

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ZAMAN SERİLERİNE DAYALI TAHMİN YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE’NİN  
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKALRI TALEBİNİN TAHMİNİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisi Neslihan KAYA**

**HAZİRAN 2017**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ZAMAN SERİLERİNE DAYALI TAHMİN YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE'NİN**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI TALEBİNİN TAHMİNİ**

**Endüstri Mühendisi Neslihan KAYA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 / 05 / 2017**

**Tezin Savunma Tarihi : 13 / 06 / 2017**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN**

**Trabzon 2017**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Neslihan KAYA Tarafından Hazırlanan**

**ZAMAN SERİSİNE DAYALI TAHMİN YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE'NİN  
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI TALEBİNİN TAHMİNİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 23 / 05 / 2017 gün ve 1703 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Cevriye GENCER** .....

**Üye : Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN** .....

**Üye : Doç. Dr. Emrullah DEMİRCİ** .....

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Enerji günümüzde; sanayide ulaşımda ve konutlarda en önemli girdilerden biridir. Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle enerjinin hayatımızdaki yeri önem kazanmış ve bu durum insanların refah düzeylerindeki iyileşmeye destek olurken enerjiye olan talebi de arttırmıştır. Artan talebin karşılanması gerekliliği, fosil kaynaklı yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve önümüzdeki yıllarda birçoğunun ekonomik olarak kullanılabilirliğini kaybedecek veya sonlanacak olması, temiz ve tükenmeyen enerji kaynakları olarak tanımlanan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaların çoğalmasını sağlamıştır.

Çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarına oluşabilecek talebi belirlemek, önümüzdeki yıllarda bu kaynakların kullanımını arttırmak için yapılacak yatırımlara yol göstermek, yenilenebilir enerjinin farkındalığını arttırmak, kendi enerjimizi üretmemiz için teşvik etmek ve bilime katkı sağlamaktır.

Tez çalışmam boyunca bana bilgi ve tecrübeleriyle yol gösterip beni her zaman destekleyen değerli danışmanım Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN hocama ve Arş. Gör. Miraç MURAT'a, çalışmamda bana yardımcı olan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Daire Başkanı Dr. Yüksel MALKOÇ'a, manevi olarak hep yanımda olduklarını hissettiğim sevgili dostlarım ve arkadaşlarıma, bütün eğitim hayatım boyunca bana güvenen, maddi manevi katkılarıyla beni yalnız bırakmayan çok değerli anneme, babama ve canım kardeşime teşekkür ederim.

Neslihan KAYA

Trabzon, 2017

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Zaman Serilerine Dayalı Tahmin Yöntemleri İle Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Talebinin Tahmini” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/06/2017

Neslihan KAYA

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	XIII
1.1. Giriş .....	1
1.2. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması.....	1
1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları .....	2
1.2.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları .....	3
1.2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	3
1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları .....	3
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelim Sebepleri.....	4
1.3.1. Enerji Arzının Güvenliği ve Sürekliliği .....	4
1.3.2. Sosyal ve Ekonomik Nedenler .....	4
1.3.3. Çevresel Nedenler.....	4
1.4. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	4
1.5. Dünya’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
1.6. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tanımı.....	6
1.6.1. Güneş Enerjisi .....	6
1.6.1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları .....	8
1.6.1.2. Türkiye’de ve Dünya’da Güneş Enerjisi Potansiyeli .....	8
1.6.2. Rüzgar Enerjisi .....	10
1.6.2.1. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları .....	11
1.6.2.2. Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgar Enerjisi Potansiyeli.....	11
1.6.3. Jeotermal Enerji.....	12

1.6.3.1.	Jeotermal Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları.....	12
1.6.3.2.	Türkiye’de ve Dünya’da Jeotermal Enerji Potansiyeli .....	13
1.6.4.	Biyokütle Enerjisi .....	14
1.6.4.1.	Biyokütle Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları.....	15
1.6.4.2.	Türkiye’de ve Dünya’da Biyokütle Enerjisi Potansiyeli .....	15
1.6.5.	Hidroelektrik Enerjisi .....	17
1.6.5.1.	Hidroelektrik Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları.....	17
1.6.5.2.	Türkiye’de ve Dünya’da Hidroelektrik Enerji Potansiyeli .....	18
1.7.	Yenilenebilir Enerjiden Faydalanma Maliyeti .....	19
1.8.	Dünya’da Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Kurulu Kapasitesi.....	20
1.9.	AB’de Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Kurulu Kapasitesi .....	22
1.10.	Enerji Tahminin Önemi .....	23
1.11.	Türkiye’nin Enerji Stratejisi ve Hedefleri .....	24
1.12.	AB’nin Enerji Stratejisi ve Hedefleri .....	24
2.	Literatür Araştırması.....	26
3.	KULLANILAN YÖNTEMLER .....	37
3.1.	Yapay Sinir Ağları.....	37
3.2.	Yapay Sinir Ağları Temel İşlemleri .....	38
3.3.	Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları .....	41
3.4.	Yapay Sinir Ağları Tasarımı .....	41
3.4.1.	Normalizasyon.....	42
3.4.2.	Yapay Sinir Ağları Topolojisi Seçimi .....	42
3.4.3.	Katman ve Nöron Sayısı Belirleme .....	42
3.4.4.	Diğer Etkenler.....	43
3.4.4.1.	Öğrenme Katsayısı .....	43
3.4.4.2.	Momentum Katsayısı.....	43
3.5.	Yapay Sinir Ağlarında Ağ Yapıları .....	43
3.5.1.	Yapay Sinir Ağları’nın Sınıflandırılması .....	43
3.5.1.1.	İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları .....	44
3.5.1.1.1.	Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Ağı.....	44
3.5.1.1.2.	Öğrenme Vektör Nicelendirmesi (Learning Vector Quantization) Ağı .....	45
3.5.1.2.	Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	46
3.6.	Yapay Sinir Ağlarında Eğitim .....	47

3.6.1.	Eğitimin Sonlandırılması.....	47
3.7.	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme .....	48
3.7.1.	Danışmanlı Öğrenme.....	48
3.7.1.1.	Geri Yayılım Algoritması(Backpropagation).....	48
3.7.2.	Danışmansız Öğrenme.....	49
3.7.2.1.	Uyarlanır Rezonans (ART) Ağı.....	50
3.7.3.	Takviyeli Öğrenme .....	50
3.8.	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Kuralları.....	50
3.8.1.	Hebb Kuralı .....	50
3.8.2.	Hopfield Kuralı.....	51
3.8.3.	Delta Kuralı .....	51
3.8.4.	Kohonen Kuralı .....	51
3.9.	Arıma Yöntemi.....	51
3.9.1.	Modelin Belirlenmesi .....	53
3.9.1.1.	Otokovaryans Fonksiyonu .....	53
3.9.1.2.	Otokorelasyon Fonksiyonu.....	54
3.9.1.3.	Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu .....	54
3.9.2.	Model Parametrelerinin Hesaplanması.....	55
3.9.3.	Uygunluk Testi .....	55
3.9.3.1.	Akaike Bilgi Kriteri (AIC) .....	55
3.9.3.2.	Schwarzs Bilgi Kriteri (SIC).....	55
3.10.	Gri Tahmin Yöntemi .....	56
3.10.1.	GM(1,1) Modeli .....	56
3.10.1.1.	Gri İteratif.....	58
3.10.1.2.	Gri Doğrudan.....	58
4.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	60
4.1.	Yapay Sinir Ağı Modellerinin Yapısı.....	61
4.2.	Yapay Sinir Ağı Modellerinin Ağırlık Değerleri .....	63
4.3.	Uygun Arıma Modelleri .....	65
4.4.	Gri Tahmin Yöntemi İçin Optimum Modellerin Seçimi .....	66
4.5.	Tahmin Sonuçlarının Grafikselsel Olarak Karşılaştırılması .....	67
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	70
6.	KAYNAKLAR.....	72



