,00	0,00	0,00	86,04	254.595,00	1,72	9.373,00	469.439,00	9.447,71
1960	2.357,20	2.815,10	468.186,00	320.731,00	9.403,00	0,00	0,00	92,02	266.423,00	1,90	9.493,00	513.016,00	10.689,87
1961	2.544,20	3.011,10	507.205,00	346.740,00	9.642,00	0,00	0,00	97,60	278.945,00	2,07	9.613,00	469.439,00	10.849,82
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2001	97.070,00	122.724,70	41.399.083,00	31.334.216,00	24.577,00	1,45	10,79	240.224.083,05	16.209.761,00	22,70	86.155,00	32.017.175,00	70.401,70
2002	102.947,90	129.399,50	51.553.797,00	36.059.089,00	24.281,00	1,64	15,28	350.476.089,50	17.856.265,00	23,34	47.094,00	34.107.753,00	74.247,89
2003	111.766,10	140.580,50	69.339.692,00	47.252.836,00	23.782,00	1,40	17,56	454.780.659,40	18.402.971,00	26,93	41.342,00	37.966.798,00	77.833,24
2004	121.141,90	150.698,30	97.539.766,00	63.167.153,00	24.331,00	1,35	18,97	559.033.025,86	18.595.316,00	34,55	40.792,00	42.342.065,00	80.857,71
2005	130.262,80	161.956,20	116.774.151,00	73.476.408,00	24.549,00	1,35	19,40	648.931.711,81	18.041.583,00	49,77	64.126,00	47.299.507,00	84.379,09
2006	143.070,50	176.299,80	139.576.174,00	85.534.676,00	26.580,00	1,42	28,20	758.390.785,21	17.257.176,00	60,70	73.383,00	53.320.813,00	93.034,99
2007	155.135,30	191.558,10	170.062.715,00	107.271.750,00	27.455,00	1,17	29,10	843.178.421,42	17.481.568,00	67,90	68.056,00	59.430.863,00	100.005,03
2008	161.947,50	198.418,00	201.963.574,00	132.027.196,00	29.209,00	1,52	36,30	950.534.250,72	17.440.802,00	92,69	76.069,00	60.782.392,00	98.501,73
2009	156.894,10	194.812,90	140.928.421,00	102.142.613,00	30.328,00	1,51	48,60	952.558.578,83	17.283.482,00	60,18	94.772,00	57.669.207,00	97.660,69
2010	172.050,60	211.207,70	185.544.332,00	113.883.219,00	32.488,00	1,55	59,50	1.103.749.801,0 0	11.378.402,00	77,20	82.236,00	63.821.565,00	105.133,11

Fakat bu çalışmada talep tahmini için kullanılacak yapay zerka yöntemi olan ANFİS metodunda en fazla dört değişken sütünü kullanılabilmektedir. Bu değişken gurubundan enerji tüketim verileri ile en çok ilişkili olan en ideal dört değişken gurubunun belirlenmesi için tüm değişkenleri TBA analizine tabi tutularak (Çizelge 5.3)'teki korelasyon matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 Değişkenlerin korelasyon matrisi(pearson (n))

Değişkenler	Elektrik Enerjisi Tüketim Miktarı	Elektrik Enerjisi Üretim Miktarı	İthalat Miktarı	İhracat Miktarı	Birim Başına Enerji Üretimi	Dolar	Altın Fiyatı	GSYİH	Petrol Üretim Miktarı	Petrol Varil Fiyatı	Bina Sayısı	Ham Demir Üretimi	Enerji Kullanımı (KT Eşdeğer Petrol)
Elektrik Enerjisi Tüketim Miktarı	1	1.000	0.939	0.938	0.828	0.891	0.842	0.878	0.752	0.853	0.620	0.995	0.972
Elektrik Enerjisi Üretim Miktarı	1.000	1	0.934	0.933	0.827	0.890	0.836	0.872	0.753	0.842	0.620	0.995	0.972
İthalat Miktarı	0.939	0.934	1	0.997	0.664	0.866	0.926	0.965	0.548	0.904	0.431	0.941	0.863
İhracat Miktarı	0.938	0.933	0.997	1	0.659	0.879	0.936	0.972	0.544	0.901	0.421	0.940	0.858
Birim Başına Enerji Üretimi	0.828	0.827	0.664	0.659	1	0.554	0.519	0.528	0.956	0.710	0.925	0.843	0.930
Dolar	0.891	0.890	0.866	0.879	0.554	1	0.866	0.907	0.495	0.741	0.281	0.860	0.798
Altın Fiyatı	0.842	0.836	0.926	0.936	0.519	0.866	1	0.977	0.360	0.825	0.270	0.835	0.735
GSYİH	0.878	0.872	0.965	0.972	0.528	0.907	0.977	1	0.403	0.855	0.262	0.870	0.769
Petrol Üretim Miktarı	0.752	0.753	0.548	0.544	0.956	0.495	0.360	0.403	1	0.611	0.909	0.762	0.876
Petrol Varil Fiyatı	0.853	0.842	0.904	0.901	0.710	0.741	0.825	0.855	0.611	1	0.521	0.858	0.831
Bina Sayısı	0.620	0.620	0.431	0.421	0.925	0.281	0.270	0.262	0.909	0.521	1	0.644	0.765
Ham Demir Üretimi	0.995	0.995	0.941	0.940	0.843	0.860	0.835	0.870	0.762	0.858	0.644	1	0.973
Enerji Kullanımı (KT Eşdeğer Petrol)	0.972	0.972	0.863	0.858	0.930	0.798	0.735	0.769	0.876	0.831	0.765	0.973	1

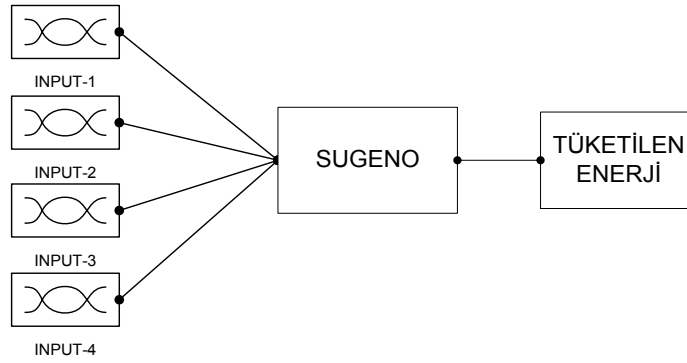
Values in bold are different from 0 with a significance level $\alpha=0,05$

Çizelge 5.3 incelendiğinde Enerji Kullanım değişkenine en ilişkili dört değişken sırasıyla ham demir üretimi (0,973), elektrik enerjisi tüketim miktarı (0,972), elektrik enerjisi üretim miktarı (0,972) ve birim başına enerji üretimi (0,930) gelmektedir. Bu analiz sonucunda belirlenen dört veri değişkeni talep tahmininde kullanılacaktır.

5.3 Türkiye'nin Uzun Dönemli Enerji Planlamasında Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Enerji Talebi Modeli

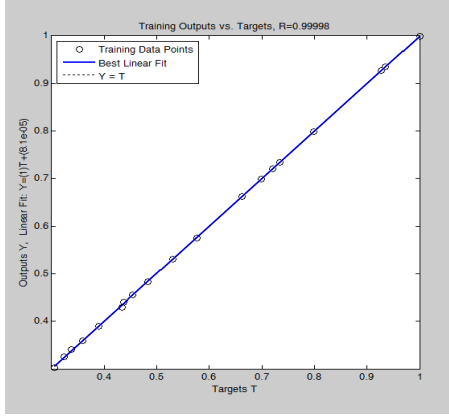
Bu çalışmada kullanılan dört giriş ve bir çıkıştan oluşan ANFIS model sugeno tipi bulanık çıkarım sistemini ve *melez öğrenme* (hybrid learning) algoritması kullanılmaktadır. Her bir giriş üyelik fonksiyonları tanımlanarak bulanıklaştırılmıştır. Giriş değişkenleri kümesi için üyelik fonksiyonu, verinin karakteristiğine bağlı olarak *gauss* olarak alınmıştır. Bu bulanık girişler sinir ağlarının girişleri olarak alınır ve ağın farklı katmanlarındaki transfer fonksiyonları ile işleme tabi tutularak bulanık çıkışlar elde edilir. Bu bulanık çıkışlar *linear* üyelik fonksiyonlarına sahiptir. Yani, bu bulanık çıkışlar berraklaştırılarak tek bir çıkış elde edilir.

Bu çalışmadaki giriş değişkenleri *elektrik enerjisi üretim miktarı*, *elektrik enerjisi tüketim miktarı*, *birim enerji üretim miktarı*, *tüketilen ham demir miktarı*, çıkış değişkeni ise *Tüketilen Enerji Miktarı (Petrol eşdeğer kt.)* olarak belirlenmiştir. Çalışmamızdaki modelde 1950-2011 yılları arası veriler kullanılmış olup bu verilerin 1950-1980 yılları arasındakiler eğitim ve test için kullanılmış ve 1980-2010 yılları arasındakiler de tahmin için kullanılarak gelecek 30 yıllık Türkiye'nin enerji gereksinimi tahmin edilmiştir.

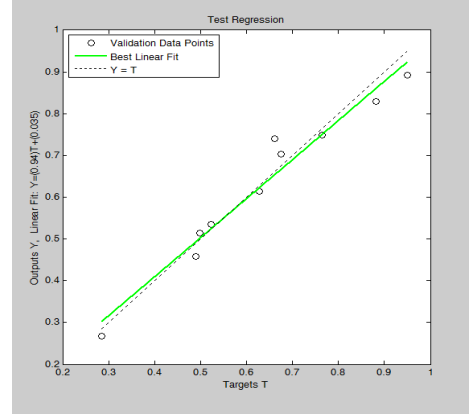


Şekil 5.1 ANFİS model yapısı

En küçük kareler yöntemi ve geri yayımlı gradient descent (en dik iniş) yönteminin birleşimi olan bir melez ağ yardımıyla öğrenme işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işleme tahminleme hatası minimize edilinceye kadar devam edilmiştir. Genellikle test için verilerin %5, %10 veya %20'si kullanılırken bizim çalışmamızda ise mevcut verinin %15'i test için seçilerek kurduğumuz ANFIS modelin güvenilirliği ortaya konulmuştur. Bu modelin yapısı Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.

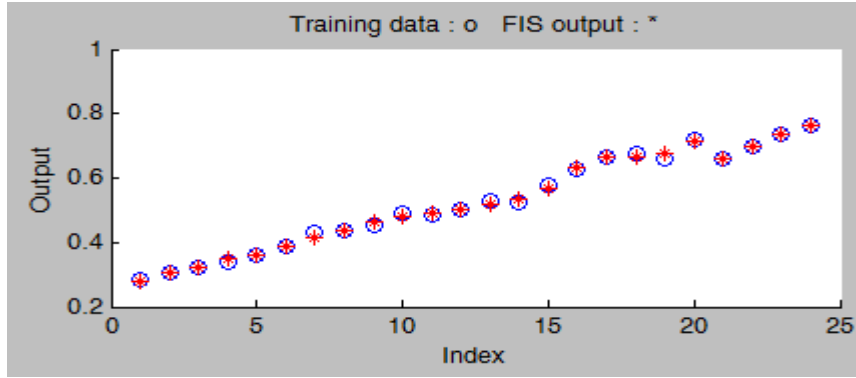


Şekil 5.2 Çıkışın eğitilmesi

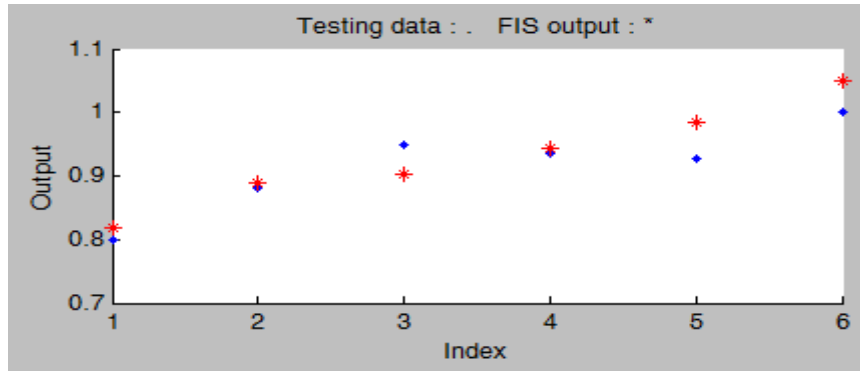


Şekil 5.3 Çıkışın test edilmesi

1950-2011 yılları arası *elektrik enerjisi üretim miktarı*, *elektrik enerjisi tüketim miktarı*, *birim enerji üretim miktarı*, *tüketilen ham demir miktarı*, *tüketilen enerji miktarı* (Petrol eşdeğer kt.) verilerinin ANFIS ortamında işlenmesinden sonra elde edilen grafikler ve denklemler aşağıda sırasıyla verilmiştir. Şekil 5.2’de verilen çıkışın eğitilmesi sonucu doğrusal eğri denklemi; $A=(1)T+(8,1e-05)$ ve Roughness (R) değeri 0.99998 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.3’te ise çıkışın test edilmesi sonucu doğrusal eğri denklemi; $A=(0,94)T+(0,035)$ olarak elde edilmiştir.