7.	EKLER .....	84
	ÖZGEÇMİŞ	

## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

#### ZAMAN SERİLERİNE DAYALI TAHMİN YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI TALEBİNİN TAHMİNİ

Neslihan KAYA

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Şükrü ÖZŞAHİN  
2017, 83 Tez Sayfa, 3 Ek Sayfa

Fosil yakıt kullanımının çevreye verdiği zararlar, bu yakıtların sınırlı rezervleri ve ithal edilme zorunluluğu nedeniyle yenilenebilir enerjiye yönelim gereklilik halini almış ve talep artmıştır. Enerjiye olan bu talebin doğru tahmin edilebilmesi yapılacak planlama çalışmalarının da geçerliliğini arttıracaktır. Bu çalışmada yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlı etkilerden kaçınmak ve ekonomik açıdan avantaj sağlamak amacıyla yönelebileceğimiz alternatif bir enerji olan yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle) tanıtılmış, Türkiye ve Dünya’daki potansiyelleri ve maliyetleri analiz edilmiş, avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir. Enerjiye olan talep doğru tahmin edildiğinde yatırım kararlarına, ithalat ve ihracat oranlarına katkı sağlanmış olmaktadır. Yapılan çalışmayla Türkiye için her bir enerji kaynağının YSA ve ARIMA modelleri ile gelecek 14 yıllık talebi Gri Tahmin modeliyle gelecek 12 yıllık talebi 1990–2014 yılları arasındaki tüketim verilerinden faydalanılarak tahmin edilmiştir. YSA modellerini değerlendirmek için ARIMA ve GRİ TAHMİN modelleri kurulmuş, karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu yöntemlerin sonuçları incelendiğinde YSA yönteminin diğer iki yonteme göre çok daha başarılı olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağları, Zaman serileri, Gri tahmin, Yenilenebilir enerji

Master Thesis

SUMMARY

FORECASTING OF TURKEY'S RENEWABLE ENERGY RESOURCES  
DEMAND WITH TIME SERIES ESTIMATION METOD

Neslihan KAYA

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Industrial Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Şükrü ÖZŞAHİN  
2017, 83 Pages, 3 Appendix Pages

The damage caused by the use of fossil fuels has become a requirement for renewable energy because of its limited reserves and the obligation to import. This demand, which is energy, will increase the validity of planning studies to be predicted correctly. In this study to avoid the harmful effects of nonrenewable energy resources on the environment and to provide economical advantages, renewable energy resources which is an alternative energy that we can go towards is (solar, wind, hydropower, geothermal, biomass) introduced, whose potential and cost are analyzed across Turkey and across the World and advantages and disadvantages are emphasized. When the demand for energy is estimated correctly, it contributes to investment decisions and import and export rates. With the work done, estimates of YSA and ARIMA models of each energy source for the next 14 years and the demand for the next 12 years with gray forecasting model were obtained by using consumption data between 1990-2014. Arima and Gray Estimation models established for evaluate the ANN models and comparisons were made. When the results of these methods are evaluated, it is seen that the YSA method is much more successful than the other two methods.

**Key Words:** Artificial neural network, Time series, Grey forecast, Renewable energy

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	2
Şekil 2. Dünya birincil enerji kaynakları kullanımı .....	3
Şekil 3. Türkiye enerji kaynakları kullanım oranları .....	5
Şekil 4. Dünya’da yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranları .....	5
Şekil 5. Güneş enerjisi.....	6
Şekil 6. Fotovoltaik güneş enerjisi paneli .....	7
Şekil 7. Isıl güneş teknolojisi .....	7
Şekil 8. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası .....	9
Şekil 9. Dünya’da önemli PV pazarına sahip ülkeler .....	10
Şekil 10. Rüzgar enerjisi türbinleri .....	10
Şekil 11. Rüzgar enerjisinin Dünya’daki yeri .....	12
Şekil 12. Jeotermal enerji kaynağı .....	13
Şekil 13. Türkiye orman kaynaklı biyokütle potansiyeli .....	16
Şekil 14. Biyolojik sinir hücresi.....	37
Şekil 15. Yapay sinir ağı hücresi .....	38
Şekil 16. İleri beslemeli yapay sinir ağı .....	44
Şekil 17. Çok katmanlı ağ .....	45
Şekil 18. Öğrenme vektör nicelendirilmesi ağı.....	46
Şekil 19. Geri beslemeli yapay sinir ağı .....	46
Şekil 20. Geri yayılım algoritması .....	49
Şekil 21. YSA modeli-1 .....	62
Şekil 22. YSA modeli-2 .....	62
Şekil 23. Yenilenebilir enerji tahmininin grafiksel gösterimi .....	67
Şekil 24. Hidroelektrik enerji tahmininin grafiksel gösterimi .....	68
Şekil 25. Güneş enerjisi tahmininin grafiksel gösterimi .....	68
Şekil 26. Biyokütle enerjisi tahmininin grafiksel gösterimi .....	69
Şekil 27. Jeotermal enerji tahmininin grafiksel gösterimi .....	69

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Direk ısı enerjisi olarak kullanım potansiyeli .....	14
Tablo 2. Elektrik üretimine uygun potansiyel.....	14
Tablo 3. Türkiye tarımsal biyokütle potansiyeli .....	16
Tablo 4. Dünya'da biyodizel üretimi.....	16
Tablo 5. Dünya'da biyogaz üretimi ve kullanılabilir miktar .....	17
Tablo 6. Yenilenebilir enerjiden faydalanma maliyeti.....	19
Tablo 7. Dünya'da yenilenebilir enerji üretim ve kurulu kapasitesi .....	21
Tablo 8. AB'de yenilenebilir enerji üretim ve kurulu kapasitesi.....	22
Tablo 9. Sinir sistemi ile YSA benzerliği .....	38
Tablo 10. YSA birleştirme fonksiyonları.....	39
Tablo 11. Aktivasyon fonksiyonları.....	40
Tablo 12. ACF ve PACF davranış biçimleri.....	54
Tablo 13. Tahmin için hesaplanan gecikmeler .....	59
Tablo 14. Yenilenebilir enerji YSA modelinin ağırlık değerleri .....	61
Tablo 15. Hidroelektrik enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri .....	63
Tablo 16. Güneş enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri.....	63
Tablo 17. Biyokütle enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri .....	64
Tablo 18. Jeotermal enerji YSA modelinin ağırlık değerleri.....	64
Tablo 19. Yenilenebilir enerji YSA modelinin ağırlık değerleri .....	64
Tablo 20. Hidroelektrik enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri .....	64
Tablo 21. Seçilen Arıma Modelleri.....	65
Tablo 22. Anlamlılık değerleri.....	66
Tablo 23. İteratif yöntem için parametre değerleri .....	66
Tablo 24. Gri doğrudan yöntem parametreleri ve MAPE değerleri .....	67
Ek Tablo 1. Geçmiş yıllara ait yenilenebilir enerji kullanımının gerçek ve tahmin değerleri .....	84
Ek Tablo 2. Seçilen modellerin MAPE değerleri.....	85
Ek Tablo 3. Gelecek yıllara ait YSA, Arıma ve Gri Tahmin değerleri.....	86

## SEMBOLLER DİZİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACF	: Otokorelasyon fonksiyonu
AIC	: Akaike bilgi kriteri
ARIMA	: Otoresif entegre hareketli ortalama
ART	: Uyarlanır rezonans
BE	: Biyokütle enerjisi
E	: Beklenen değer
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ET	: Elektrik tüketimi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GAETM	: Genetik algoritma elektrik tahmin modeli
GE	: Güneş enerjisi
GEPA	: Güneş enerjisi potansiyel atlası
GHG	: Sera gazı
GM	: Gri model
GSYİH	: Gayri safi yurt içi hasıla
HE	: Hidroelektrik enerjisi
HES	: Hidroelektrik santrali
JE	: Jeotermal enerji
KK	: Kurulu kapasite
LM	: Levenberg Marquard
LMS	: En küçük kareler yöntemi
LVQ	: Öğrenme vektör nicelendirme ağı
MAPE	: Ortalama mutlak yüzde hata
MLP	: Çok katmanlı ağ
MSE	: Hata Kareleri Ortalaması
Mtoe-MTEP	: Milyon ton petrol eşdeğeri
MWh	: Mega watt saat

O&M	: İşletme ve bakım maliyeti
PACF	: Kısmi otokorelasyon fonksiyonu
PJ	: Perajoule
PV	: Fotovoltaik
RE	: Rüzgar enerjisi
REPA	: Rüzgar enerjisi potansiyeli atlası
RMSE	: Karesel ortalama hata karekökü
SIC	: Schwarts bilgi kriteri
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TJ	: Terajoule
TWh	: Tera watt saat
WEC	: Dünya Enerji Konseyi
YE	: Yenilenebilir enerji
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir enerji kaynakları
YSA	: Yapay sinir ağları
$\Phi$	: Kısmi korelasyon
$\rho_k$	: Otokorelasyon
$\gamma_k$	: Otokovaryans
$\sigma^2$	: Varyans

## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Enerji, bir maddenin, makinenin ya da maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilmekte ve ısı, ışık, mekanik, kimyasal, nükleer enerji ve elektrik enerjisi, gibi türlerde ortaya çıkmaktadır (URL-1, 2016) (Berberoğlu, 1982).

Enerji her alanda çok önemli ve vazgeçilmez olduğu için insan yaşamının merkezindedir. Nasıl ki insan vücudunun ve diğer canlıların yapılarını korumak, hareket etmek, beslenme ve sindirim gibi faaliyetlerini gerçekleştirmek için enerjiye ihtiyacı varsa buzdolabı, elektrikli süpürge, çamaşır ve bulaşık makinelerinin de motoru için elektrik enerjisine gereksinimi vardır. Enerjinin üretimi ve tüketimi gelişmişlik düzeyinin, yaşam kalitesinin, ülkelerin uluslararası politikalarının ve ekonomik büyümenin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır ayrıca enerji arzı bir ülkenin geleceği açısından etken unsur olarak değerlendirilmektedir (Özpınar, 2007).

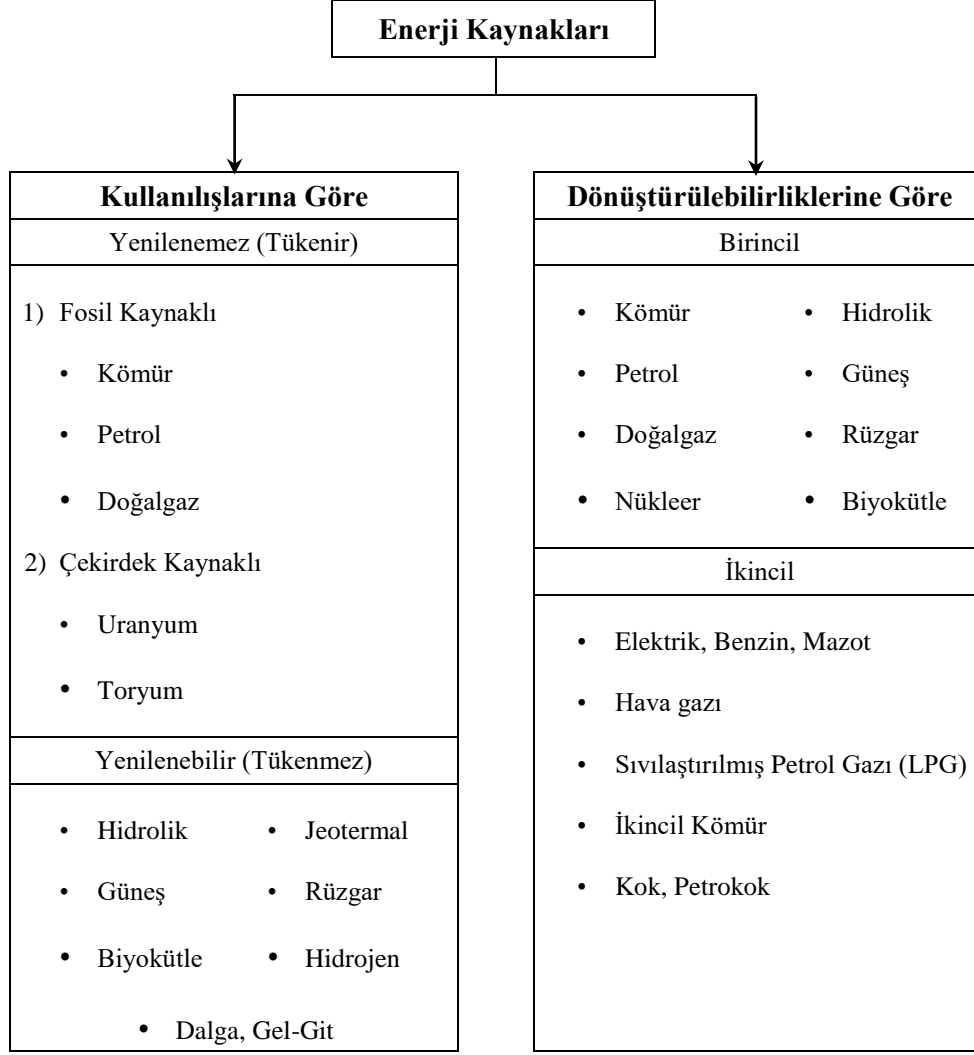
Enerjinin hayatımızdaki bu önemi ülkelerin enerji kaynaklarına sahip olma ve enerji kaynaklarını kontrol altında tutma isteklerine ve bu nedenle kaoslar yaşanmasına sebep olmaktadır (Korkmaz ve Develi, 2012).

Fosil yakıtların atmosferdeki sera gazı birikimini arttırma ve böylece küresel iklim değişikliğine neden olma gibi zararlı etkileri mevcutken yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu ve sürdürülebilir olma, enerji tipine göre dünyadaki birçok ülkede var olabilme gibi pozitif özelliklere sahip olduğundan yenilenebilir enerji tüm dünyada ön plana çıkmıştır ve ülkeler son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. (Gezer, 2013).

### **1.2. Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması**

Enerji kaynakları; dönüştürülebilirliklerine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları, kullanılışlarına göre; yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak sınıflandırılır. Şekil 1’de enerji kaynaklarının sınıflandırılması verilmiştir (Ceylan, 2015).