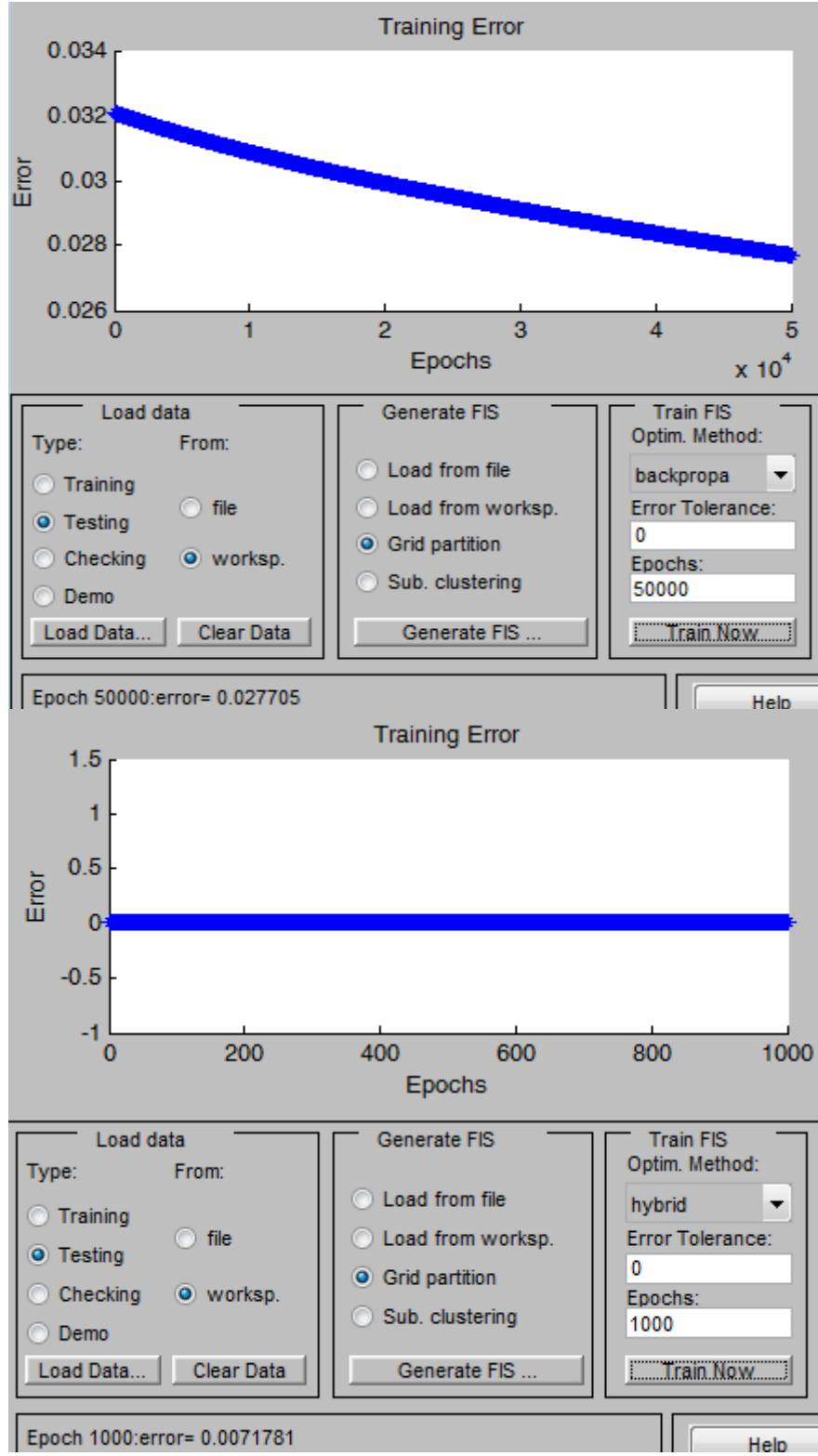


Şekil 5.4 Yirmi beş yıllık veri için eğitim grafiği



Şekil 5.5 Altı yıllık veri için test grafiği

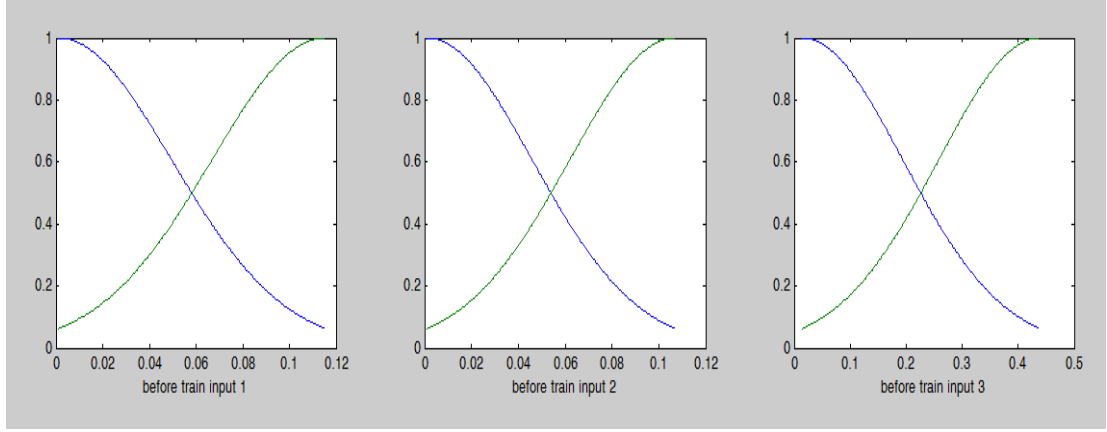
25 yıllık veri için ANFIS modele ait eğitim grafiği Şekil 5.4'te, test grafiği ise Şekil 5.5'de verilmiştir.



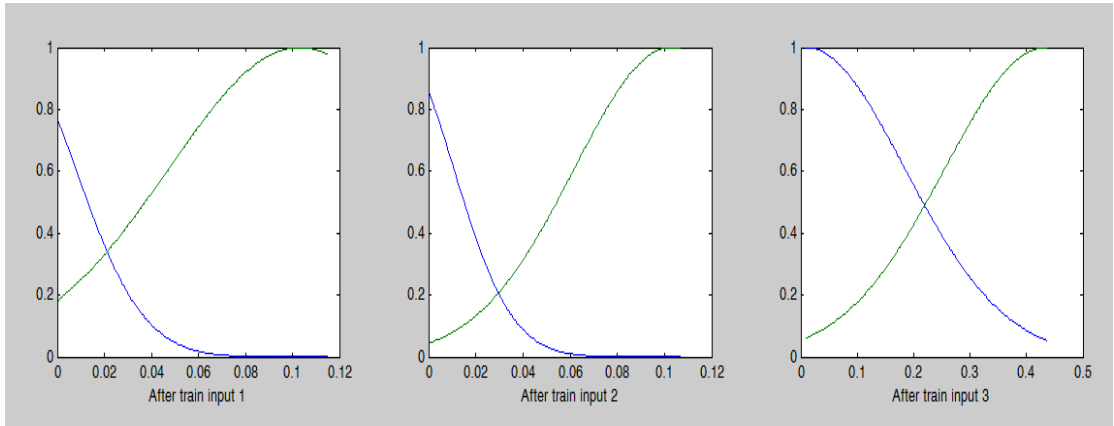
Şekil 5.6 Hatanın iterasyon sayısına göre değişimi

Farklı iterasyon sayıları denenerek en uygun iterasyon sayısı 50000+1000 olarak bulunmuş ve Şekil 5.6’da iterasyon sayısına göre hatanın değişim grafiği verilmiştir.

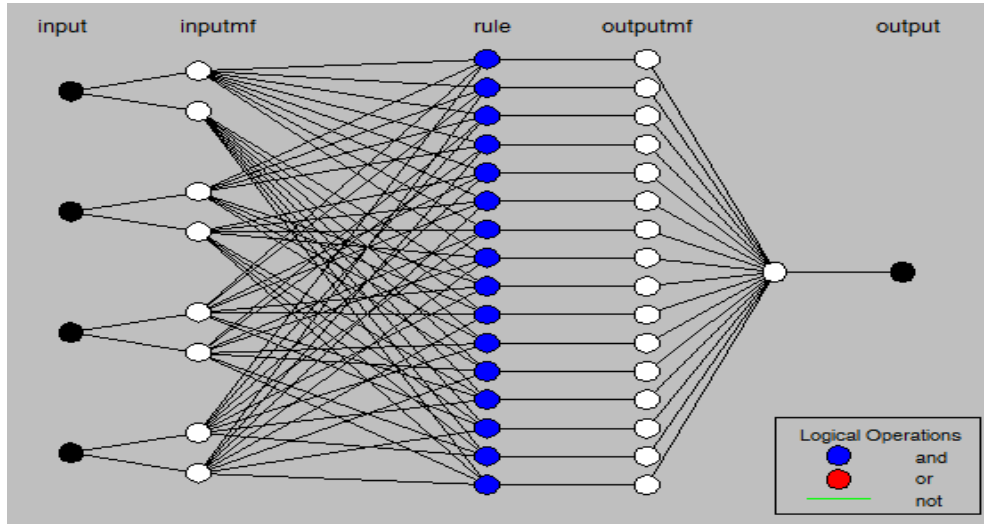
ANFIS modelde kullanılan gaussmf üyelik fonksiyonunun eğitimden önceki ve sonraki grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.7 Gaussmf üyelik fonksiyonunun eğitimden önceki giriş değeri



Şekil 5.8 Gaussmf üyelik fonksiyonunun eğitimden sonraki giriş değeri



Şekil 5.9 MATLAB-ANFİS model yapısı

Şekil 5.7 eğitimden önceki giriş değerlerini, Şekil 5.8 eğitimden sonraki giriş değerlerini ve Şekil 5.9’da MATLAB-ANFİS model yapısını göstermektedir.

ANFIS modelden elde edilen 2006-2010 dönemine ait projeksiyondaki hatalar hesaplanmış ve Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 ANFIS modelinden elde edilen, 2006-2010 dönemine ait projeksiyon

NET TÜKETİM					
		ANFİS			
Yıl	Gerçek	Tahmini	RMSE	MAE	MAPE
2006	93,034.99	92,997.84	5,397.80	2,171.83	0.021
2007	100,005.03	100,003.6			
2008	98,501.73	103,710.2			
2009	97,660.69	102,587.1			
2010	105,133.11	105,151.2			
2011	114,182.64	111,343.2			

Modellerden elde edilen sonuçlara ve verilere bakıldığında tüketilen enerji miktarının tahmininde ANFİS’in bir tahmin aracı olarak kullanılabilirliğini ve oldukça iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir.

ANFIS modelinde dört bağımsız bir bağımlı değişken kullanılmıştır. Hatalara bakıldığında ANFİS’in iyi sonucu verdiği görülmüştür. 2012-2035 yılları için tüketilen enerjinin tahmini değerleri ANFIS modelleri ile elde edilmiş olup Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5 ANFIS yöntemleriyle 2006-2007 yılları için tüketilen enerjinin tahmini değerleri

TÜKETİLEN ENERJİ MİKTARI (PETROL EŞDEĞER KT)			
TAHMİNLER			
YIL	ANFIS	YIL	ANFIS
2006	92.997,84	2021	162.631,55
2007	100.003,59	2022	169.436,06
2008	103.710,21	2023	183.115,90
2009	102.587,09	2024	186.644,71
2010	105.151,17	2025	202.157,94
2011	111.343,20	2026	213.644,87
2012	114.154,82	2027	227.488,01
2013	113.683,78	2028	241.967,62
2014	120.442,22	2029	247.817,52
2015	125.778,61	2030	263.521,67
2016	130.796,14	2031	255.777,88
2017	137.420,60	2032	264.477,50
2018	142.062,21	2033	275.867,55
2019	154.085,17	2034	266.689,59
2020	157.090,65		

Çizelge 5.5’de 2012-2035 yılları için yapılan test amaçlı tahminler, gerekse projeksiyonlar için yapılan hatalar incelendiğinde ANFIS modelinin iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu sonuç ANFIS modeldeki Şekil 5.2’de ki $R=0.99998$ değerini doğrulayan ve ANFIS’in öğrenme kabiliyetinin adaptif olmasının farkını ortaya koymaktadır.

2020 yılı için (157.090,65 PEKT) ve 2034 yılı için ise (266.689,59 PEKT) miktarında Türkiye’nin enerji ihtiyacı duyacağı görülmektedir. Çizelge 5.5’te verilen değerlere bakıldığında ANFIS modeline göre planlama yapıldığında talebi karşılayacak üretimin gerçekleştirilemeyeceği, yeterli ve kaliteli bir arzın mümkün olmayacağı ve zorunlu olarak eğer gerekli önlemler alınmaz ise elektrik, yakıt vb. kesintilerinin olacağı görülmektedir. Herhangi olumsuz bir durum hem sanayide iş potansiyelinin tam olarak kullanılamamasına hem de hane halkı kullanıcıları için yaşam kalitesinin olumsuz yönde bozulmasına neden olur.

Son 10 yıllık dönemde, OECD ülkeleri arasında Türkiye, enerji talebi en hızlı artan ülke oldu. Türkiye, hızla artan enerji talebiyle ikinci en büyük ekonomi haline geldi. Türkiye

Elektrik İletim Anonim Şirketi'ne (TEİAŞ) göre 2012 yılında Türkiye'deki kurulu elektrik kapasitesi 53 bin MW'den 56,760 bin MW'ye yükseldi. 2011'de 230 milyar 306,3 milyon kWh elektrik tüketilirken, bu oran 2012 yılında yüzde 5.1'lik bir artışla 241 milyar 946,8 milyon kWh'ye ulaştı.

Bu durum göz önüne alındığında, ancak Çizelge 5.5'e göre ANFIS modelin sonuçlarına göre yapılacak olan planlamalarda söz konusu olumsuzluklardan minimum oranda etkilenileceği ve doğru bir planlamanın gerçekleştirilebilir olacağı öngörülebilir.

Sonuç olarak enerji sistemlerinin planlanmasında ilk ve en önemli aşamalarından biri enerji tüketim tahminidir. Bu bağlamda çalışmamızın sonuç verileri incelendiğinde ANFIS modelinden alınan tahminlere göre yapılacak olan sistem planlamasının en ekonomik ve en doğru tercih olacağı görülmektedir.

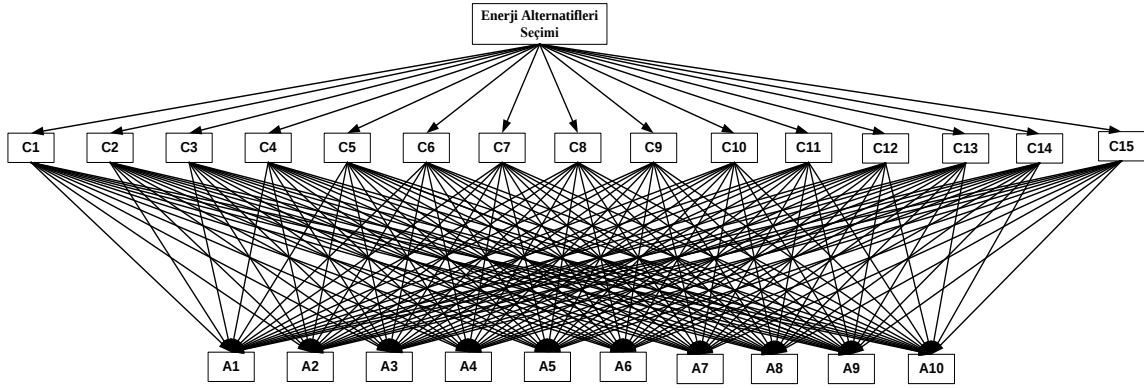
Bu çalışmanın ilk aşaması TBA ve ANFIS metotlarının birleştirilmesi ile hibrit bir metot oluşturulmuştur. Buna ek olarak elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında oluşan farklar değerlendirilmiştir. Oluşturulan bu metot ile Türkiye'de enerji kullanımı miktarını analiz için çalıştırılmış ve metodun performansı RMSE, MAE ve MAPE ile sırasıyla (5397.80), (2171.83) ve (0.021) hata miktarı değerlendirilmiştir. 2006-2011 yılları için elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında çok da önemli farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir.

5.4 Türkiye'de Enerji Alternatifleri Konusunda Karar Vermeye Yönelik Bir Gerçek Durum Uygulaması

Bu aşamaya kadar Türkiye'nin geçmiş yıllarına ait değerleri göz önüne alarak gelecek dönemde ne kadar bir enerji gereksinimi olacağı üzerinde durulmuş ve tahmini değerler ortaya konulmuştur. Bu aşamadan sonra Türkiye'nin tüketeyeceği enerjiyi hangi enerji kaynağından ya da kaynaklarından elde etmesi gerektiği sorusu üzerinde durulacaktır.

Türkiye, gerekli miktardaki enerji gereksinimini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılama şansı ile birlikte diğer birçok enerji kaynağına da sahip olduğu daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak ortaya konulmuş idi. Söz konusu enerji kaynakları şunlardır: jeotermal enerji (A1), güneş enerjisi (A2), rüzgar enerjisi (A3), hidrolik enerji (A4), biyoenerji (A5), hidrojen enerjisi (A6), nükleer enerji (A7), petrol (A8), doğal gaz (A9) ve kömür-linyit (A10). Bu çalışmada ifade edilen yenilenebilir enerji planlamasına yönelik karar verme sorununun hiyerarşisi Şekil 5.10'da gösterilmektedir.

Enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi ve seçiminin anahtar boyutları; bir Doçent öğretim üyesi, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) ve Ulusal Kalkınma Ajansı'ndan birer uzman tarafından kapsamlı bir araştırma ve danışma yoluyla oluşturulmuştur.



Şekil 5.10 Yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçiminin hiyerarşik yapısı

Bu çalışmada kullanılan kriterler aşağıdaki gibidir [15]:

Verimlilik (C1): Verimlilik, bir enerji kaynağından elde edilen yararlı enerjinin miktarı demektir. Yani, büyük enerji santralinin güvenilirliği ve ham madde ucuzluğu sayesinde istikrarlı bir verimlilik gelişimi, ekonomik olmasına ve kazanç sağlamasına bağlıdır.

Ekserji verimliliği (C2): Ekserji verimliliği, bir Sürecin ikinci termodinamik yasasına göre verimliliğinin hesaplanmasıdır. Isı değişimi de dâhil olmak üzere enerji daima israf olur.

Yatırım maliyeti (C3): Yatırım maliyeti, mekanik araçların satın alımı, teknolojik aygıtların kurulumu, yolların inşası ve yolların uluslararası hatlara bağlanması, mühendislik çalışmaları, delme ve ek ikincil işlem proseslerini içermektedir.

İşletme ve bakım maliyeti (C4): İşletme ve bakım maliyetleri 2 kalemden oluşur: İlki; çalışanların ücretleri ve enerjiye harcanan paradır. İkincisi ise enerji santralinin işletilmesi için gerekli olan ham madde ve hizmetleri içeren işletme maliyetidir.

NO_x salınımı (C5): NO_x, NO ve NO₂'yi ifade eden genel bir terimdir ve insanların sağlığı üzerinde doğrudan bir etkisi olup toplumun sosyal durumunu da dolaylı olarak etkiler.

CO₂ salınımı (C6): Rengi, kokusu ve tadı olmayan karbondioksit gazı, normal basınç ve ısı koşullarındaki havanın yaklaşık olarak 1,5 katı daha yoğun bir gazdır.

Gerekli alan (C7): Enerjinin santrallerinin kurulduğu alanların çevresi ve panoraması bu santrallerinin kurulduğu yeri tümüyle etkilemektedir. Ayrıca, enerji santrallerinin genel anlamda kurulacağı yerler aynı standarttır.

Toplumsal kabul edirlilik (C8): Toplumsal kabul edirlilik, tüketici görüşlerinin gözden geçirilerek projelerin toplum tarafından varsayılan algısının saptanmasıdır. Bir başka deyişle, bu terim yerel halkın enerji santralleri ile ilgili görüşlerinin bir özetini ifade eder.

İstihdam yaratma (C9): Enerji santrallerinin kurulduğu bölgelerdeki yerel halkın ekonomik gelişimi ve refahı on yıllar boyunca bu santrale bağlıdır. Toplum için pek çok iş olanak oluşturan ve yerel halkı daha arzu edilebilir bir yaşam standardına kavuşturan uzun süreli enerji santralleri daha elverişlidir.

Net bugünkü kazanç (C10): NPV, nakit akışının sürdüğü zaman aralığının tümünün bugünkü kazancı olarak açıklanabilir. Uzun dönemli enerji çalışmalarında zamana bağlı paranın değerini bulmak için kullanılan tipik bir yöntemdir.

Risk (C11): Bu seçenek enerji politikasının uygulanması sırasında fark edilebilir sorunların sayısını gösterir.

Güvenilirlik (C12): Bu kriter, enerji politikasının uygulanması için teknolojik yeterliliği değerlendirir. Uygulanan teknoloji sadece laboratuvarında test edilmiş olma, sadece pilot fabrikalarda yapılan bir uygulama veya hala gelişmesini tamamlamamış teknoloji olabilir.

Uygulama süresi (C13): Bu seçenek uygulanabilir alternatif enerji politikasının minimum maliyet amaçlı aylık veya yıllık uygulanabilir asgari durumu ortaya koyar.

Atık imha güvenilirliği (C14): Bu seçenek, doğaya zarar vermeyi azaltmaya çalışılır. Sürdürülebilir bir çalışma ile bu durumu düzeltmek için yapılan çalışmaları ifade eder.

Enerji politikalarına uyumluluk (C15): Bu seçenek, önerilen politika hedefleri ile uluslararası enerji politikası, devlet/hükümet politikasına yakınlık derecesini göstermeyi amaçlamaktadır.

Değerlendirme kriterlerini ve alternatif kümeyi belirledikten sonra geliştirilmiş tip-2 bulanık AHP algoritmasının aşamaları kriterlere uygulanır. Her bir değerlendirme kriterinin göreceli önemini saptamak için, uzmanlar aşağıda Çizelge 5.6'da gösterilen dokuzlu bir skala kullanmışlardır. Çizelge 5.8, üç enerji planlama uzmanı tarafından

yapılan değerlendirme kriterlerinin dilsel ifadelerinin ikili karşılaştırmasının sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 5.6 Kriterlerin ikili karşılaştırmaları için kullanılan bulanık değerler

Dilsel Terimler	Tip-2 bulanık kümeler
Aşırı güçlü (AS)	((4.00, 5.00, 5.00, 6.00; 1.00 1.00), (4.50, 5.00, 5.00, 5.50; 1.00 1.00))
Çok güçlü (VS)	((3.00, 4.00, 4.00, 5.00; 1.00 1.00), (3.50, 4.00, 4.00 4.50; 1.00 1.00))
Oldukça güçlü (FS)	((2.00, 3.00, 3.00, 4.00; 1.00 1.00), (2.50, 3.00, 3.00, 4.50; 1.00 1.00))
Kısmen Güçlü (SS)	((1.00, 2.00, 2.00, 3.00; 1.00 1.00), (1.50, 2.00, 2.00, 3.50; 1.00 1.00))
Eşit (E)	((1.00, 1.00, 1.00, 1.00; 1.00 1.00), (1.00, 1.00, 1.00, 1.00; 1.00 1.00))
Kısmen Zayıf (SW)	((0.33, 0.50, 0.50, 1.00; 1.00 1.00), (0.29, 0.50, 0.50, 0.67; 1.00 1.00))
Oldukça Zayıf (FW)	((0.25, 0.33, 0.33, 0.50; 1.00 1.00), (0.22, 0.33, 0.33, 0.40; 1.00 1.00))
Çok Zayıf (VW)	((0.20, 0.25, 0.25, 0.33; 1.00 1.00), (0.22, 0.25, 0.25, 0.29; 1.00 1.00))
Aşırı Zayıf (AW)	((0.17, 0.20, 0.20, 0.25; 1.00 1.00), (0.18, 0.20, 0.20, 0.22; 1.00 1.00))

Çizelge 5.7’de gösterilen yedili skalayı enerji planlama uzmanları alternatif-kriter matrisini oluşturmak için kullandıkları dilsel ifadeleri göstermektedir.

Çizelge 5.7 Alternatiflerin ikili karşılaştırmaları için kullanılan bulanık değerler

Dilsel terimler		Tip-2 bulanık kümeler										
Çok Düşük: (VL)	((0.00,	0.00	0.00	0.10	1.00	1.00)	(0.00	0.00	0.00	0.05	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)
Düşük : (L)	((0.00,	0.10	0.10	0.30	1.00	1.00)	(0.05	0.10	0.10	0.20	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)
Orta Düşük: (ML)	((0.10,	0.30	0.30	0.50	1.00	1.00)	(0.20	0.30	0.30	0.40	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)
Orta: (M)	((0.30,	0.50	0.50	0.70	1.00	1.00)	(0.40	0.50	0.50	0.60	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)
Orta Yüksek: (MH)	((0.50,	0.70	0.70	0.90	1.00	1.00)	(0.60	0.70	0.70	0.80	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)
Yüksek: (H)	((0.70,	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00)	(0.80	0.90	0.90	0.95	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)
Çok Yüksek:(VH)	((0.90,	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00)	(0.95	1.00	1.00	1.00	0.9	0.90)
		,	,	;	,	,	,	,	,	;	0	)

Çizelge 5.8 Değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisinin dilsel ifadesi.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	D1	1	FW	FW	FW	VW	AW	VW	SW	VW	E	SW	FW	FW	AW	E
	D2	1	SW	SW	VW	VW	VW	FW	SW	VW	E	SW	FW	FW	VW	SS
	D3	1	SW	SW	VW	AW	AW	FW	SW	VW	E	SW	FW	FW	AW	E
C2	D1	FS	1	E	SW	SW	FW	SW	SS	SW	FS	SS	E	E	FW	FS
	D2	SS	1	E	FW	FW	FW	SW	E	FW	FS	E	SW	SW	FW	FS
	D3	SS	1	E	FW	VW	VW	SW	E	FW	SS	E	SW	SW	VW	SS
C3	D1	FS	E	1	SW	SW	FW	SW	SS	SW	FS	SS	E	E	FW	FS
	D2	SS	E	1	FW	FW	FW	SW	E	FW	FS	E	SW	SW	FW	FS
	D3	SS	E	1	FW	VW	VW	SW	E	FW	SS	E	SW	SW	VW	SS
C4	D1	FS	SS	SS	1	E	SW	E	FS	E	VS	FS	SS	SS	SW	VS
	D2	VS	FS	FS	1	E	E	SS	FS	FS	VS	FS	SS	SS	E	AS
	D3	VS	FS	FS	1	SW	SW	SS	FS	E	VS	FS	SS	SS	SW	VS
C5	D1	VS	SS	SS	E	1	SW	E	FS	E	VS	FS	SS	SS	SW	VS
	D2	VS	FS	FS	E	1	E	SS	FS	FS	VS	FS	SS	SS	E	AS
	D3	AS	VS	VS	SS	1	E	FS	VS	SS	AS	FS	FS	FS	E	AS
C6	D1	AS	FS	FS	SS	SS	1	SS	VS	SS	AS	VS	FS	FS	E	AS
	D2	VS	FS	FS	E	E	1	SS	FS	FS	VS	FS	SS	SS	E	AS
	D3	AS	VS	VS	SS	E	1	FS	VS	SS	AS	FS	FS	FS	E	AS
C7	D1	VS	SS	SS	E	E	SW	1	FS	E	VS	FS	E	VS	SW	VS
	D2	FS	SS	SS	SW	SW	SW	1	SS	SW	FW	SS	E	E	SW	VS
	D3	FS	SS	SS	SW	FW	FW	1	SS	SW	FS	SS	E	E	FW	FS
C8	D1	SS	SW	SW	FW	FW	VW	FW	1	VW	SS	E	SW	SW	VW	SS
	D2	SS	E	E	FW	FW	FW	SW	1	FW	FS	E	SW	SW	FW	FS
	D3	SS	E	E	FW	VW	VW	SW	1	FW	SS	E	SW	SW	VW	SS
C9	D1	VS	SS	SS	E	E	SW	E	VS	1	VS	FS	SS	SS	SW	VS
	D2	VS	FS	FS	FW	FW	FW	SS	FS	1	VS	FS	SS	SS	E	AS
	D3	VS	FS	FS	E	SW	SW	SS	FS	1	VS	FS	SS	SS	SW	VS
C10	D1	E	FW	FW	VW	VW	AW	VW	SW	VW	1	SW	FW	FW	AW	E
	D2	E	FW	FW	VW	VW	VW	FS	FW	VW	1	SW	FW	FW	VW	SS
	D3	E	SW	SW	VW	AW	AW	FW	SW	VW	1	SW	FW	FW	AW	E
C11	D1	SS	SW	SW	FW	FW	VW	FW	E	FW	SS	1	SW	SW	VW	SS
	D2	SS	E	E	FW	FW	FW	SW	E	FW	SS	1	SW	SW	FW	FS
	D3	SS	E	E	FW	FW	FW	SW	E	FW	SS	1	SW	SW	VW	SS
C12	D1	FS	E	E	SW	SW	FW	E	SS	SW	FS	SS	1	E	FW	FS
	D2	FS	SS	SS	SW	SW	SW	E	SS	SW	FS	SS	1	E	SW	VS
	D3	FS	SS	SS	SW	FW	FW	E	SS	SW	FS	SS	1	E	FW	FS
C13	D1	FS	E	E	SW	SW	FW	VW	SS	SW	FS	SS	E	1	FW	FS
	D2	FS	SS	SS	SW	SW	SW	E	SS	SW	FS	SS	E	1	SW	VS
	D3	FS	SS	SS	SW	FW	FW	E	SS	SW	FS	SS	E	1	FW	FS
C14	D1	AS	FS	FS	SS	SS	E	SS	VS	SS	AS	VS	FS	FS	1	AS
	D2	VS	FS	FS	E	E	E	SS	FS	E	VS	FS	SS	SS	1	AS
	D3	AS	VS	VS	SS	E	E	FS	VS	SS	AS	VS	FS	FS	1	AS
C15	D1	E	FW	FW	VW	VW	AW	VW	SW	VW	E	SW	FW	FW	AW	1
	D2	SW	FW	FW	AW	AW	AW	VW	FW	AW	SW	FW	VW	VW	AW	1
	D3	E	SW	SW	VW	AW	AW	FW	SW	VW	E	SW	FW	FW	AW	1

Sonraki aşamada, Çizelge 5.6 ve 5.8 kullanılarak kriter ağırlıkları için bulanık değerlendirme matrisi hesaplanır. Matrisi hesaplamak için Çizelge 5.8'deki bulanık skorların geometrik ortalaması hesaplanır. Daha sonraki aşamada ise geometrik ortalama değerleri alındıktan sonra ağırlık vektörü hesaplanır. Son olarak da Çizelge 5.9'da olduğu gibi normalize edilmiş ağırlık vektörü ve önem dereceleri (BNP) elde edilir.

AHP metodu, her bir karşılaştırma matrisinde herhangi bir tutarsızlık olup olmadığını belirlemek için bir tutarlılık indeksi kullanımını önerdiğini bölüm 4’de belirtilmişti. Tutarlılık oranı CR değerinin %10’dan küçük olması kabul edilebilir ve tutarlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışma için yapılan tutarlılık analizinde CR değeri **(0,084)** olarak elde edilmiş ve değerlendirmelerin kabul edilebilir ve tutarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 5.9 dikkate alındığında enerji kaynaklarımızı ve oluşturulacak politikalarımızı tüm kriterlerin etkileme derecesi birbirine çok yakındır. Burada belirtilen, tüm kriterlerin bizim için çok önemli olduğu ve kriterlerin doğru seçilmiş olduğunu gözlemlenebilmektedir. Tüm kriterlerin önemli olmasına rağmen enerji politikamızı veya enerji alternatif seçimini en çok etkileyen kriterler sırasıyla “CO₂” C6 (4.594), “Atık İmha Güvenilirliği” C14 (4.581) ve “NO_x” C5 (4.491) olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, enerji politikamızı veya enerji alternatif seçimini diğerlerine göre en az etkileyen kriterler ise “Enerji politikalarına Uyumluluk” C15 (3.914), “Verimlilik” C1 (3.927) ve “Net Bugünkü Kazanç” C10 (3.952) olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.9 Ağırlıkların saptanması için uygulanan tip-2 bulanık AHP metodunun sonuçları.

	$\tilde{W}$	BNP
C1	((0.32,0.41,0.41,0.58;1,1),(0.31,0.41,0.41,0.48;0.9,0.9))	3.927
C2	((0.6,0.8,0.8,1.14;1,1),(0.62,0.8,0.8,1.02;0.9,0.9))	4.051
C3	((0.6,0.8,0.8,1.13;1,1),(0.61,0.8,0.8,1.02;0.9,0.9))	4.048
C4	((1.35,1.91,1.91,2.53;1,1),(1.6,1.91,1.91,2.56;0.9,0.9))	4.396
C5	((1.62,2.22,2.22,2.83;1,1),(1.92,2.22,2.22,2.89;0.9,0.9))	4.491
C6	((1.83,2.55,2.55,3.23;1,1),(2.2,2.55,2.55,3.35;0.9,0.9))	4.594
C7	((0.95,1.33,1.33,1.83;1,1),(1.06,1.33,1.33,1.72;0.9,0.9))	4.213
C8	((0.49,0.66,0.66,0.94;1,1),(0.5,0.66,0.66,0.83;0.9,0.9))	4.005
C9	((1.24,1.76,1.76,2.35;1,1),(1.44,1.76,1.76,2.31;0.9,0.9))	4.346
C10	((0.38,0.49,0.49,0.69;1,1),(0.38,0.49,0.49,0.59;0.9,0.9))	3.952
C11	((0.49,0.67,0.67,0.96;1,1),(0.5,0.67,0.67,0.84;0.9,0.9))	4.007
C12	((0.78,1.12,1.12,1.61;1,1),(0.85,1.12,1.12,1.51;0.9,0.9))	4.149
C13	((0.76,1.1,1.1,1.58;1,1),(0.84,1.1,1.1,1.48;0.9,0.9))	4.143
C14	((1.82,2.51,2.51,3.17;1,1),(2.17,2.51,2.51,3.27;0.9,0.9))	4.581
C15	((0.29,0.37,0.37,0.52;1,1),(0.29,0.37,0.37,0.43;0.9,0.9))	3.914

Bir sonraki aşama, tip-2 aralıklı bulanık kümeler methoduna dayalı bulanık çok kriterli karar verme sorunlarının çözümü için TOPSIS yönteminin geliştirilerek en iyi enerji alternatifinin belirlenmesidir. Çizelge 5.10, enerji planlama uzmanları tarafından yapılan alternatifler-kriterler matrisinin dilsel ifade ile yapılan ikili karşılaştırma

matrisini göstermektedir. Bunu yapmak için, uzmanlar Çizelge 5.7'yi kullanarak her bir kritere göre enerji alternatiflerini değerlendirdiler. Uzmanlar, alternatifleri değerlendirirken bütün kriterlerin yararlı kriterler olduğunu varsaylardır.