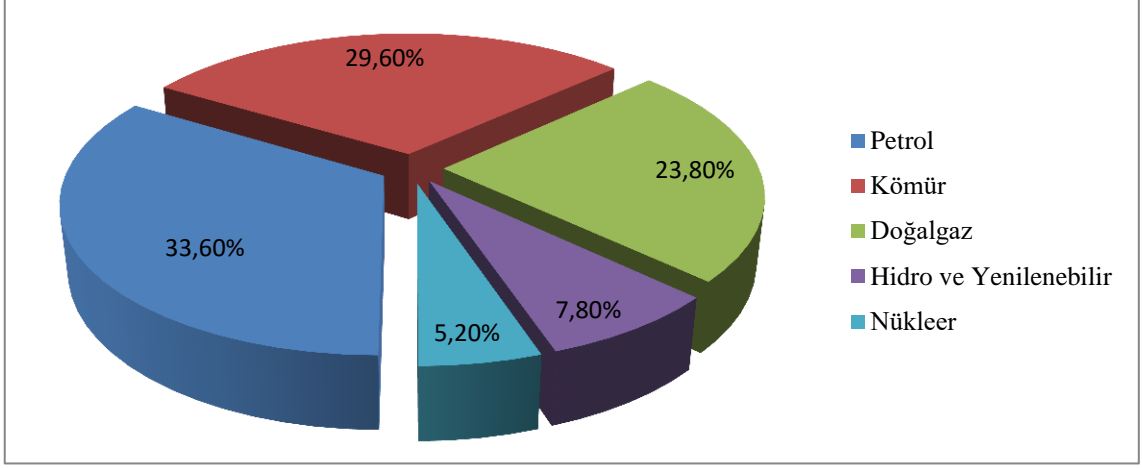




Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

### 1.2.1. Birincil Enerji Kaynakları

Birincil enerji kaynakları, doğada buldukları hallerinden başka bir değişikliğe uğramaksızın kullanılabilen kaynaklardır. Bu kaynaklar Birleşmiş Milletler tarafından yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Enerji kaynaklarının dünyadaki tüketim yüzdeleri Şekil 2’de verilmiştir (Doğaka, 2014). Grafiğe göre en büyük yüzde petrol iken en küçük yüzdeyi nükleer enerji oluşturmaktadır.



Şekil 2. Dünya birincil enerji kaynakları kullanımı

### 1.2.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynaklarını da petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kaynaklar ve nükleer enerji olacak şekilde ikiye ayırmak mümkündür. Bu kaynaklar, rezervleri sınırlı olduğu için bu şekilde nitelendirilmektedir (Türkyılmaz, 2015).

### 1.2.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik enerjisi üretilirken CO<sub>2</sub> emisyonu az düzeyde gerçekleşen, çevreye zararı diğer enerji kaynaklarına göre çok daha düşük seviyede olan, tekrar tekrar kullanılmaya hazır olarak doğada bulunan enerji kaynaklarını ifade eder. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz dalgası enerjisi, biyokütle enerjisi ve hidrojenidir.

### 1.2.2. İkincil Enerji Kaynakları

İkincil enerji kaynakları ise birincil enerji kaynaklarının bazı işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen enerji kaynaklarıdır. En önemli ikincil enerji kaynağı elektrik enerjisidir (Başol, 1994).

### **1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yönelim Sebepleri**

#### **1.3.1. Enerji Arzının Güvenliği ve Sürekliliği**

Fosil yakıtlara dayalı enerji kullanımının birçok dezavantajı bulunmaktadır. Bunlar; dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri, küresel ısınma gibi çevre sorunları, bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması için alınacak önlemlerin maliyetlerinin çok yüksek olması ve fosil kaynakların yakın bir gelecekte rezervlerinin tükenerek olmasıyla ortaya çıkacak enerjide arz güvenliği sorunlarıdır. Artan enerji talebinin karşılanabilmesi sektörler için güven ortamı sağlayacağı ve yatırımları arttıracığından enerji arzının sürekliliğinin sağlanması gerekir. Bu nedenlerle de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim meydana gelmiştir.

#### **1.3.2. Sosyal ve Ekonomik Nedenler**

Her enerji santrali tipi için maliyetler hesaplanırken, kuruluşundan ortadan kaldırılmasına kadar doğabilecek bütün maliyetler değerlendirmeye katıldığında yenilenebilir kaynakların daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artması için kurulan santrallerin inşa edilmesinde, üretiminde, bakım ve onarımlarının yapılmasında işgücü gereksinimi doğacaktır. İstihdam edilen işgücü ile o bölgedeki işsizlik oranı da azalmış olacaktır.

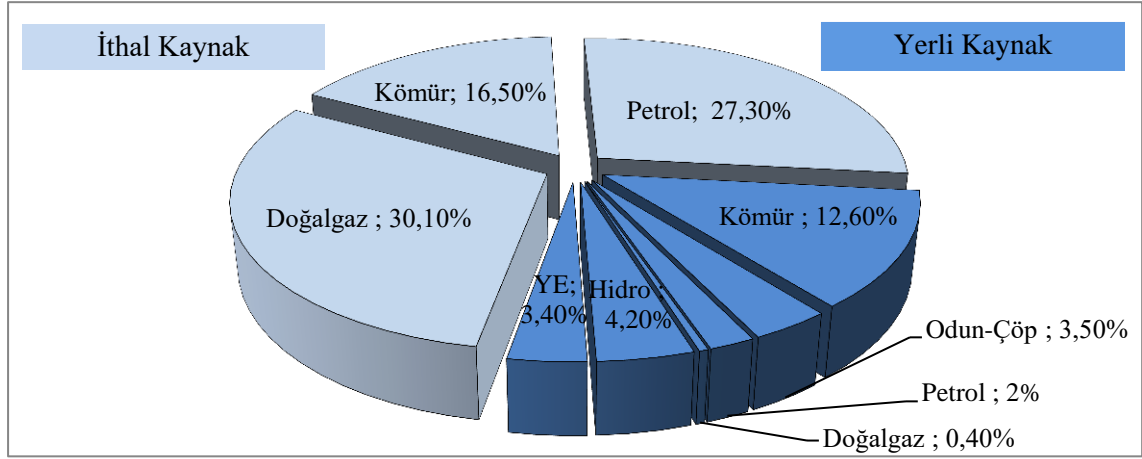
#### **1.3.3. Çevresel Nedenler**

Yenilenemeyen enerji kaynakları temiz ve sürdürülebilir olmadığından ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımıyla birlikte yenilenemeyen enerji kaynaklı çevre kirliliği ve etkileri azaldığından bu kaynaklara yönelim artmıştır (Ataman, 2007).

### **1.4. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Enerji türlerine göre dağılım (Tamzok, 2014)’a göre Şekil 3’te detaylı bir şekilde verilmiştir. Kullandığımız yerli enerji kaynakları toplamda %26,1 oranındayken ithal

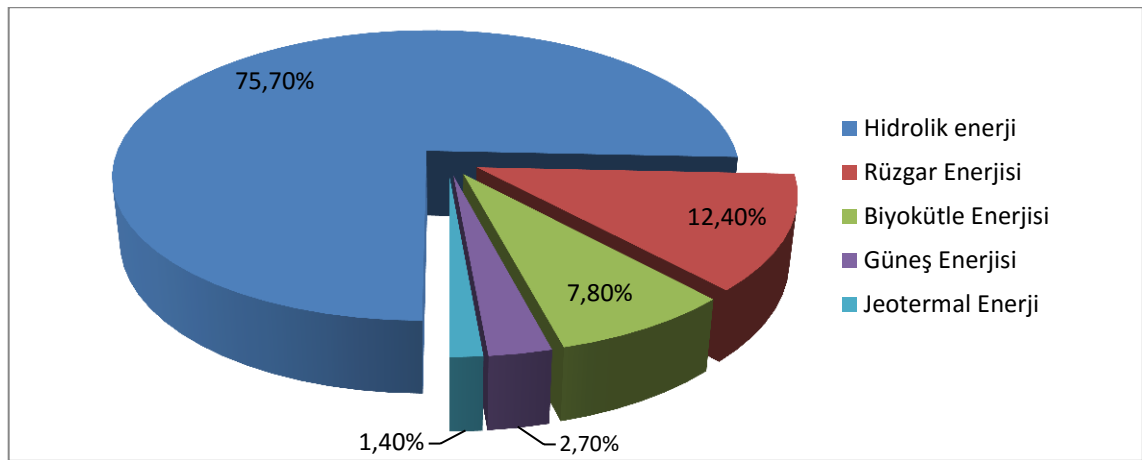
kaynakların oranı %73,9'dur. Bu durum kullandığımız enerjinin büyük bir kısmını ithal ettiğimizi göstermektedir. YE yenilenebilir enerjiyi göstermektedir.