Çizelge 5.10 Alternatiflerin değerlendirme sonuçları için dilsel ifade matrisi

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
A1	D1	H	M	M	M	ML	M	H	M	M	H	L	M	MH	MH	H
	D2	MH	M	MH	MH	M	M	MH	MH	MH	H	ML	MH	M	MH	VH
	D3	H	MH	MH	M	M	ML	H	H	H	MH	L	H	M	H	VH
A2	D1	MH	VH	H	MH	VH	H	MH	MH	ML	ML	L	H	H	VH	VH
	D2	M	MH	MH	M	M	H	MH	MH	M	ML	VL	VH	H	VH	VH
	D3	M	MH	H	H	M	MH	H	VH	VH	L	VL	VH	M	H	VH
A3	D1	H	L	H	H	M	H	H	H	H	H	M	MH	H	VH	VH
	D2	MH	ML	H	M	H	VH	VH	H	H	H	ML	H	ML	H	H
	D3	H	MH	MH	MH	H	H	VH	H	H	H	L	H	M	VH	VH
A4	D1	M	MH	VL	VH	H	M	H	L	L	VL	VL	MH	ML	MH	MH
	D2	M	H	VL	VL	M	H	H	L	VL	VL	L	VH	M	MH	H
	D3	M	MH	VH	VH	H	H	ML	VH	H	VL	L	VH	ML	H	VH
A5	D1	MH	H	H	H	ML	M	M	M	MH	VH	M	ML	M	M	M
	D2	H	MH	M	MH	M	M	M	MH	H	VH	L	H	H	M	M
	D3	MH	MH	MH	ML	M	ML	M	MH	H	H	ML	M	MH	MH	MH
A6	D1	VH	H	L	ML	VL	VL	L	VH	M	L	M	MH	ML	VH	MH
	D2	H	VH	L	ML	VL	VL	L	VH	M	L	M	MH	ML	MH	H
	D3	VH	H	ML	M	VL	VL	L	VH	M	VL	H	M	ML	VH	VH
A7	D1	VH	VH	VL	ML	ML	VL	ML	M	M	VH	M	MH	ML	VL	M
	D2	VH	MH	VL	ML	L	ML	ML	MH	M	VH	M	M	ML	VL	MH
	D3	VH	H	VL	L	L	VL	M	M	M	VH	M	H	ML	VL	H
A8	D1	M	M	M	ML	ML	ML	M	ML	M	M	ML	M	M	ML	ML
	D2	MH	MH	H	H	ML	L	ML	MH	MH	H	ML	MH	M	M	M
	D3	M	MH	M	M	L	L	M	M	MH	MH	ML	MH	M	ML	ML
A9	D1	M	M	M	ML	M	M	M	M	M	ML	ML	M	M	ML	ML
	D2	VH	H	H	MH	M	L	ML	VH	M	MH	MH	M	M	M	ML
	D3	MH	MH	M	ML	L	L	ML	H	H	ML	M	M	M	ML	ML
A10	D1	ML	L	ML	L	VL	VL	ML	VL	MH	M	VL	M	ML	VL	MH
	D2	M	M	MH	M	ML	MH	ML	ML	MH	MH	M	M	MH	ML	VH
	D3	ML	ML	M	ML	VL	VL	ML	M	MH	MH	ML	M	M	ML	VH

Sonraki aşamada, uzmanlar tarafından oluşturulan değerlendirme sonuçlarına ilişkin puanların aritmetik ortalamasının hesaplanması yoluyla değerlendirme matrisi oluşturulur. Bu aşamayı takiben, ağırlıklandırılmış tip-2 bulanık karar matrisi Çizelge 5.11'de gösterildiği gibi oluşturulur.

Çizelge 5.11 Bulanık ağırlıklandırılmış karar matrisi.

C1			C2			C3		
A1	(0.01,0.02,0.02,0.04;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))		((0.01,0.02,0.02,0.06;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))			((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))		
A2	(0.00,0.01,0.01,0.03;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))		((0.02,0.03,0.03,0.08;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))			((0.02,0.04,0.04,0.08;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.06;0.9,0.9))		
A3	(0.01,0.02,0.02,0.04;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))		((0.02,0.02,0.02,0.05;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))			((0.02,0.04,0.04,0.08;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.06;0.9,0.9))		
A4	(0.00,0.01,0.01,0.03;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.08;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))			((0.01,0.01,0.01,0.03;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))		
A5	(0.01,0.02,0.02,0.04;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.08;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))			((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))		
A6	(0.00,0.01,0.01,0.03;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))		((0.02,0.04,0.04,0.08;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.06;0.9,0.9))			((0.00,0.02,1,1),(0.00,0.01;0.9,0.9))		
A7	(0.01,0.02,0.02,0.04;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))		((0.02,0.04,0.04,0.08;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.06;0.9,0.9))			((0.00,0.01,1,1),(0.00,0.0;0.9,0.9))		
A8	(0.00,0.01,0.01,0.03;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))			((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))		
A9	(0.01,0.02,0.02,0.04;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))			((0.01,0.02,0.02,0.06;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))		
A10	(0.00,0.01,0.01,0.02;1,1),(0.00,0.01,0.01;0.9,0.9))		((0.00,0.01,0.01,0.04;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.03;0.9,0.9))					

C4			C5			C6		
A1	(0.02,0.06,0.06,0.14;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.11;0.9,0.9))		((0.02,0.05,0.05,0.13;1,1),(0.03,0.05,0.05,0.1;0.9,0.9))			((0.02,0.06,0.06,0.15;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.12;0.9,0.9))		
A2	(0.03,0.07,0.07,0.16;1,1),(0.04,0.07,0.07,0.13;0.9,0.9))		((0.03,0.08,0.08,0.17;1,1),(0.05,0.08,0.08,0.14;0.9,0.9))			((0.05,0.11,0.11,0.23;1,1),(0.07,0.11,0.11,0.2;0.9,0.9))		
A3	(0.03,0.07,0.07,0.16;1,1),(0.04,0.07,0.07,0.13;0.9,0.9))		((0.04,0.09,0.09,0.19;1,1),(0.05,0.09,0.09,0.16;0.9,0.9))			((0.06,0.13,0.13,0.24;1,1),(0.08,0.13,0.13,0.21;0.9,0.9))		
A4	(0.03,0.07,0.07,0.13;1,1),(0.04,0.07,0.07,0.11;0.9,0.9))		((0.04,0.09,0.09,0.19;1,1),(0.05,0.09,0.09,0.16;0.9,0.9))			((0.04,0.1,0.1,0.21;1,1),(0.06,0.1,0.1,0.18;0.9,0.9))		
A5	(0.02,0.06,0.06,0.15;1,1),(0.04,0.06,0.06,0.12;0.9,0.9))		((0.02,0.05,0.05,0.13;1,1),(0.03,0.05,0.05,0.1;0.9,0.9))			((0.02,0.06,0.06,0.15;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.12;0.9,0.9))		
A6	(0.01,0.04,0.04,0.11;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.08;0.9,0.9))		((0.00,0.02,1,1),(0.00,0.01;0.9,0.9))			((0.00,0.02,1,1),(0.00,0.01;0.9,0.9))		
A7	(0.02,0.02,0.02,0.08;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.06;0.9,0.9))		((0.00,0.02,0.08;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.05;0.9,0.9))			((0.00,0.01,0.01,0.06;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.04;0.9,0.9))		
A8	(0.02,0.06,0.06,0.14;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.11;0.9,0.9))		((0.03,0.03,0.03,0.09;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))			((0.02,0.02,0.02,0.09;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.06;0.9,0.9))		
A9	(0.01,0.04,0.04,0.12;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.09;0.9,0.9))		((0.01,0.04,0.04,0.12;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.09;0.9,0.9))			((0.01,0.03,0.03,0.1;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.07;0.9,0.9))		
A10	(0.01,0.03,0.03,0.09;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.07;0.9,0.9))		((0.00,0.01,0.01,0.05;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.03;0.9,0.9))			((0.01,0.03,0.03,0.09;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.07;0.9,0.9))		

C7			C8			C9		
A1	(0.02,0.06,0.06,0.13;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.1;0.9,0.9))		((0.01,0.02,0.02,0.06;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))			((0.02,0.07,0.07,0.15;1,1),(0.04,0.07,0.07,0.12;0.9,0.9))		
A2	(0.02,0.05,0.05,0.13;1,1),(0.03,0.05,0.05,0.1;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))			((0.02,0.06,0.06,0.13;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.1;0.9,0.9))		
A3	(0.03,0.07,0.07,0.14;1,1),(0.04,0.07,0.07,0.11;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.07;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))			((0.03,0.08,0.08,0.17;1,1),(0.05,0.08,0.08,0.14;0.9,0.9))		
A4	(0.02,0.05,0.05,0.11;1,1),(0.03,0.05,0.05,0.09;0.9,0.9))		((0.01,0.01,0.01,0.04;1,1),(0.01,0.01,0.01,0.03;0.9,0.9))			((0.01,0.03,0.03,0.08;1,1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))		
A5	(0.01,0.04,0.04,0.09;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.07;0.9,0.9))		((0.01,0.02,0.02,0.06;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))			((0.03,0.08,0.08,0.17;1,1),(0.04,0.08,0.08,0.14;0.9,0.9))		
A6	(0.01,0.01,0.01,0.04;1,1),(0.00,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))		((0.02,0.04,0.04,0.07;1,1),(0.02,0.04,0.04,0.05;0.9,0.9))			((0.01,0.05,0.05,0.12;1,1),(0.02,0.05,0.05,0.09;0.9,0.9))		
A7	(0.01,0.03,0.03,0.08;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))		((0.01,0.02,0.02,0.05;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))			((0.01,0.05,0.05,0.12;1,1),(0.02,0.05,0.05,0.09;0.9,0.9))		
A8	(0.01,0.03,0.03,0.09;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))		((0.01,0.02,0.02,0.05;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))			((0.02,0.06,0.06,0.14;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.11;0.9,0.9))		
A9	(0.01,0.03,0.03,0.08;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))		((0.01,0.03,0.03,0.06;1,1),(0.01,0.03,0.03,0.05;0.9,0.9))			((0.02,0.06,0.06,0.14;1,1),(0.03,0.06,0.06,0.11;0.9,0.9))		
A10	(0.02,0.02,0.02,0.07;1,1),(0.01,0.02,0.02,0.05;0.9,0.9))		((0.00,0.01,0.01,0.03;1,1),(0.00,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))			((0.02,0.07,0.07,0.16;1,1),(0.04,0.07,0.07,0.12;0.9,0.9))		

	C10	C11	C12
A1	((0.01,0.02,0.02,0.05;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.03;1.1),(0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))	((0.02,0.04,0.04,0.1;1.1),(0.02,0.04,0.04,0.08;0.9,0.9))
A2	((0.01,0.01,0.02;1.1),(0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))	((0.0,0.0,0.01;1.1),(0.0,0.0,0.01;0.9,0.9))	((0.03,0.06,0.06,0.12;1.1),(0.03,0.06,0.06,0.1;0.9,0.9))
A3	((0.01,0.02,0.02,0.05;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.04;1.1),(0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))	((0.02,0.05,0.05,0.11;1.1),(0.03,0.05,0.05,0.09;0.9,0.9))
A4	((0.0,0.0,0.1;1.1),(0.0,0.0,0.9,0.9))	((0.0,0.0,0.02;1.1),(0.0,0.0,0.01;0.9,0.9))	((0.02,0.05,0.05,0.11;1.1),(0.03,0.05,0.05,0.09;0.9,0.9))
A5	((0.01,0.03,0.03,0.05;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.04;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.04;1.1),(0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))	((0.01,0.03,0.03,0.09;1.1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))
A6	((0.0,0.0,0.1;1.1),(0.0,0.0,0.01;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.06;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))	((0.01,0.04,0.04,0.1;1.1),(0.02,0.04,0.04,0.07;0.9,0.9))
A7	((0.01,0.03,0.03,0.05;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.04;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.05;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))	((0.02,0.04,0.04,0.1;1.1),(0.02,0.04,0.04,0.08;0.9,0.9))
A8	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.04;1.1),(0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))	((0.01,0.04,0.04,0.1;1.1),(0.02,0.04,0.04,0.07;0.9,0.9))
A9	((0.01,0.01,0.03;1.1),(0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.05;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))	((0.01,0.03,0.03,0.08;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))
A10	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.03;1.1),(0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))	((0.01,0.03,0.03,0.08;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))

	C13	C14	C15
A1	((0.01,0.03,0.03,0.09;1.1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))	((0.04,0.1,0.1,0.22;1.1),(0.06,0.1,0.1,0.18;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))
A2	((0.02,0.05,0.05,0.11;1.1),(0.02,0.05,0.05,0.08;0.9,0.9))	((0.06,0.13,0.13,0.23;1.1),(0.08,0.13,0.13,0.21;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))
A3	((0.01,0.03,0.03,0.09;1.1),(0.02,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))	((0.06,0.13,0.13,0.23;1.1),(0.08,0.13,0.13,0.21;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))
A4	((0.01,0.02,0.02,0.07;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.05;0.9,0.9))	((0.04,0.1,0.1,0.22;1.1),(0.06,0.1,0.1,0.18;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))
A5	((0.02,0.04,0.04,0.1;1.1),(0.02,0.04,0.04,0.08;0.9,0.9))	((0.03,0.08,0.08,0.18;1.1),(0.04,0.08,0.08,0.14;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.01,0.03;1.1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))
A6	((0.02,0.02,0.02,0.06;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))	((0.06,0.12,0.12,0.23;1.1),(0.07,0.12,0.12,0.2;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))
A7	((0.02,0.02,0.02,0.06;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.04;0.9,0.9))	((0.0,0.0,0.02;1.1),(0.0,0.0,0.01;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.01,0.03;1.1),(0.01,0.01,0.01,0.02;0.9,0.9))
A8	((0.01,0.03,0.03,0.08;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))	((0.01,0.05,0.05,0.13;1.1),(0.02,0.05,0.05,0.1;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.01,0.02;1.1),(0.01,0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))
A9	((0.01,0.03,0.03,0.08;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))	((0.01,0.05,0.05,0.13;1.1),(0.02,0.05,0.05,0.1;0.9,0.9))	((0.01,0.01,0.01,0.02;1.1),(0.01,0.01,0.01,0.01;0.9,0.9))
A10	((0.01,0.03,0.03,0.08;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))	((0.03,0.03,0.03,0.09;1.1),(0.01,0.03,0.03,0.06;0.9,0.9))	((0.01,0.02,0.02,0.04;1.1),(0.01,0.02,0.02,0.03;0.9,0.9))

Bulanık ağırlıklandırılmış karar çizelgesi oluşturulduktan sonra ise pozitif ideal (FPIS, d_i^+) ve negative ideal (FNIS, d_i^-) çözümler Çizelge 5.12’de gösterildiği gibi elde edilir. Son olarak, herbir alternatifin yakınlık katsayısı (CC_i) hesaplanır.

Çizelge 5.12 Tip-2 aralıklı bulanık kümeler yöntemine dayalı bulanık çok kriterli karar verme yöntemiyle elde edilen sonuçlar.

Alternatifler	$d^+(x_j)$	$d^-(x_j)$	$CC(x_j)$
Jeotermal Enerji (A1)	1.4622	1.6557	0.5310
Güneş Enerjisi (A2)	0.7137	2.1241	0.7485
Rüzgâr Enerjisi (A3)	0.3499	2.5486	0.8793
Hidrolik Enerji (A4)	1.4593	1.6908	0.5367
Biyoenerji (A5)	1.5981	1.6925	0.5143
Hidrojen Enerjisi (A6)	2.6897	0.3579	0.1174
Nükleer Enerji (A7)	3.1515	0.8478	0.2120
Petrol (A8)	2.4740	1.0384	0.2956
Doğal Gaz (A9)	2.3925	1.1328	0.3213
Kömür-Linyit (A10)	3.0036	0.8270	0.2159

Çizelge 5.12’ye göre yatırım önceliğine uygun enerji alternatifleri değerlendirmesi yapılmış ve sıralama A3-A2-A4-A1-A5-A9-A8-A10-A7 ve A6 şeklinde gerçekleşmiştir. Yatırımda yatırım önceliği en iyi enerji alternatifinin Türkiye için rüzgâr olduğu ortaya çıkmıştır. Geri kalan alternatiflerin öncelik sıralaması ise şu şekildedir: güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyoenerji, doğal gaz, petrol, kömür-linyit, nükleer enerji ve hidrojen enerjisidir.

Bu makalede, enerji planlaması ve yatırımına yönelik bulanık çok kriterli karar verme sorunlarını çözmek için tip-2 aralıklı TOPSIS yöntemini ve tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemini birlikte kullanılmıştır. Bu nedenle çalışmada, tip-2 aralıklı bulanık kümelere dayalı yeni bir bulanık çok kriterli karar verme yöntemi önerilmiştir. İlk aşamada, kriter ağırlıkları, tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Sonra, tip-2 aralıklı bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenen sıralama vektörüne göre bütün alternatiflerin sıralama değerleri hesaplanmıştır. Önerilen yöntem, geleceğe yönelik enerji yatırımlarının planlanmasında kullanılacak en uygun enerji alternatifleri sıralamasını belirlemek için Türkiye’nin sahip olduğu enerji kaynakları değerlendirilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, tüm dünyada sosyal ve ekonomik kalkınmanın en temel girdilerinden olup her geçen gün önemi daha da artmakta ve dünyadaki stratejik konumunu da uzun yıllar koruyacağı düşünülmektedir. Bu durum tüm ülkelerin sahip oldukları enerji kaynaklarını verimli kullanması gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından her geçen gün daha fazla yararlanması sağlanarak arz güvenliği, eşit koşullarda yararlanma, enerji üretirken veya tüketirken çevreye olan etkileri gibi temel konular dikkate alınarak enerji kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir bir plan çerçevesinde kullanımının yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

Sanayi devrimiyle başlayıp günümüze kadar giderek artan enerji tüketimi ile birlikte gelişen teknolojik altyapı ve ülkelerin enerji tüketimleri ile enerji üretimleri arasındaki açığın giderek büyümesi tüm dünyayı etkilemiştir. Enerjinin aynı zamanda sosyal, ekonomik, siyasal vb. gibi etkileri nedeniyle birçok konuda Dünya'daki olayları etkileme ve yönlendirme gücüne sahiptir. ABD'nin İran'a uygulamış olduğu ambargo ile birlikte İran'ın, dünya petrolünün beşte birinin geçtiği Hürmüz Boğazı'nı kapatacağı resti Dünya'nın petrol talebinde farklılık oluşturmuş ve petrole olan ihtiyacı artırmıştır. Öte yandan, Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkelerinde ortaya çıkan siyasal gerilimler, Japonya'da yaşanan deprem bölgedeki petrol ve doğalgaz yatırımlarını olumsuz etkilemiştir. Bu tür olayların gerçekleşmiş olması petrol ve doğalgaz fiyatlarının yükselmesine neden olmuştur. Dünya enerji üretiminde % 33 gibi bir paya sahip olan petrol ve % 24 gibi bir paya sahip olan doğalgazın fiyatında böyle artış olması doğal olarak enerji arzı ve tüketimini olumsuz etkilemiştir. ABD, Irak ve Orta Doğu ile Çin ve Hindistan'daki gelişmeler, uluslararası alanda enerji arzı ve tüketimine ilişkin politikalara yeni boyutlar kazandırmıştır.

Uluslararası alandaki genel durum, enerji sektörünün niteliği ve %70'leri aşan oranda enerji tüketiminde dışa bağımlı olması nedeniyle Türkiye de kendi enerji kaynaklarını başta yenilenebilir olmak üzere tüm alternatif kaynaklarını dışa bağımlılıklarını minimize edecek şekilde kullanması gerekmektedir. Bunu yaparken kamu yararı gözeterek daha kaliteli, daha verimli, daha güvenilir, daha etkin, daha ucuz, daha çevre ile dost, kesintisiz ve sürdürülebilir olmayı ilke edinmelidir. Sürdürülebilir bir politika çerçevesinde yeni kaynaklar üzerinde daha fazla düşünülerek ve daha hızlı bir şekilde alternatiflerin üretilmesi konusunda yeni strateji oluşturma ve etkin planlama gerekliliği üzerinde tüm dikkatini toplaması gerekmektedir.

Tüm bu belirtilen durumlar göz önüne alındığında bu çalışmada, Türkiye'de enerji kullanımı ve ortak koşullarının yanı sıra önümüzdeki 25 yıl içinde enerji tedarik ve talep projeksiyonları için son trendler konusunda bilgi içermektedir. Çalışmada ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları dâhil tüm enerji kaynakları için, enerji sektörünün geliştirilmesi ve enerji piyasalarında rekabet edebilmek için enerji sektörünün yeniden düzenlenmesi amacıyla politikalar oluşturulmaktadır.

Bu çalışmanın ilk aşaması, Türkiye'nin ve Dünya'nın genel enerji durum değerlendirmesi yapıldıktan sonra Türkiye'nin içinde bulunduğu 2014 yılı itibari ile güçlü, zayıf, fırsatları ve tehditlerinin olduğu genel SWOT analizi ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın ikinci aşaması TBA ve ANFİS metotlarının birleştirilmesi ile hibrit bir metot oluşturulmuştur. Buna ek olarak elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında oluşan farklar değerlendirilmiştir. Oluşturulan bu metot ile Türkiye'de enerji kullanım miktarını analiz için çalıştırılmış ve metodun performansı RMSE, MAPE ve MAE ile hata miktarı değerlendirilmiştir. Test için kullanılan 2006-2011 yılları için elde edilen sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasında çok da önemli farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın üçüncü aşaması, enerji planlaması ve enerji yatırımına yönelik bulanık çok kriterli karar verme metodu için tip-2 aralıklı TOPSIS yöntemi ve tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi birlikte kullanılmıştır. Bu nedenle çalışmada, tip-2 aralıklı bulanık kümelere dayalı yeni bir bulanık çok kriterli karar verme metodolojisi önerilmiştir. Önerilen metodoloji, Türkiye enerji planlaması için en uygun enerji alternatifinin öncelik sıralamasının saptanması amacıyla kullanılmıştır. İlk aşamada, kriter ağırlıkları, tip-2 aralıklı bulanık AHP yöntemi ile belirlenmiştir. Sonra, tip-2

aralıklı bulanık TOPSIS yöntemi ile belirlenen sıralama vektörüne göre bütün alternatiflerin öncelik değerleri hesaplanmıştır.

Bu nedenle, bu çalışmada 2014 yılı genel durum temel alınarak Türkiye'nin sahip olduğu enerji kaynakları için mevcut durum tespiti ile birlikte enerji maliyeti analizi, enerji tüketim miktarı, enerji üretim miktarı, enerji verimliliği, enerjinin üretim ve tüketiminden kaynaklı çevresel etkileri ve diğer dünya devletleri ile karşılaştırmalı değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, SWOT analizi ile belirtilen Türkiye'nin güçlü yanları, zayıf yanları, fırsatları ve tehditleri gibi stratejik önem parametreleri ortaya konulmuştur. Türkiye'nin gelecekte muhtemel enerji tüketim miktarı 2034 yılına kadar ortaya konulmuştur. Türkiye'nin sahip olduğu enerji kaynaklarının potansiyel önem dereceleri; verimlilik, ekserji verimliliği, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, NO_x salınımı, CO₂ salınımı, gerekli alan, toplumsal kabul edilebilirlik, istihdam yaratma, net bugünkü kazanç, risk, güvenilirlik, uygulama süresi, atık imha güvenilirliği, enerji politikalarına uyumluluk kriterleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Yukarıda ortaya konulan SWOT analizi, talep tahmini verileri ve enerji alternatiflerinin öncelik sıralaması başlıkları bir bütün içerisinde dikkate alındığında yapılan analizler ve bilgiler ışığında aşağıdaki stratejiler oluşturulmuştur.

Bu amaçla;

- Her yıl ortalama %9 oranında büyüyen enerji ihtiyacını karşılamak için Türkiye'nin yapacağı kısa ve uzun dönemli enerji planlamasında rüzgâr enerjisine ve güneş enerjisine odaklanmalıdır. Türkiye'nin sistemde ortaya çıkan enerji gereksinimini karşılamak için yapacağı teşvikleri bu iki enerji kaynağını ilk sıraya koyarak yapmalıdır. Ortaya konulan SWOT analizi ve talep tahminleri dikkate alındığında kısa ve uzun dönemli planlamada toplumun beklentileri olan risk minimizasyonu, atık güvenilirliği, CO₂ ve NO_x salınımı gibi parametreler dikkate alındığında rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi alternatiflerinin ilk sırada değerlendirme gerekliliği ortaya çıkmaktadır.
- Uzun dönemli enerji planlamasında rüzgâr ve güneş enerjisinin yanına hidrolik enerji, jeotermal enerji ve biyoenerji kaynaklarını devreye alacak şekilde teknoloji yatırımı yapılmalı ve özel sektör özendirme çalışmaları yaparak bu yenilenebilir enerji kaynaklarını devreye almalıdır.

- Beşinci sıra önem derecesine sahip biyoenerji “biyogaz, biyoyakıt ve biyokütle” kullanımını maksimize etmek için uygun stratejiler ve eylem planları oluşturularak devlet desteği ve teşvikleriyle yatırımcı “Hammadde üreticisinden, biyoenerji kullanıcısına kadar” özendirilmelidir. Bunu yaparken aynı zamanda bu tür yakıtların kullanım alanlarının “biyoenerji ile çalışan araçlar kullanım teşviki, ulaştırma yakıtı teşviki vb.” yaygınlaştırılmasını sağlayacak yasal düzenlemeler yapılmalıdır.
- Türkiye’nin yenilenebilir enerji potansiyeli, güvenilir, gerçekçi ve belirli bir büyüklüğe kadar yeterlidir. Eğer teknoloji altyapısı ve altyapı çalışmaları geliştirilip enerji talebi iyi yönetilebilirse yenilenebilir enerjinin maliyeti daha ucuz olabilir. Enerjide maliyet minimizasyon çalışmaları desteklenmeli ve özendirilmelidir. Yeni yönetim metotleri araştırılmalıdır.
- Dünyada elektrik talebinin en fazla arttığı ikinci ülke konumunda Türkiye bulunmaktadır. Türkiye’nin önümüzdeki dönemlerde ekonomik ve sosyal gelişme hedefleri ile tutarlı olarak elektrik enerjisi kullanım endişeleri üzerinde yerel işbirliğinin sağlanması önemlidir. Bu nedenle, elektrik enerjisi fiyatlandırma çalışmalarını yaparken toplumun yeni dönemde elektrik için ödeyebileceği fiyatın psikolojik sınırını belirlemesi gerekmektedir. Belirlenen bu fiyata tüm enerji kaynaklarının en ideal kullanım oranlarını belirleyerek enerji kaynaklarından maksimum verim sağlayacak yeni bir fiyat politikası oluşturulmalıdır. Oluşturulan bu politika aynı zamanda enerji kaynaklarından elektrik elde etmek için gerekli teknolojik yatırımların planlanmasını ve enerji alternatiflerinin teknolojik yatırımları arasında bu ekonomik payın dengeli dağıtılması ile gelecek için teknoloji verimliliği sürdürülebilir bir politikaya kavuşturulmuş olunacaktır. Yapılan bu çalışmalar ile Türkiye, enerji talebi artışı bakımından dünyanın en dinamik enerji ekonomilerinden biri olmaya devam etmesi beklenilebilir.
- Türkiye enerji kaynaklarına yeni rezervler eklemeli ve yeni keşiflerde bulunmalıdır. Aksi halde Türkiye’nin dışarıya enerji bağımlılığı giderek artacaktır. Bunun için Türkiye’nin kara ve denizlerinde sürekli petrol araması yapılmalıdır. Bu nedenle, Doğu ve Güneydoğu bölgesine sınır devletlerin petrol kuyuları Türkiye sınırlarından pekte uzakta bulunmamaktadır. Fakat sınır şeridinde terör olaylarından dolayı petrol veya doğalgaz aramaları yeterince yapılamamaktadır. Eğer terör olayları bir şekilde durdurulabilir ve gerekli sondajlama çalışmaları

“daha derin ve optimal noktalarda” gerçekleştirilebilir ise gerekli rezervlere ulaşmanın pek de zor olmayacağı bilinmelidir.

- Daha öncede belirtildiği gibi uluslararası alandaki genel durum, enerji sektörünün niteliği ve %70’leri aşan oranda enerji tüketiminde dışa bağımlı olması nedeniyle Türkiye, enerji tedariği yaptığı kaynak ülke ve güzergâh çeşitliliğine gitmesi gerekmektedir. Bu durum, gerçekleşebilecek uluslararası herhangi bir kriz veya milli çıkarlar doğrultusunda atılmış herhangi bir adım nedeniyle herhangi bir kaynak ülke ile yaşayabileceği bir kriz söz konusu olduğunda, kaynak ülke konusunda alternatif oluşturmada hiçbir zorlukla karşılaşmayacak şekilde kendini yeniden planlama kabiliyeti oluşturulmalıdır.
- Daha önce de belirtildiği gibi Türkiye’nin özellikle petrol ve doğalgaz enerji kaynaklarında dışa bağımlı bir ülkedir. Bu durum, tüm nükleer teknolojiye sahip olan ülkeler gibi Türkiye’nin de enerji üretiminde dışa bağımlılıktan olabildiğince kurtarmak, elektrik enerjisi üretiminde kaynak çeşitliliği sağlamak, çevre dostu bir enerji türü seçmiş olmak ve ileri ve prestijli bir teknolojiye sahip olmak için nükleer enerji kaynağı kullanımına geçmek zorunluluğu bulunmaktadır. Türkiye elektrik enerjisini %50-60 gibi nükleer santrallerden/kaynaklardan sağlayacak gibi altyapı oluşturmalı ve geriye kalan elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmeyi planlamalı ve bunu bir devlet politikası haline getirmelidir. Bu durumu sürdürülebilir hale getirmek için çok sayıda insanın nükleer teknoloji sahasında çoğunlukla yurt dışı olmak üzere eğitilmesi gerekmektedir. Nükleer yakıt çevrimini tamamlamak ve nükleer güç santrallerinin yerel olarak dizayn ve inşa amacına yönelik olarak geniş çaplı çalışmalar yapılmalı ve uranyum zenginleştirme tesisi kurulmalıdır. Türkiye ile nükleer konusunda kendini ispatlamış ve güçlü ülke/ülkeler (ABD, Çin, Rusya, Japonya, Kore, Fransa vd.) arasında nükleer konularda işbirliğine gidilmelidir. Burada amaç Türkiye’nin işbirliği yaptığı ülke/ülkeler ile gücünü birleştirerek sağlam bir endüstriyel yapıya kavuşmak ve nükleer konusundaki diğer ülkelerin kafalarında oluşabilecek soru işaretlerini gidermek ve müdahaleleri engelleyici tedbirler oluşturmak olmalıdır.
- Türkiye’yi nükleer konusunda hem sivil hem de askeri alanda bir güç haline getirmek için “ milli nükleer teknoloji” projesi başlatılmalıdır. Bu proje için üniversiteler merkez alınarak yoğun bir çalışma beraberinde getirmelidir. Bu proje çerçevesinde tüm fizibilite çalışması dâhil nükleer programın elektrik enerjisi

üretimi milli planlaması, nükleer programın yakıt çevrimi çalışmaları, nükleer programın milli mühendislik ve nükleer enerji sanayisi ile koordinasyonu, gerekli insan gücünün ve onların eğitim ve öğretim ihtiyaçlarının belirlenmesi, teknoloji transferi ve finansal kaynakların oluşturulması bulunmalıdır. Burada amaç; nükleer santrallerin dizaynını yapmakta ve inşasını yönetmekte, nükleer enerji kaynaklı elektrik üretimi gerçekleştirmekte, nükleer santral teknolojilerini elde etmekte ve yönetmekte, nükleer enerji alanında yaratıcılıkta; danışmanlık yapmak, nükleer santraller için işletme ve bakım hizmetleri vermek, nükleer santralinin inşaatının ön etütlerini yapmak ve aynı zamanda nükleer buhar üretim sisteminin ağır parçalarını imal edecek altyapıların desteklenmesi olmalıdır. Aynı zamanda Türkiye'nin nükleer maden kaynaklarını (Uranyum, Toryum vb.) ve sanayisinin altyapısını ve potansiyelini göz önüne alınarak bir planlamanın oluşturulması gerekmektedir.