Şekil 3. Türkiye enerji kaynakları kullanım oranları

### 1.5. Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Dünya'da yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok kullanılanı hidrolik enerjidir. %12,40 ile bu sıralamayı rüzgar enerjisi takip ederken jeotermal enerji %1,40 ile en az kullanılan enerji türüdür. Şekil 4'te her bir enerji kaynağı ve kullanım oranları gösterilmiştir (Aşker, 2015).

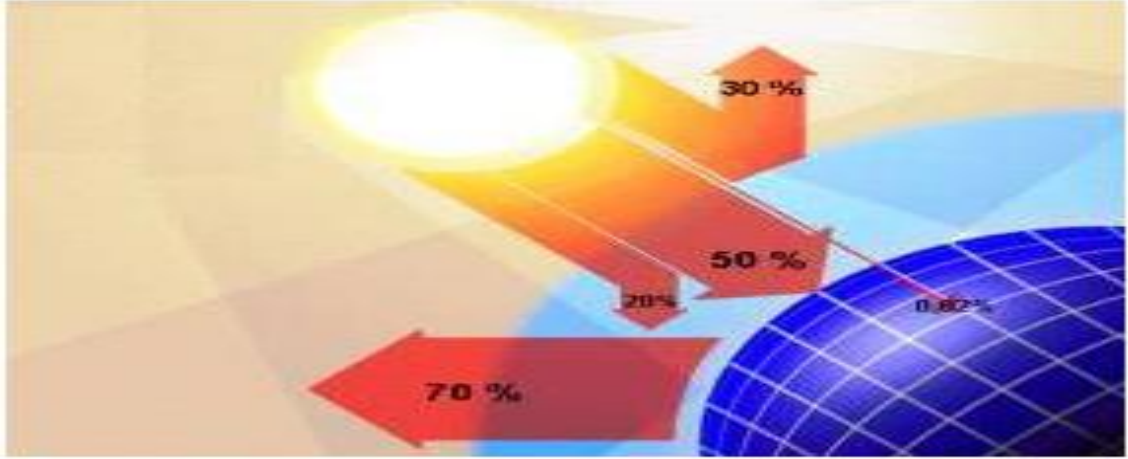


Şekil 4. Dünya'da yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranları

## 1.6. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Tanımı

### 1.6.1. Güneş Enerjisi

Fosil ve hidrolik enerjinin de ana kaynağı olan ve dünyanın ısınmasını sağlayan güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, hidrojen helyuma dönüşürken ortaya çıkan enerjinin ısınım biçiminde uzaya yayılmasıdır. Diğer enerji kaynaklarına dolaylı ya da dolaysız olarak temel oluşturmaktadır. Dünya'ya ulaşan güneş enerjisi: ısıya dönüştürme ve elektrik enerjisine çevirme olarak ikiye ayrılmaktadır (Ünsal, 2004). Şekil 5'te güneşten gelen ve geri iletilen enerji oranlarıyla birlikte gösterilmiştir. Buna göre güneş enerjisinin %50'si dünyaya ulaşır, %30'u atmosfere geri yansır, %20'si ise atmosferde tutulur.



Şekil 5. Güneş enerjisi (URL-2, 2016)

Güneş enerjisi genel olarak üç alanda kullanılmaktadır;

1-Isıtma (Çatılarda güneş ısıtması, seraları ısıtmak, suyu ısıtmak-soğutmak, bitkileri kurutmak)

2-Elektriğe dönüştürülme ve güneş kaynaklı elektrik santrallerinin geliştirilmesi (fotovoltaik hücreler).

3-Hidrojenin sudan üretilmesinde kullanılması (Ataman, 2007). (Elektroliz yöntemi ile güneş enerjisinden hidrojen gazı elde edilmesi ve elektrik üretimi ) (Cebeci, 2005).

Güneş enerjisi teknolojisi ikiye ayrılmaktadır;

Fotovoltaik Güneş Teknolojisi: Fotovoltaik hücreler denen yarı-iletken malzemelerin yüzeylerine güneş ışınları düştüğü zaman bu hücrelerin uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Şekil 6'da Türkiye'deki ilk fotovoltaik güneş paneline örnek verilmiştir.



Şekil 6. Fotovoltaik güneş enerjisi paneli

Isıl Güneş Teknolojileri: Güneş enerjisinden ısı elde etmekte kullanılır. Elde edilen ısı doğrudan veya elektrik üretiminde kullanılabilir. Şekil 7'de ısıl güneş teknolojisi örneği verilmiştir.



Şekil 7. Isıl güneş teknolojisi

### 1.6.1.1. Güneş Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

- Rahatlıkla taşınabilir, kirliliğe yol açmaz, yakıt sorunu ve mekanik yıpranma yoktur.

- Modülerdir (değişebilir), kullanım noktasına yakın kurularak hat kayıplarını azaltır (Varınca ve Varank, 2006).

- Kırsal yörelere şebeke götürülmesinin maliyetinin yüksek olması ve güneş pillerinin bir kez yatırım yapıldıktan sonra başka masraflarının olmaması nedeniyle tercih edilmektedir.

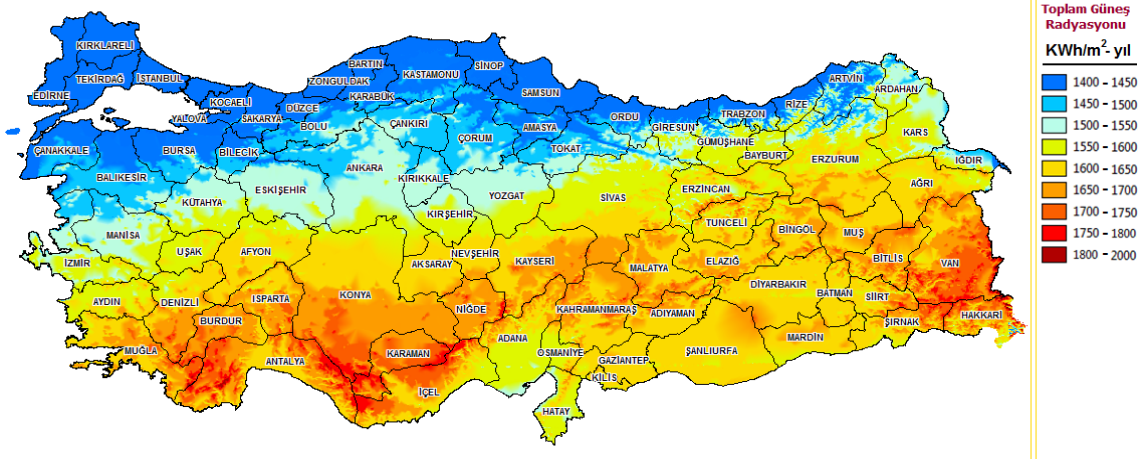
- Elektrik enerjisi üretiminde kömür yerine güneş pilleri kullanıldığında her 1 GWh enerji için 1050 tona kadar CO<sub>2</sub>'in atmosfere yayılması önlenirken güneş enerjisinden üretilen her kwh elektrik enerjisi ile 0,6 kg CO<sub>2</sub> emisyonu azalmaktadır (Çimen, 2007).