- Nükleer enerji kullanım endişeleri üzerinde yerel işbirliğinin sağlanması amacıyla fayda ve maliyet kalemlerini içeren “harcanan nükleer yakıt maliyet yönetim sistemi” konusunda oluşturulmuş çeşitli “nükleer güç geliştirme senaryolarının” değerlendirme ve test çalışmaları gerekmektedir. (Toplumsal kabul ile kriter kriter karşılaştırma matrisi bu konunun önem ve ehemmiyetini ortaya koymaktadır.)
- Türkiye’de kaya gazı çalışmalarına da başlanmıştır. 2012 yılında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), Türkiye’de Diyarbakır, Erzurum ve Trakya’daki üç alanda kaya gazı-petrol baseni olduğunu belirlemiştir [230]. Bu yeni enerji kaynağını dengeli bir politika çerçevesinde optimal üretilmeli ve bu konuda gerekli teknolojik yatırımlar şimdiden gerçekleştirilmeli ve yetkin personel yetiştirmelidir. Elde edilen bu enerji kaynağı ile doğal gaza olan bağımlılık minimize edilmelidir.
- Üreticisinden tüketiciye kadar tüm tarafların temsil edildiği Enerji Platformları desteklenmelidir. Üniversite destekli sanayi kuruluşlarımızda Ar-Ge bütçeleri oluşturularak sürdürülebilir bir yeni teknoloji yönetimi ve gelişimini sağlayacak “Teknoloji Yönetim Sistemi” sağlanmalıdır.
- Suyun tedarik edildiği alanların dış etkenlerden çabuk etkilenecek kirleniyor olması, suyun giderek önem kazandığı ve kıtlaştığı günümüzde su kaynaklarının korunması ve güvenilirliğinin sağlanması konuları giderek önem kazanmaktadır. Suyun efektif kullanılabilmesi için Türkiye’de su israfını önlemeye yönelik yeni politikalar oluşturulmalıdır. Enerji üretiminde kullanılan suların çevresel etkileri ve

verimlilikleri, kullanılan suların tekrar dönüştürülmeleri, modern teknolojilerin ve yöntemlerin öncelikle tarım alanlarında kullanımı, endüstriyel su kullanımı gibi temel kullanım alanları kontrol altına alınacak şekilde efektifliği sağlayacak ve israf minimize edecek şekilde “her alanda etkili su tüketim metotları” konusunda üniversitelerin de dahil olduğu yoğun bir çalışma başlatılmalıdır.

- Orman alanlarının korunması ve artırılması çalışmalarının sürdürülebilirliğini sağlayacak bir strateji oluşturularak CO₂ emisyonunun minimize edilmesi hedeflenmelidir. Bu alandaki talebi karşılayacak “enerji ormanları” gibi bir çalışma başlatılabilir.
- Yaşam kalitesini etkileyen etkenlerin başında gelen, insanların ömürleri boyunca ihtiyaç duyduğu, insanın sağlığı ile paralellik arz eden; mental, psikolojik, yaratıcılık, verimlilik, huzur ve hoş görü gibi insancıl davranışlarının kalitesinde büyük etkiye sahip olan oksijenin tazeliğinin korunması oldukça önem arz etmektedir. İnsanların çoğunun yaşadığı şehirlerde özellikle İstanbul gibi büyük şehirlerde belirlenen noktalarda CO₂ oranını minimize edecek şekilde ağaçlandırma çalışmaları ya da parklar oluşturularak “nefes parkları” adı altında kapsamlı bir proje yapılmalıdır. Bu çalışmada, parkların bulunması gereken noktalar ve dikilecek ağaç sayısı; nüfus yoğunluğu, bölge iklim koşulları, bitki örtüsü ve ağaç türü-CO₂ çevrim kapasitesi vb. dikkate alınarak projelendirilmelidir. Gerekirse kamusallaştırma çalışmalarına da gidilebilir.
- Sera etkisini azaltmak ve enerji tedarikini kolaylaştırmayı sağlayacak yeni alternatif önerilerinin ortaya çıkması için enerji sektöründe ve Türkiye ekonomisinde ortaya çıkacak fayda ve maliyetleri kontrol altına alınabilecek gelecekte enerji parkuru içinde hangi enerji kaynaklarına ne kadar eğilim gösterileceği ve hangi yakıtların alternatifli kullanılacağı konusunda yedek enerji senaryolarının geliştirilmesi gerekmektedir.
- CO₂ emisyonlarının maliyetlerinin minimize edilmesi için çeşitli enerji stratejileri oluşturulmalı ve sistemde sürekli ölçümler yapılmalıdır.
- Bu çalışmada talep tahmini yapmak için gerekli verileri TÜİK’ ten ve daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilen verilerin toplanmasıyla yapılmıştır. Fakat ulaşılmak istenilen tüm verilere ulaşılamamıştır. Bu verilerin daha geniş anlamda kullanıma uygun bir şekilde tekrar düzenlenmesi ve yeni verilerin toplanması

gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları başta olmak üzere tüm enerji kaynakları için kullanım oranları hane başına, kişi başına gibi spesifik başlıklar oluşturularak gelecekte kullanılabilir daha spesifik amaca hizmet edecek şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

- Uzun vadede tüm sektörlerin enerji alternatif planları oluşturmaları sağlanmalıdır. Bunun için her sektör için ayrı ayrı veri kümelerinin yeniden yapılandırılması ve yeniden düzenleme yapılması gerekmektedir. Bu veri kümelerinin diğer sektörlerinde kullanabileceği alt sektör ve son kullanıcı gibi spesifik başlıklar şeklinde oluşturulmalıdır.

Türkiye hızlı bir ekonomik büyüme içerisinde olan bir ülkedir. Buna bağlı olarak, kısa vadede ekonomisini büyümesini sürdürmesi için yeterli doğal kaynaklar da sahiptir. Ayrıca, Türkiye ekonomik gelişmesinin büyük bir kısmını sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayarak da önümüzdeki 20 yıl boyunca devam ettirebileceği izlenimi de söz konusudur. Türkiye’de mevcut enerji sektörü ve pazar yapısı, devlet politikaları ve enerji teknolojilerindeki gelişmeler enerjinin geleceğini etkileme açısından ciddi önem taşımaktadır.

Gelecekte, önerilen yöntem ile tedarikçi seçimi, tesis yeri seçimi, materyal seçimi ve yazılım seçimi gibi konulara ilişkin diğer karar verme sorunlarına da uygulanabilir. Bunlara ek olarak, bir sonraki çalışmalarda bölgesel iklim farklılıkları olan Türkiye’nin bölgesel olarak enerji kaynağı eğilim değerlendirmesi ve talebini ortaya koyan çalışma yapılmalıdır. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda, hangi bölgede hangi enerji kaynağı için yatırım yapılmasının karlı ve avantajlı olduğu ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Yuan, J. H., Kang, J. G., Zhao, C. H., ve Hu, Z. G. (2008). "Energy consumption and economic growth: evidence from China at both aggregated and disaggregated levels". *Energy Economics*, 30(6): 3077-3094.
 - [2] Soytaş, U., ve Sari, R. (2006). "Energy consumption and income in G-7 countries". *Journal of Policy Modeling*, 28(7): 739-750.
 - [3] Ozturk, H. K., Canyurt, O. E., Hepbasli, A., ve Utlu, Z. (2004). "Residential-commercial energy input estimation based on genetic algorithm (GA) approaches: an application of Turkey". *Energy and Buildings*, 36(2): 175-183.
 - [4] Yang, J., Rivard, H., ve Zmeureanu, R. (2005). "On-line building energy prediction using adaptive artificial neural networks". *Energy and buildings*, 37(12): 1250-1259.
 - [5] Karatasou, S., Santamouris, M., ve Geros, V. (2006). "Modeling and predicting building's energy use with artificial neural networks: Methods and results". *Energy and Buildings*, 38(8): 949-958.
 - [6] Li, K., Su, H., ve Chu, J. (2011). "Forecasting building energy consumption using neural networks and hybrid neuro-fuzzy system: A comparative study". *Energy and Buildings*, 43(10): 2893-2899.
 - [7] Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ., ve Özşahin, T. Ş. (2011). "Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables". *Applied Energy*, 88(5): 1927-1939.
 - [8] Egelioglu, F., Mohamad, A. A., ve Guven, H. (2001). "Economic variables and electricity consumption in Northern Cyprus". *Energy*, 26(4): 355-362.
 - [9] Feinberg, E. A., ve Genethliou, D. (2005). "Load forecasting". In *Applied mathematics for restructured electric power systems*, Springer US: 269-285.
 - [10] Roken, R. M., ve Badri, M. A. (2006). "Time Series Models for Forecasting Monthly Electricity Peak-Load for Dubai". Chancellor's Undergraduate Research Award.
 - [11] Kaygusuz, K. (2002). "Environmental impacts of energy utilisation and renewable energy policies in Turkey". *Energy Policy*, 30(8): 689-698.
 - [12] Abulfotuh, F. (2007). "Energy efficiency and renewable technologies: the way to sustainable energy future". *Desalination*, 209(1): 275-282.
 - [13] Demirbas, A. (2008). "Importance of biomass energy sources for Turkey". *Energy Policy*, 36(2): 834-842.
 - [14] Kahraman, C., Kaya, İ., ve Cebi, S. (2009). "A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy

- axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process". *Energy*, 34(10): 1603-1616.
- [15] Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., ve Zhao, J. H. (2009). "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9): 2263-2278.
- [16] Kaya, T., ve Kahraman, C. (2010). "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR ve AHP methodology: The case of Istanbul". *Energy*, 35(6): 2517-2527.
- [17] Samouilidis, J., ve Mitropoulos, C. S. (1982). "Energy-economy models: A survey". *European Journal of Operational Research*, 11(3): 222-232.
- [18] Pohekar, S. D., ve Ramachandran, M. (2004). "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4): 365-381.
- [19] Chang, N. B., Parvathinathan, G., ve Breeden, J. B. (2008). "Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region". *Journal of environmental management*, 87(1): 139-153.
- [20] Zadeh, L. A. (1975). "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I". *Information sciences*, 8(3): 199-249.
- [21] Chen, T. Y. (2012). "A linear assignment method for multiple-criteria decision analysis with interval type-2 fuzzy sets". *Applied Soft Computing*.
- [22] Aisbett, J., Rickard, J. T., ve Morgenthaler, D. (2011). "Multivariate modeling and type-2 fuzzy sets". *Fuzzy Sets and Systems*, 163(1): 78-95.
- [23] Wu, D., ve Mendel, J. M. (2007). "Uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets". *Information Sciences*, 177(23), 5378-5393.
- [24] Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets". *Information and control*, 8(3): 338-353.
- [25] Dünya Enerji Konseyi, Enerji Raporu 2012, Aralık 2012, Ankara; ISSN: 1301-6318
- [26] Yamak, T. (2006). Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları potansiyel ve ekonomik analizler, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- [27] Koç, E., Şenel, M. C. (2013). "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme," *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 639: 32-44.
- [28] Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji: <http://www.aymoli.com/enerji-kaynaklari-ve-yenilenebilir-enerjiler-nelerdir/#more-5776> 12.12.2013
- [29] Engin, N. (2010). "Enerji kaynağı olarak doğalgaz ve Türkiye", *Marmara Coğrafya Dergisi*, 22: 233-244
- [30] Temurçin, K., ve Aliağaoğlu, A. (2003). "Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye' de Nükleer Enerji Gerçeği", *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2: 25-39
- [31] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu 2009 Enerji Raporu; <http://www.taek.gov.tr/component/content/article/208-dozimetri/457-dozimetreler-nerede-muhafaza-edilir.html> 12.11.2013

- [32] Çukurçayır, M.A., ve Sağır, H. “Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları”, Selçuk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi: 257-277
- [33] E. Toklu, (2013). “Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey”, Renewable Energy, 50: 456-463
- [34] Aslan, A., ve Çam, S. (2013). “ Alternative and nuclear energy consumption-economic growth nexus for Israel: Evidence based on bootstrap-corrected causality tests”, Progress In Nuclear Energy, 62: 50-53
- [35] Mediavilla, M., Castro, C., Capellan, I., ve Miguel, L. J. (2013). “The transition towards renewable energies: Physical limits and temporal conditions”, Energy Policy, 52: 297-311
- [36] Varınca, K.B., ve Gönüllü, M.T. (2006). “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma”, UGHEK 2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 21-23 Haziran: 270-275
- [37] Kanlı, A.İ.,ve Kanlı, A. “Ülkemizin Alternatif Enerji Kaynaklarına Genel Bir Bakış”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi: 145-154
- [38] Ertürk, F. (2006). “Türkiye’nin alternatif enerji üretim imkanları ve Fırsatları”, Türkiye’ de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu: 105-118
- [39] Gençoğlu, M. T. (2002). “Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14.2: 57-64
- [40] Yumurtacı, Z., ve Bekiroğlu, N. (2013). Yenilenebilir enerji kaynakları ve teknolojileri, Yıldız Teknik Üniversitesi ders notu
- [41] Arslan, S., Darıcı, M., ve Karahan, Ç. (2001). “Jeotermal Enerji Semineri”, 21-28
- [42] Tutar, F., ve Eren, M.V. (2011). “Geleceğin Enerjisi: Hidrojen Ekonomisi Ve Türkiye”, International Journal of Economic and Administrative Studies, 6, ISSN: 1307-9832
- [43] Gökdemir, M., Kömürcü, M.İ., ve Evcimen, T.U. (2012). “Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve Hes Uygulamalarına Genel Bakış”, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi 471: 18-26
- [44] Yumurtacı, Z., ve Bekiroğlu, N. (2005). “Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri”, Uluslararası Eko Teknolojiler ve Ekolojik Yerleşimler Sempozyumu, 14-15, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul,Türkiye.
- [45] International Energy Agency (IEA) Key World Energy Statistics, 9, rue de la Fédération 75739 Paris Cedex 15, France, 2013
- [46] BP Energy Outlook 2030, January 2012, United Kingdom, London, 2012
- [47] TMMOB-Makina Mühendisleri Odası, Türkiye’nin Enerji Görünümü, 2. Baskı: Nisan 2012 / Ankara, MMO/588, ISBN: 978-605-01-0358-8
- [48] Global Energy Statistical Yearbook 2013- <http://yearbook.enerdata.net/coal-and-lignite-production.html#energy-primary-production.html> 12.12.2013
- [49] World Energy Outlook IEA, London, 12 November 2012

- [50] Genel Enerji Denge Çizelgeleri-ETKB http://www.enerji.gov.tr/index.php?sf=webpagesveb=y_istatistikvebn=244vehn=244veid=398 12.12.2013
- [51] Hampetrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu TPAO, Mayıs 2013,
- [52] BP 2012, Survey of Energy Resources WEC 2010, ISBN: 0 946121 26 5
- [53] BP Statistical Review of World Energy, June 2012
- [54] OPEC, World Oil Outlook 2012, Vienna, Austria, 2012, ISBN 978-3-9502722-4-6
- [55] Türkiye doğalgaz piyasası: Beklentiler, gelişmeler (2012), http://www.deloitte.com/view/tr_tr/tr/ae034ee667f26310VgnVCM3000001c56f00aRCRD.htm
- [56] IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2012, ISBN 978-92-9169-131-9
- [57] Ataç, A., ve Leblebici, A. (2010). “Türkiye’de Hidroelektrik Enerjinin Gelişimi”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Konseyi: 209-217
- [58] The World Nuclear Industry Status Report 2013, Paris, London, July 2013
- [59] BP Statistical Review of World Energy, June 2013, 62. Baskı, bp.com/statisticalreview 12.12.2013
- [60] Xu, P., ve Chan, E. H. (2013). “ANP model for sustainable Building Energy Efficiency Retrofit (BEER) using Energy Performance Contracting (EPC) for hotel buildings in China”. Habitat International, 37: 104-112.
- [61] Kutlu, A. C., ve Ekmekçioğlu, M. (2012). “Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP”. Expert Systems with Applications, 39(1): 61-67.
- [62] Yu, S. W., ve Zhu, K. J. (2012). “A hybrid procedure for energy demand forecasting in China”. Energy, 37(1): 396-404.
- [63] Shan, B. G., Xu, M. J., Zhu, F. G., ve Zhang, C. L. (2012). “China's Energy Demand Scenario Analysis in 2030”. Energy Procedia, 14: 1292-1298.
- [64] Yu, S., Zhu, K., ve Zhang, X. (2012). “Energy demand projection of China using a path-coefficient analysis and PSO–GA approach”. Energy Conversion and Management, 53(1): 142-153.
- [65] Fan, Y., ve Xia, Y. (2012). “Exploring energy consumption and demand in China”. Energy, 40(1): 23-30.
- [66] Yanli, M., Yanjiang, L., ve Yuee, G. (2012). “Forecast on Energy Demand of Road Transportation in China”. Energy Procedia, 16: 403-408.
- [67] Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., ve Paksoy, T. (2012). “A novel hybrid approach based on particle swarm optimization and ant colony algorithm to forecast energy demand of Turkey”. Energy conversion and management, 53(1): 75-83.
- [68] Bordignon, S., Bunn, D. W., Lisi, F., ve Nan, F. (2013). “Combining day-ahead forecasts for British electricity prices”. Energy Economics, 35: 88-103.

- [69] Forouzanfar, M., Doustmohammadi, A., Hasanzadeh, S., ve Shakouri G, H. (2012). "Transport energy demand forecast using multi-level genetic programming". *Applied Energy*, 91(1): 496-503.
- [70] Sueyoshi, T., ve Goto, M. (2012). "Efficiency-based Rank assessment for electric power industry: a combined use of data envelopment analysis (DEA) and DEA-Discriminant analysis (DA)". *Energy Economics*, 34(3): 634-644.
- [71] Doukas, H., Marinakis, V., Karakosta, C., ve Psarras, J. (2012). "Promoting renewables in the energy sector of Tajikistan". *Renewable Energy*, 39(1): 411-418.
- [72] Hongbo, Z., ve Nian, Z. (2011). "Forecast of Energy Demand in the Next Decade". *Energy Procedia*, 5: 2536-2539.
- [73] Khanh Toan, P., Minh Bao, N., ve Ha Dieu, N. (2011). "Energy supply, demand, and policy in Viet Nam, with future projections". *Energy Policy*, 39(11): 6814-6826.
- [74] He, Y. X., Zhang, S. L., Zhao, Y. S., Wang, Y. J., ve Li, F. R. (2011). "Energy-saving decomposition and power consumption forecast: The case of liaoning province in China". *Energy Conversion and Management*, 52(1): 340-348.
- [75] Rout, U. K., Voß, A., Singh, A., Fahl, U., Blesl, M., ve Ó Gallachóir, B. P. (2011). "Energy and emissions forecast of China over a long-time horizon". *Energy*, 36(1): 1-11.
- [76] Chenchen, L., Yan, G., ve Zhuyan, S. (2011). "Energy demand forecast based on the new weakening buffer operators with exponential type". *Energy Procedia*, 5: 2522-2526.
- [77] Lee, W. S., ve Lin, L. C. (2011). "Evaluating and ranking the energy performance of office building using technique for order preference by similarity to ideal solution". *Applied Thermal Engineering*, 31(16): 3521-3525.
- [78] Sadeghzadeh, K., ve Salehi, M. B. (2011). "Mathematical analysis of fuel cell strategic technologies development solutions in the automotive industry by the TOPSIS multi-criteria decision making method". *International journal of hydrogen energy*, 36(20): 13272-13280.
- [79] Yan, G., Ling, Z., ve Dequn, Z. (2011). "Performance evaluation of coal enterprises energy conservation and reduction of pollutant emissions base on GRD-TOPSIS". *Energy Procedia*, 5: 535-539.
- [80] San Cristóbal, J. R. (2011). "Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: the Vikor method". *Renewable energy*, 36(2): 498-502.
- [81] Sola, A. V. H., Mota, C. M. D. M., ve Kovaleski, J. L. (2011). "A model for improving energy efficiency in industrial motor system using multicriteria analysis". *Energy Policy*, 39(6): 3645-3654.
- [82] Daly, H. E., ve Ó Gallachóir, B. P. (2011). "Modelling future private car energy demand in Ireland". *Energy Policy*, 39(12): 7815-7824.
- [83] Shafie-Khah, M., Moghaddam, M. P., ve Sheikh-El-Eslami, M. K. (2011). "Price forecasting of day-ahead electricity markets using a hybrid forecast method". *Energy Conversion and Management*, 52(5): 2165-2169.

- [84] Dilaver, Z., ve Hunt, L. C. (2011). "Turkish aggregate electricity demand: an outlook to 2020". *Energy*, 36(11): 6686-6696.
- [85] Geem, Z. W. (2011). "Transport energy demand modeling of South Korea using artificial neural network". *Energy Policy*, 39(8): 4644-4650.
- [86] Jia, L. I. U., Wenying, C. H. E. N., ve Deshun, L. I. U. (2011). "Scenario analysis of China's future energy demand based on TIMES model system". *Energy Procedia*, 5: 1803-1808.
- [87] Paulus, M., ve Borggreffe, F. (2011). "The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany". *Applied Energy*, 88(2): 432-441.
- [88] Huang, Y., Bor, Y. J., ve Peng, C. Y. (2011). "The long-term forecast of Taiwan's energy supply and demand: LEAP model application". *Energy Policy*, 39(11): 6790-6803.
- [89] Lee, S. K., Mogi, G., Li, Z., Hui, K. S., Lee, S. K., Hui, K. N., ... ve Kim, J. W. (2011). "Measuring the relative efficiency of hydrogen energy technologies for implementing the hydrogen economy: An integrated fuzzy AHP/DEA approach". *international journal of hydrogen energy*, 36(20): 12655-12663.
- [90] Kaya, T., ve Kahraman, C. (2011). "Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology". *Expert Systems with Applications*, 38(6): 6577-6585.
- [91] Lee, S., Mogi, G., Lee, S., ve Kim, J. (2011). "Prioritizing the weights of hydrogen energy technologies in the sector of the hydrogen economy by using a fuzzy AHP approach". *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(2): 1897-1902.
- [92] Cavallaro, F. (2010). "Fuzzy TOPSIS approach for assessing thermal-energy storage in concentrated solar power (CSP) systems". *Applied Energy*, 87(2): 496-503.
- [93] Theodorou, S., Florides, G., ve Tassou, S. (2010). "The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review". *Energy policy*, 38(12): 7783-7792.
- [94] Inglesi, R. (2010). "Aggregate electricity demand in South Africa: conditional forecasts to 2030". *Applied Energy*, 87(1): 197-204.
- [95] Celiktaş, M. S., ve Kocar, G. (2010). "From potential forecast to foresight of Turkey's renewable energy with Delphi approach". *Energy*, 35(5): 1973-1980.
- [96] Bhattacharyya, S. C., ve Timilsina, G. R. (2010). "Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured?". *Energy Policy*, 38(4): 1979-1990.
- [97] Kucukali, S., ve Baris, K. (2010). "Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach". *Energy Policy*, 38(5): 2438-2445.
- [98] Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Pastor-Ferrando, J. P., ve Rodríguez-Pozo, F. (2010). "An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 249-264.

- [99] Heo, E., Kim, J., ve Boo, K. J. (2010). "Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8): 2214-2220.
- [100] Pilavachi, P. A., Chatzipanagi, A. I., ve Spyropoulou, A. I. (2009). "Evaluation of hydrogen production methods using the analytic hierarchy process". *International Journal of hydrogen energy*, 34(13): 5294-5303.
- [101] Deshmukh, S. S., ve Deshmukh, M. K. (2009). "A new approach to micro-level energy planning—A case of northern parts of Rajasthan, India". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3): 634-642.
- [102] Terrados, J., Almonacid, G., ve Pérez-Higueras, P. (2009). "Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8): 2022-2030.
- [103] Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., ve Kiosses, I. (2009). "Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete". *Energy Policy*, 37(5): 1587-1600.
- [104] Lu, I. J., Lewis, C., ve Lin, S. J. (2009). "The forecast of motor vehicle, energy demand and CO₂ emission from Taiwan's road transportation sector". *Energy Policy*, 37(8): 2952-2961.
- [105] Neves, L. P., Martins, A. G., Antunes, C. H., ve Dias, L. C. (2008). "A multi-criteria decision approach to sorting actions for promoting energy efficiency". *Energy Policy*, 36(7): 2351-2363.
- [106] Papadopoulos, A., ve Karagiannidis, A. (2008). "Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems". *Omega*, 36(5): 766-776.
- [107] Ben Salah, C., Chaabene, M., ve Ben Ammar, M. (2008). "Multi-criteria fuzzy algorithm for energy management of a domestic photovoltaic panel". *Renewable Energy*, 33(5): 993-1001.
- [108] Baruah, D. C., ve Bora, G. C. (2008). "Energy demand forecast for mechanized agriculture in rural India". *Energy Policy*, 36(7): 2628-2636.
- [109] Srinivasan, D. (2008). "Energy demand prediction using GMDH networks". *Neurocomputing*, 72(1): 625-629.
- [110] Jian, C., Ju'E, G., ve Hu, L. (2008). "Forecasting energy demand of China using Bayesian Combination model". *China Population, Resources and Environment*, 18(4): 50-55.
- [111] Ünler, A. (2008). "Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025". *Energy Policy*, 36(6): 1937-1944.
- [112] Adams, F. G., ve Shachmurove, Y. (2008). "Modeling and forecasting energy consumption in China: Implications for Chinese energy demand and imports in 2020". *Energy economics*, 30(3): 1263-1278.
- [113] Mavrotas, G., Diakoulaki, D., Florios, K., ve Georgiou, P. (2008). "A mathematical programming framework for energy planning in services' sector

- buildings under uncertainty in load demand: the case of a hospital in Athens". *Energy policy*, 36(7): 2415-2429.
- [114] Lee, S. K., Mogi, G., ve Kim, J. W. (2008). "The competitiveness of Korea as a developer of hydrogen energy technology: the AHP approach". *Energy policy*, 36(4): 1284-1291.
 - [115] Hiremath, R. B., Shikha, S., ve Ravindranath, N. H. (2007). "Decentralized energy planning; modeling and application—a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5): 729-752.
 - [116] Terrados, J., Almonacid, G., ve Hontoria, L. (2007). "Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools.: Impact on renewables development". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6): 1275-1287.
 - [117] Løken, E. (2007). "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7): 1584-1595.
 - [118] Ediger, V. Ş., ve Akar, S. (2007). "ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey". *Energy Policy*, 35(3): 1701-1708.
 - [119] Winebrake, J. J., ve Sakva, D. (2006). "An evaluation of errors in US energy forecasts: 1982–2003". *Energy policy*, 34(18): 3475-3483.
 - [120] Zhou, P., Ang, B. W., ve Poh, K. L. (2006). "Decision analysis in energy and environmental modeling: an update". *Energy*, 31(14): 2604-2622.
 - [121] Erdoğan, Ş., Aras, H., ve Koç, E. (2006). "Evaluation of alternative fuels for residential heating in Turkey using analytic network process (ANP) with group decision-making". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3): 269-279.
 - [122] Keong, C. Y. (2005). "Energy demand, economic growth, and energy efficiency—the Bakun dam-induced sustainable energy policy revisited". *Energy policy*, 33(5): 679-689.
 - [123] Yao, A. W., ve Chi, S. C. (2004). "Analysis and design of a Taguchi–Grey based electricity demand predictor for energy management systems". *Energy Conversion and Management*, 45(7): 1205-1217.
 - [124] Tanatvanit, S., Limmeechokchai, B., ve Chungpaibulpatana, S. (2003). "Sustainable energy development strategies: implications of energy demand management and renewable energy in Thailand". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7(5): 367-395.
 - [125] Beccali, M., Cellura, M., ve Mistretta, M. (2003). "Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology". *Renewable Energy*, 28(13): 2063-2087.
 - [126] Haralambopoulos, D. A., ve Polatidis, H. (2003). "Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework". *Renewable Energy*, 28(6): 961-973.
 - [127] Jacobsen, H. K. (2000). "Technological progress and long-term energy demand—a survey of recent approaches and a Danish case". *Energy Policy*, 29(2): 147-157.

- [128] Hung, C. Q., Batanov, D. N., ve Lefevre, T. (1998). "KBS and macro-level systems: support of energy demand forecasting". *Computers in Industry*: 37(2), 87-95.
- [129] Fouquet, R., Pearson, P., Hawdon, D., Robinson, C., ve Stevens, P. (1997). "The future of UK final user energy demand". *Energy Policy*, 25(2): 231-240.
- [130] Georgopoulou, E., Lalas, D., ve Papagiannakis, L. (1997). "A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option". *European Journal of Operational Research*, 103(1): 38-54.
- [131] Beccali, M., Cellura, M., ve Ardente, D. (1998). "Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology". *Energy Conversion and Management*, 39(16): 1869-1881.
- [132] Assimakopoulos, V., ve Psarras, J. (1992). "A double horizon peak demand forecast model". *Energy economics*, 14(2): 103-106.
- [133] Tatlıdil, H., (1996). "Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz", Engin Yayınları, Ankara: 11-12.
- [134] SANGÜN L., (2007). "Temel Bileşenler Analizi, Ayırma Analizi, Kümeleme Analizleri Ve Ekolojik Verilere Uygulanması Üzerine Bir Araştırma", Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana 12s.
- [135] İpekçi, Ç. E., (2003). "Çok Değişkenli Analizlerin Pazarlama ile İlgili Araştırmalarda Kullanımı: 1995-2002 Arası Yazın Taraması", *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 5: 32-47.
- [136] Özdamar, K., (2002). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi (Çok Değişkenli Analizler)*, 4. Baskı, Kaan Kitabevi, Eskişehir: 405-415, 487.
- [137] Sharma, S., (1996). "Applied Multivariate Techniques", John Wiley ve Sons Inc., New York, 187.
- [138] Everitt, B. S., (1994). *Statistical Methods in Medical Investigations*, Second Edition, Edward Arnold, London: 96-102.
- [139] Wu, J. D., Milton, D.K., Hammond, S.K. and Spear, R.C., (1999). "Hierarchical Cluster Analysis Applied to Workers Exposures in Fiberglass Insulation Manufacturing", *Ann. Occup. Hyg.*, 43 (1): 43-55.
- [140] Dawson-Saunders, B., Trapp, R. G., (1996). *Statistical Methods for Multiple Variable, Basic and Clinical Biostatistics*, Mc Graw Hill, New York: 210-231.
- [141] ÇANKAYA, S., (2005). *Kanonik Korelasyon Analizi ve Hayvancılıkta Kullanımı*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Adana, 135s.
- [142] Johnson, R. A., ve Wichern, D. W. (2002). *Applied multivariate statistical analysis* (Vol. 5, No. 8). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.
- [143] Dincer, B., Özaslan M. ve Kavasoğlu, T., (2003). "İllerin ve Bölgelerin Sosyoekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması", DPT 2671, Ankara: 33-34.
- [144] Jackson, J.E., (1991). *A User's Guide to Principal Components*. Wiley, NY, USA.