- Güneş enerjisinden elektrik üretimi daha çok yüksek yoğunlukta güneş ışığı alan çöllerde veya az yağmur alan ekvatorial bölgelerde ekonomiktir (Bockris vd., 1998).

- Kesintili bir kaynak olduğu için depolanma imkanları sınırlıdır. Bu da sistemin verimini düşürmekte ve enerjinin maliyetini artırmaktadır (Gezer, 2013).

### 1.6.1.2. Türkiye’de ve Dünya’da Güneş Enerjisi Potansiyeli

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) çalışmasına göre Türkiye’de 56.000 MW termik santral kapasitesine eş değer güneş enerji kapasitesi olduğu ve bu potansiyelden yararlanılırsa yıllık ortalama 380 milyar KWh elektrik enerjisi üretilebileceği belirlenmiştir. Şekil 8’de GEPA verilmiştir. GEPA’ya göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2,737 saat (günlük 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup> yıl (günlük 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8. Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası

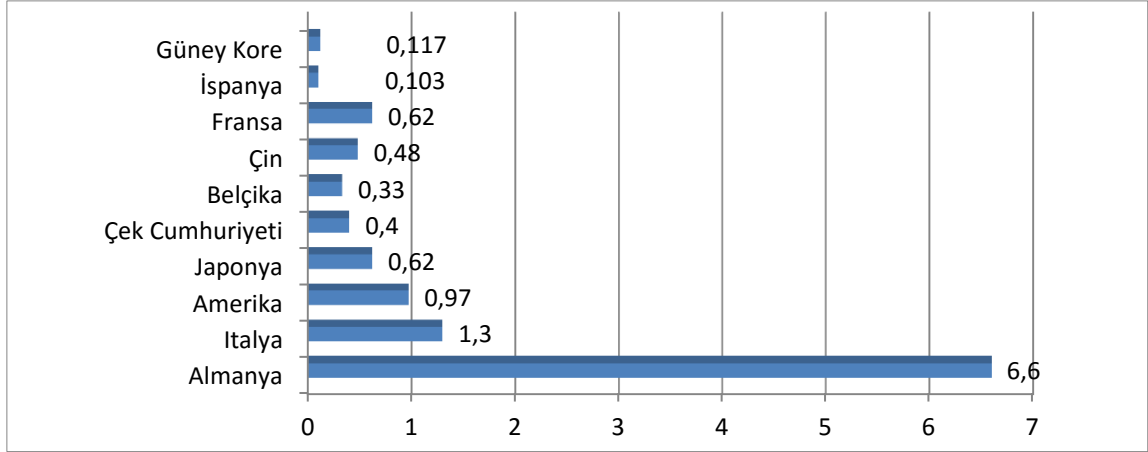
ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı)'nın istatistiklerine göre Türkiye'de kurulu güneş kolektör alanı ortalama 18.640.000 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmış ve 2015'te güneş kolektörleri ile ortalama 811.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Bu enerjinin, konutlarda 528.000 TEP'i, endüstriyel amaçlı 283.000 TEP'i kullanılmıştır. 2016 yılı yılsonu itibarıyla güneş enerjili santral sayısı 1043 olarak kaydedilmiş ve bu santrallerin kurulu gücü ise 832,5 MW'dir (URL-3, 2016).

Bir yılda güneşten gelen enerji miktarı kömür rezervlerinin 50, petrol rezervlerinin de 800 katına eşittir. Ayrıca Uluslararası Enerji Ajansı, küresel elektrik enerjisi üretiminin % 11'ini 2050 yılında güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmüştür.

YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü)'nin 2011 yılsonu istatistiklerine göre dünyada kurulan en büyük PV (Fotovoltaik) santrali Hindistan'dadır. Ayrıca henüz yapım aşamasında olan; Çin'de 2.000 MW'lık bir PV santral projesi bulunmaktadır. Şekil 9'da ülkelere göre fotovoltaik enerji kapasitesi dağılımı gösterilmiştir. Buna göre Almanya en büyük orana sahiptir.

Dünya üzerinde kurulu bulunan güneş kolektörü alanı 30 milyon m<sup>2</sup>'den fazladır. En fazla güneş kolektörü bulunan ülkeler Çin, ABD (Amerika Birleşik Devletleri), Japonya, Avustralya, İsrail ve Yunanistan'dır. Türkiye 18 milyon m<sup>2</sup> kurulu kolektör alanı ile dünyanın önde gelen ülkeleri arasındadır (URL-2, 2016).





Şekil 9. Dünya’da önemli PV pazarına sahip ülkeler

### 1.6.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar, yeryüzündeki farklı yüzeylerin, farklı hızlarda ısınıp soğumasıyla meydana gelmektedir. Hareket halindeki havanın enerjisi de, rüzgar enerjisidir. Elektrik enerjisine en kolay ve en çabuk dönüştürülebilen enerjidir (Ataman, 2007).

Rüzgar hız ve yön olmak üzere iki parametreye sahiptir. Rüzgar hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir (URL-4, 2016).

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanıdır. Hareket halindeki havanın kinetik enerjisini önce mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştürür. Elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgar hızında başlanabilmektedir (URL-4, 2016). Şekil 10’da Türkiye’de kurulan İzmir-Çeşme’deki ilk rüzgar türbini gösterilmiştir.



Şekil 10. Rüzgar enerjisi türbinleri

### 1.6.2.1. Rüzgar Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

- Temizdir, çevresel zararı, yakıt parası ve taşıma masrafları yoktur.
- Sürekli bir enerji kaynağıdır.
- Periyodik bakımlar ile 20–30 yıl kullanılabilirdiği için işletme maliyeti azdır.
- İnşaatın başlayıp türbinin üretime geçmesi üç aydır.
- Kapasite faktörleri düşüktür ve değişken enerji üretimi vardır.
- Rüzgar hızının değişken olması en büyük sakıncalardan biridir. Yeryüzünde rüzgar hızının sabit olduğu çok az yer olduğu için her alana rüzgar santrali kurulamaz (Gezer, 2013).
- Rüzgar santrali kurulumu için gerekli ekipmanların çoğu, rüzgar türbini üreten ülkelerden alınmaktadır. Bu nedenle rüzgar türbinlerinin kuruluş maliyeti yüksektir. Bu durumun aşılması için yerli sanayinin kurulması teşvik edilmelidir (Gezer, 2013).