- [145] Krazanowski, W.J., (1988). Principles of Multivariate Analysis. A User's Perspective. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- [146] Filiz, Z., (2003). "Güvenilirlik Çözümlemesi, Temel Bileşenler ve Faktör Çözümlemesi", Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt.4, No.2: 211–222.
- [147] Jolliffe, I. T., (2002). "Principal Component Analysis". Springer-Verlag, New-York.
- [148] Yazar, I., Yavuz, H.S., Cay, M. A., (2009). "Temel Bileşen Analizi Yönteminin Ve Bazı Klasik Ve Robust Uyarlamalarının Yüz Tanıma Uygulamaları". Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, XXII, 1.
- [149] Çilli M., (2007). "İnsan Hareketlerinin Modellenmesi ve Benzeşiminde Temel Bileşenler Analizi Yönteminin Kullanılması", Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü: 240.
- [150] SCAN—Software for Chemometric Analysis. Rel. 1.1 for Windows, (1995), Minitab, USA.
- [151] Pearson, K., (1901), "On lines and planes of closest fit to systems of points in space", Philosophical Magazine, 2: 559–572.
- [152] Hotelling, H. (1933). "Analysis of a complex of statistical variables into principal components". Journal of educational psychology, 24(6): 417.
- [153] Ersungur, S.M., Kızıltan, A., ve Polat, O., (2007). "Türkiye’de Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması: Temel Bileşenler Analizi", İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi. 21: 2.
- [154] Dursun, O. F., Kaya, N., ve Firat, M. (2012). "Estimating discharge coefficient of semi-elliptical side weir using ANFIS". Journal of Hydrology, 426: 55-62.
- [155] Rahmanian, B., Pakizeh, M., Mansoori, S.A.A., Esfandyari, M., Jafari, D., Maddah, H., ve Maskooki, A., (2012). "Prediction of MEUF process performance using artificial neural networks and ANFIS approaches", Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 43: 558–565
- [156] Bila S, Harkouss Y, ve Ibrahim M, (1999). "An accurate wavelet neural-networkbased model for electromagnetic optimization of microwave circuits". Int J Radio Freq Identif Technol Appl Microwave Comput Aided Eng, 93: 297–306.
- [157] Devabhaktuni V., Yagoub MCE., ve Fang Y., (2001). "Neural networks for microwave modeling: model development issues and nonlinear modeling techniques", Int J RF Microw Comput Aided Eng, 11: 4–21.
- [158] Kimura M, ve Nakano R., (2000). "Dynamical systems produced by recurrent neural networks", Syst Comput Jpn, 31: 818–28.
- [159] Hippert H.S., (2001). "Neural Networks for Short-Term Load Forecasting: A Review and Evaluation", IEEE Transactions On Power Systems, VOL. 16, NO. 1.
- [160] Park, D. C., El-Sharkawi, M. A., Marks, R. J., Atlas, L. E., ve Damborg, M. J. (1991). "Electric load forecasting using an artificial neural network. Power Systems", IEEE Transactions on, 6(2): 442-449.

- [161] Badri, A., Ameli, Z., ve Birjandi, A. M. (2012). "Application of artificial neural networks and fuzzy logic methods for short term load forecasting", *Energy Procedia*, 14: 1883-1888.
- [162] Holmukhe, R. M., Dhumale, M. S., Chaudhari, M. P., ve Kulkarni, M. P. (2010). "Short Term Load Forecasting with Fuzzy Logic Systems for power system planning and reliability-A Review". In *AIP Conference Proceedings* Vol. 1298, p. 445.
- [163] Chow, M. Y., ve Tram, H. (1996). "Application of fuzzy logic technology for spatial load forecasting. In *Transmission and Distribution Conference, 1996. IEEE Proceedings*". 608-614.
- [164] Onat, N., ve Ersoz, S. (2011). "Analysis of wind climate and wind energy potential of regions in Turkey". *Energy*, 36(1): 148-156.
- [165] Jang, J. S. (1993). "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *Systems, Man and Cybernetics*", *IEEE Transactions on*, 23(3): 665-685.
- [166] Nayak, P. C., Sudheer, K. P., Rangan, D. M., ve Ramasastri, K. S. (2004). "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series". *Journal of Hydrology*, 291(1): 52-66.
- [167] Yilmaz, I., ve Kaynar, O. (2011). "Multiple regression, ANN (RBF, MLP) and ANFIS models for prediction of swell potential of clayey soils". *Expert Systems with Applications*, 38(5): 5958-5966.
- [168] Loukas, Y. L. (2001). "Adaptive neuro-fuzzy inference system: an instant and architecture-free predictor for improved QSAR studies". *Journal of medicinal chemistry*, 44(17): 2772-2783.
- [169] Yurdusev, M. A., ve Firat, M. (2009). "Adaptive neuro fuzzy inference system approach for municipal water consumption modeling: An application to Izmir, Turkey". *Journal of Hydrology*, 365(3): 225-234.
- [170] Tas, Ü. (2009). "Design of an educational simulator for modeling and control of physiological systems using of artificial intelligence techniques", *Dissertation, Marmara University, Institute of Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul*.
- [171] Jang, J. S., ve Sun, C. T. (1995). "Neuro-fuzzy modeling and control". *Proceedings of the IEEE*, 83(3): 378-406.
- [172] Demirel Ö. (2009). Estimation of electrical energy load with ANFIS and ARMA models. Master thesis, Marmara University, Institute of Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, Turkey
- [173] Mehrabi, M., Pesteei, S. M., ve Pashae G, T. (2011). "Modeling of heat transfer and fluid flow characteristics of helicoidal double-pipe heat exchangers using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)". *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(4): 525-532.
- [174] Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., (1997). "Neuro-Fuzzy and Soft Computing". Prentice Hall, ISBN 0-13-261066-3: 607p.
- [175] Fahimifard, S.M., Salarpour, M., Sabouhi, M., ve S. Shirzady, (2009) "Application of ANFIS to agricultural economic variables forecasting, case study: poultry retail price". *Journal of Artificial Intelligence* 2 (2): 65–72.

- [176] Krueger, E., Prior, S.A., Kurtener, D., Rogers, H.H., ve Runion, G.B., (2011). "Characterizing root distribution with adaptive neuro-fuzzy analysis", *International Agrophysics* 25: 93–96.
- [177] Serge, G., (2001). "Designing fuzzy inference systems from data: Interpretability oriented review". *IEEE Transaction on Fuzzy Systems* 9 (3): 426–442.
- [178] Firat, M., ve Güngör, M. (2007). "River flow estimation using adaptive neuro fuzzy inference system". *Mathematics and Computers in Simulation*, 75(3): 87-96.
- [179] Übeyli, E. D. (2008). "Adaptive neuro-fuzzy inference system employing wavelet coefficients for detection of ophthalmic arterial disorders". *Expert Systems with Applications*, 34(3): 2201-2209.
- [180] Rahimi-Ajdadi, F., ve Abbaspour-Gilandeh, Y. (2011). "Artificial Neural Network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption". *Measurement*, 44(10): 2104-2111.
- [181] Singh, J., ve Gill, S. S. (2010). "Modelling for tensile strength of friction welded aluminium pipes by ANFIS". *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 1(1): 3-20.
- [182] Saat, M., (2000), "Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Yöntemi", *Gazi Üniversitesi İ.İ.B.F Dergisi*, 2: 149-162.
- [183] Barbarosoğlu G. ve Yazgaç T., (1997) "An Application of the Analytic Hierarchy Process to the Supplier Selection Problem", *Production and Inventory Management Journal*, 38, 1: 14-21.
- [184] Liu, F. H. F., ve Hai, H. L. (2005). "The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier". *International Journal of Production Economics*, 97(3): 308-317.
- [185] Supçiller, A.A., Çapraz, O., (2011). *Ekonometri ve İstatistik Sayı:13* (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı): 1–22.
- [186] Yoon, K. P., ve Hwang, C. L. (Eds.). (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction* (No. 102-104). Sage.
- [187] Chen, C. T. (2000). "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment". *Fuzzy sets and systems*, 114(1): 1-9.
- [188] Wang, W., Liu, X., ve Qin, Y. (2012). "Multi-attribute group decision making models under interval type-2 fuzzy environment". *Knowledge-Based Systems*, 30: 121-128.
- [189] Wang, Y. M., ve Elhag, T. (2006). "Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment". *Expert Systems with Applications*, 31(2): 309-319.
- [190] Chen, S. M., ve Lee, L. W. (2010). "Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method". *Expert Systems with Applications*, 37(4): 2790-2798.
- [191] Lee, L. W., ve Chen, S. M. (2008). "Fuzzy multiple attributes hierarchical group decision-making based on the ranking values of interval type-2 fuzzy

- sets". In Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference on IEEE: 3266-3271.
- [192] Hu, J., Zhang, Y., Chen, X., ve Liu, Y. (2013). "Multi-criteria decision making method based on possibility degree of interval type-2 fuzzy number". Knowledge-Based Systems, 43: 21-29.
 - [193] Vahdani, B., ve Hadipour, H. (2011). "Extension of the ELECTRE method based on interval-valued fuzzy sets". Soft Computing, 15(3): 569-579.
 - [194] Chen, T. Y. (2011). "Multi-criteria decision-making method with leniency reduction based on interval-valued fuzzy sets". Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 28(1): 1-19.
 - [195] Chen, T. Y. (2011). "Optimistic and pessimistic decision making with dissonance reduction using interval-valued fuzzy sets". Information Sciences, 181(3): 479-502.
 - [196] Chen, T. Y. (2012). "Multiple criteria group decision-making with generalized interval-valued fuzzy numbers based on signed distances and incomplete weights". Applied Mathematical Modelling, 36(7): 3029-3052.
 - [197] Chen, S. M., Yang, M. W., Lee, L. W., ve Yang, S. W. (2012). "Fuzzy multiple attributes group decision-making based on ranking interval type-2 fuzzy sets". Expert Systems with Applications, 39(5): 5295-5308.
 - [198] Chen, T. Y. (2013). "A signed-distance-based approach to importance assessment and multi-criteria group decision analysis based on interval type-2 fuzzy set". Knowledge and information systems: 1-39.
 - [199] Mendel, J. M., John, R. I., ve Liu, F. (2006). "Interval type-2 fuzzy logic systems made simple". Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 14(6): 808-821.
 - [200] Chen, S. M., ve Lee, L. W. (2010). "Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the ranking values and the arithmetic operations of interval type-2 fuzzy sets". Expert Systems with applications, 37(1): 824-833.
 - [201] Mendel, J. M., ve John, R. B. (2002). "Type-2 fuzzy sets made simple. Fuzzy Systems". IEEE Transactions on, 10(2): 117-127.
 - [202] Wu, D., ve Mendel, J. M. (2007). "Aggregation using the linguistic weighted average and interval type-2 fuzzy sets". Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 15(6): 1145-1161.
 - [203] Lee, L. W., ve Chen, S. M. (2008). "A new method for fuzzy multiple attributes group decision-making based on the arithmetic operations of interval type-2 fuzzy sets". In Machine Learning and Cybernetics, 2008 International Conference on IEEE: 3084-3089.
 - [204] Chen, S. M., Yang, M. W., ve Lee, L. W. (2011). "A new method for fuzzy multiple attributes group decision making based on ranking interval type-2 fuzzy sets". In Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2011 International Conference on IEEE: 142-147.
 - [205] Yu, C. S. (2002). "A GP-AHP method for solving group decision-making fuzzy AHP problems". Computers ve Operations Research, 29(14): 1969-2001.
 - [206] Chang, D. Y. (1996). "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP". European journal of operational research, 95(3): 649-655.

- [207] Krohling, R. A., ve Campanharo, V. C. (2011). "Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea". *Expert Systems with Applications*, 38(4): 4190-4197.
- [208] Limanond, T., Jomnonkwao, S., ve Srikaew, A. (2011). "Projection of future transport energy demand of Thailand". *Energy policy*, 39(5): 2754-2763.
- [209] Zhang, M., Mu, H., Li, G., ve Ning, Y. (2009). "Forecasting the transport energy demand based on PLSR method in China". *Energy*, 34(9): 1396-1400.
- [210] Meng, M., ve Niu, D. (2011). "Annual electricity consumption analysis and forecasting of China based on few observations methods". *Energy Conversion and Management*, 52(2): 953-957.
- [211] Murat, Y. S., ve Ceylan, H. (2006). "Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling". *Energy Policy*, 34(17): 3165-3172.
- [212] Ermis, K., Midilli, A., Dincer, I., ve Rosen, M. A. (2007). "Artificial neural network analysis of world green energy use". *Energy Policy*, 35(3): 1731-1743.
- [213] Geem, Z. W., ve Roper, W. E. (2009). "Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network". *Energy Policy*, 37(10): 4049-4054.
- [214] Ekonomou, L. (2010). "Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks". *Energy*, 35(2): 512-517.
- [215] Qin, W. J. B. (2009). "Energy demand forecasting model in China based on wavelet-neural network". *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 11: 016.
- [216] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., ve Sohrabkhani, S. (2008). "Annual electricity consumption forecasting by neural network in high energy consuming industrial sectors". *Energy Conversion and Management*, 49(8): 2272-2278.
- [217] Ceylan, H., ve Ozturk, H. K. (2004). "Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach". *Energy Conversion and Management*, 45(15): 2525-2537.
- [218] Haldenbilen, S., ve Ceylan, H. (2005). "Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey". *Energy Policy*, 33(1): 89-98.
- [219] Canyurt, O. E., Ozturk, H. K., Hepbasli, A., ve Utlü, Z. (2005). "Estimating the Turkish residential-commercial energy output based on genetic algorithm (GA) approaches". *Energy policy*, 33(8): 1011-1019.
- [220] Canyurt, O. E., ve Öztürk, H. K. (2006). "Three different applications of genetic algorithm (GA) search techniques on oil demand estimation". *Energy conversion and management*, 47(18): 3138-3148.
- [221] Canyurt, O. E., ve Ozturk, H. K. (2008). "Application of genetic algorithm (GA) technique on demand estimation of fossil fuels in Turkey". *Energy Policy*, 36(7): 2562-2569.
- [222] Amjadi, M. H., Nezamabadi-Pour, H., ve Farsangi, M. M. (2010). "Estimation of electricity demand of Iran using two heuristic algorithms". *Energy Conversion and Management*, 51(3): 493-497.

- [223] Assareh, E., Behrang, M. A., Assari, M. R., ve Ghanbarzadeh, A. (2010). "Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran". *Energy*, 35(12), 5223-5229.
- [224] Duran Toksarı, M. (2007). "Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey". *Energy Policy*, 35(8), 3984-3990.
- [225] Toksarı, M. D. (2009). "Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: case of Turkey". *Energy Policy*, 37(3), 1181-1187.
- [226] Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., ve Baskan, O. (2008). "Transport energy modeling with meta-heuristic harmony search algorithm, an application to Turkey". *Energy Policy*, 36(7), 2527-2535.
- [227] Shabbir, R., ve Ahmad, S. S. (2010). "Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model". *Energy*, 35(5), 2323-2332.
- [228] Yan, X., ve Crookes, R. J. (2009). "Reduction potentials of energy demand and GHG emissions in China's road transport sector". *Energy Policy*, 37(2), 658-668.
- [229] Azadeh, A., Ghaderi, S. F., Tarverdian, S., ve Saberi, M. (2007). "Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption". *Applied Mathematics and Computation*, 186(2), 1731-1741.
- [230] TÜİK-Türkiye İstatistik Göstergeler Statistical Indicators 1923-2011, ISBN 978-975-19-5571-5

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abit BALIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.01.1983/Elazığ
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : abitbalin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Endüstri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2008
Lise	Düz	MİHL	2000