### 1.6.2.2. Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

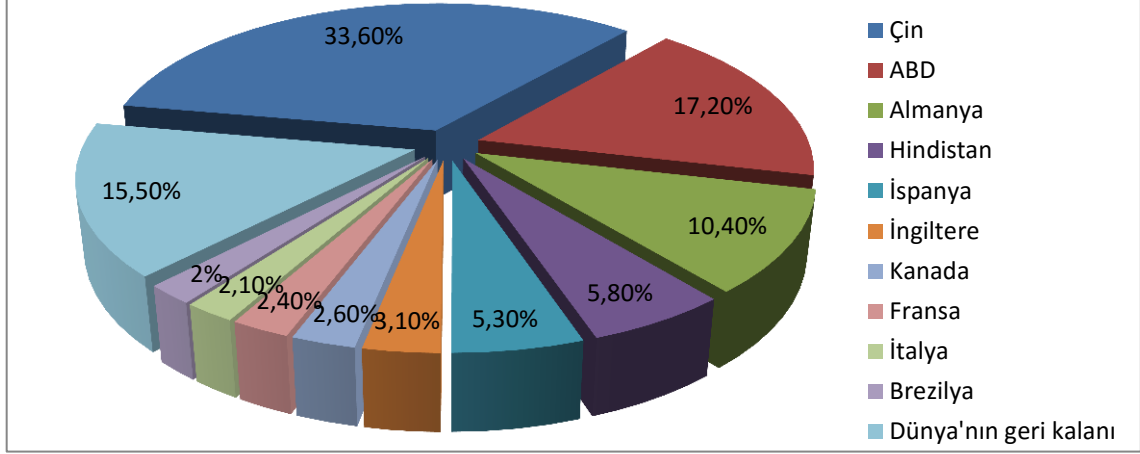
Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) rüzgar kaynaklarının niteliklerini ve dağılımını belirlemek için EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) tarafından 2006 yılında üretilmiş ve rüzgar potansiyelleri incelendiğinde Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgelerinin yüksek potansiyele sahip olduğu görülmüştür (URL-5, 2016).

Rüzgar enerjisinin en etkin kullanım biçimleri mekanik ve elektriksel uygulamalar ile ısı enerjisi uygulamalarıdır. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün değişken ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel olarak çeşitlilik gösterir.

Türkiye’de yerden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzerindeki rüzgar hızlarında kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santrali kurulabilmektedir. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Türkiye’de, 2015 yılı yıllık rüzgar enerjisi üretim miktarı 11.552 GWh’dir ve 2016 yılı sonu itibarıyla rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücü ise 5.751,3 MW’dır.

Dünya Enerji Konseyi (WEC) tarafından yapılan çalışmaya göre; dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 53.000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünya’da 2013 yılı yıllık rüzgar enerjisi üretimi 637 TWh/yıl’dır. 2014 yıl sonu itibarıyla rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücü ise ortalama 370 GW ’dir (URL-4, 2016). Rüzgar enerjisinin bazı ülkelere

göre kurulu güç dağılımı Şekil 11’de gösterildiği gibidir. Şekle göre rüzgar enerjisi kurulu gücü Çin’de en fazla iken Brezilya’da en azdır.



Şekil 11. Rüzgar enerjisinin Dünya'daki yeri

### 1.6.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yerkürenin iç ısısıdır. Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır. Yanardağ ve lavların yakınlarından geçen sular yüksek sıcaklıkta buhar olarak yeryüzüne ulaşırsa türbinleri döndürerek jeneratörlerden doğrudan elektrik üretilmesini sağlar (Dolun, 2002).

Jeotermal kaynakların; ısı kaynağı, ısıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan ve suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliği gibi üç önemli bileşeni vardır.

Jeotermal enerji suyunun sıcaklığına göre; elektrik üretimi, ısıtma (bölgesel, konut, sera vb.), kimyasal madde üretimi, kurutmacılık, bitki ve kültür balıkçılığı, tarım, seracılık, karların eritilmesi, termal turizm vb. gibi farklı amaçlarla kullanılabilir.

#### 1.6.3.1. Jeotermal Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları

- Maliyeti düşük, kesintisiz, çevreyle dost, yerli bir kaynaktır.
  - Geliştirilen teknolojilerle düşük sıcaklıkta da elektrik üretimi sağlanmaktadır.
- Yerinde kullanılabilen bir enerji kaynağı olduğu için uzun mesafelere nakli çok azdır (En

fazla 100 km civarında) (Özyurt ve Dönmez, 2005). Jeotermal alanlar genellikle yerleşim alanlarından uzakta olduğundan sıcaklık ve gürültü açısından sorun yaratmaz.

- Hava değişimlerinden etkilenmez.
- Ayrıca toprak çökmesi, gürültü, termal kirlilik, su kirlenmesi, hava kirlenmesi gibi zararlı etkileri mevcuttur.

### 1.6.3.2. Türkiye’de ve Dünya’da Jeotermal Enerji Potansiyeli



Şekil 12. Jeotermal enerji kaynağı

Jeotermal kaynaklar daha çok aktif kırık sistemler ile volkanik ve magmatik birimlerin etrafında oluşmaktadır. Şekil 12’de bir jeotermal enerji kaynağı gösterilmiştir.

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer aldığı için oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahiptir ve bu teorik olarak 31.500 MW’tır. Jeotermal kaynakların % 94’ü düşük ve orta sıcaklıklı olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi v.s.) için, % 6’sı ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur (URL-6, 2016). Isı enerjisi ve elektrik üretimi potansiyelleri Tablo 1 ve 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Direk ısı enerjisi olarak kullanım potansiyeli

Kullanım Türü	Miktar(MWt)	Miktar(TJ/yıl)
Bireysel ısıtma	219	2.417
Merkezi ısıtma	792	7.386,4
Sera ısıtma	483	9.138
Havuz ısıtılması	552	17.408
Isı pompası kaynağı	38	536,5
Genel Toplam	2.084	36.885,9

Tablo 2. Elektrik üretimine uygun potansiyel

	Firma sayısı	Kurulu güç kapasitesi (MW)
Elektrik üretimi amaçlı lisans alan	20	465,69
İşletmede bulunan elektrik üretim santrali	7	114,2
İnceleme ve değerlendirmeye alınan lisans başvurusu	16	327,95

Jeotermal enerji ile elektrik üreten ilk 5 ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya'dır. Elektrik dışı kullanım ise 70.328 MW'tır. Dünya'da jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya'dır (URL-6, 2016).

Dünya'da 78 ülkede jeotermal enerji doğrudan kullanılmaktadır. Toplam jeotermal enerji kurulu gücü 2016 itibariyle 13.300 MW'dır Bu enerjinin kullanımı ile yıllık olarak 46 MTEP enerji tasarrufu sağlanmaktadır (URL-7, 2016).

#### 1.6.4. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dahil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden, yakma işlemi ya da farklı teknikler kullanılarak elde edilen katı, sıvı ve gaz halindeki yakıtları kapsamaktadır. Yakıt eldesi dışında ısı ve elektrik üretilmesi de mümkün olmaktadır. Yani farklı yollarla organik maddelerden elde edilen enerjidir.

Biyokütle enerjisi, klasik ve modern olmak üzere iki grupta incelenebilir. Birincisi; geleneksel ormanlardan elde edilen odun ve bitki-hayvan atıklarıdır. İkincisi, enerji ormancılığı ve orman-ağaç endüstrisi atıkları, tarım kesimindeki bitkisel atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları olarak sıralanır (Bayram ve Bayar, 2010).

Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin fotosentez ile güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır (Gürsoy, 2004).

Biyokütle kaynaklı, çevre dostu önemli yakıt alternatiflerinden bazıları biyodizel ya da biyomotorin denen yakıtlardır (Acaroğlu, 2003).

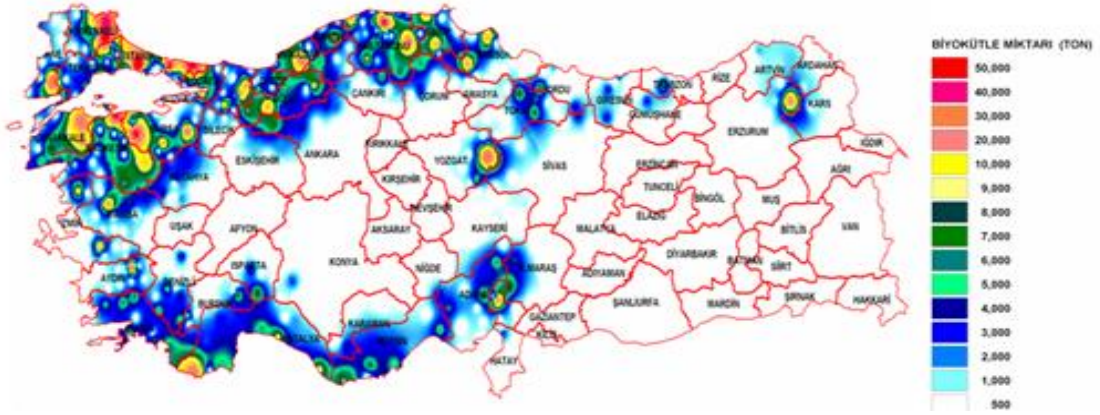
Biyokütle kaynakları arasında, odun en çok bilinen, en kolay temin edilebilen ve en çok kullanılanıdır. Biyokütle kaynaklı yakıtların atmosferik karbondioksit kirlenmesine etkisi az olduğu için birçok sanayileşmiş ülke biyokütle enerji üretimini artırabilmek için planlar yapmaktadır. Son yıllarda dünyada biyokütle ile çalışan termik santraller giderek yaygınlaşmaktadır (Ünsal, 2004).

#### **1.6.4.1. Biyokütle Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları**

- Kolay depolanabilir ve yerli kaynaktır, yerel üretimi ve istihdamı artırır böylece kırsal kesimde göçü önler, atmosferde CO<sub>2</sub> artışına yol açmaz, sürekli enerji kaynağıdır.
- Yandığında atmosferden aldığı kadar karbonu karbondioksit halinde salar ancak orman ve bitki varlığının yenilenmesi durumunda sera etkisine neden olmaz (Ünsal, 2004).
- Fosil yakıtlarla %2–25 gibi çeşitli oranlarda karıştırılarak yakıldığında hava kirliliği üzerindeki baskıyı azaltır.
- Toprak erozyonu, su tüketiminin artması, su niteliğinin bozulması gibi zararlarıyla ekosistemi olumsuz etkiler.

#### **1.6.4.2. Türkiye’de ve Dünya’da Biyokütle Enerjisi Potansiyeli**

Türkiye'nin biyokütle atık potansiyeli yaklaşık 8,6 MTEP olup üretilebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (URL-8, 2016). Şekil 13'te verilen haritaya göre orman kaynaklı biyokütle potansiyeli Trakya bölgesinde yoğun olarak gözlenirken, Güneydoğu Anadolu bölgesinde bu potansiyele çok az rastlanmaktadır.



Şekil 13. Türkiye orman kaynaklı biyokütle potansiyeli

Orman kaynaklı toplam atık miktarı 4.800.000 Ton (1,5 MTEP), kurulabilecek gazlaştırma tesisi kapasitesi 600 MW'dir (URL-9, 2016).

Tablo 3'te tarımsal biyokütle potansiyeli verilmiştir ve tarla ürünlerinden elde edilen değer bahçe ürünlerine göre daha fazladır (URL-9, 2016).

Tablo 3. Türkiye tarımsal biyokütle potansiyeli

Türkiye Toplamı	Kullanılabilir Atık Miktarı (Ton)	Isıl Değer
Tarla ürünleri	11.766.995	228,4 PJ
Bahçe ürünleri	3.569.040	74,8 PJ
Toplam	15.336.035	303,2 PJ

Dünyadaki biyodizel miktarı Tablo 4'te verildiği gibidir. AB (Avrupa Birliği) ülkeleri arasından Almanya'nın Biyodizel üretim miktarı ise birinci sırada olup 2.861.000 ton'dur

Tablo 4. Dünya'da biyodizel üretimi (URL-9, 2016).

Ülke	AB	ABD	Arjantin	Brezilya	Malezya	Avustralya	Diğer
Miktar (Milyon Ton)	9,18	1,65	1,57	1,55	0,76	0,62	1,64

Dünya ve AB 'de Biyoetonaol üretimine baktığımızda Dünya'da 7,6 milyar lt, AB'de ise 3,6 milyar lt'dir. AB üyesi ülkelerden Fransa 0,9 milyar lt ile birinci sırada Almanya 0,8 milyar lt ile ikinci sıradadır.

Dünyadaki biyogaz üretimi ise Tablo 5'te çeşitlerine göre verilmiştir. AB üyesi ülkelerden Almanya üretim sıralamasında 4.213,4 ktoe ile ilk sıradadır.

Tablo 5. Dünya'da biyogaz üretim miktarı ve kullanılabilir miktar (URL-9, 2016).

Dünya Biyogaz Kaynakları	Üretilen (TEP/Yıl)	Kullanılabilir Biyogaz (TEP/Yıl)
Kentsel ve Endüstriyel Katı Atık	750	60 ile 100
Kentsel ve Endüstriyel Atık Su	50	40 ile 50
Tarımsal Artıklar	1000	40 ile 50
Toplam	1800	140 ile 300

### 1.6.5. Hidroelektrik Enerjisi

Hidrolik enerji, teknoloji gelişimi en ileri düzeyde olan en eski enerji kaynaklarından biridir, kaynağı sudur ve akan suyun gücünü elektriğe dönüştürür. Bu nedenle santraller bir su kaynağı üzerinde olmak zorundadır. Enerji miktarını, suyun akış ya da düşüş hızı belirler. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Teknolojinin gelişmesiyle elektriğin iletimi sayesinde, hidrolik enerji daha da çok kullanılmaya başlanmıştır. Bu enerji her yıl yağışlar tekrarlandığı için yenilenebilir enerji kaynağıdır (Gürsoy, 2004).

#### 1.6.5.1. Hidroelektrik Enerjinin Avantajları ve Dezavantajları

- Rezervuarlı ve nehir tipi olarak yapılan hidrolik santraller, elektrik enerjisi üretimi aşamasında atmosfere sera gazı emisyonu vermemektedir.

- Yapılan santraller akarsuların, rejimlerini kontrol altına almak, taşkın zararlarını önlemek, depolanan sulardan içme suyu sulama yararları sağlamak ve enerji elde etmek amacı taşımaktadır (Kumbur vd, 2005).



- Hidroelektrik santrallerin yatırım bedelinin büyük bir kısmı yurtiçi harcamalardan oluştuğu için milli ekonomiye katkı sağlar. Ekonomik ömrü diğer tip santrallerden daha uzundur (yaklaşık 100-200 yıl). İşletme gideri düşüktür ve herhangi bir yakıt gideri yoktur, zamanla meydana gelen ekonomik ve diğer krizlerden etkilenmezler.

- Yeşil (çevre dostu) enerji olduğu için ihracatı daha kolaydır. Enerji depolama kapasiteleri olduğundan dışa bağımlılığı azaltırlar.

- Bölge halkına istihdam, sulu tarım, taşımacılık, su sporları gibi sosyal ve ekonomik faydalar sağlar (Bacanlı, 2006).

- Hidroelektrik santrallerinin ömürleri çok uzun olduğu için bu santraller yıllık yatırım maliyeti açısından daha avantajlıdır (Eroğlu, 2003).

- Kuruluş maliyetleri yüksek, yapım süreleri uzundur.

#### **1.6.5.2. Türkiye’de ve Dünya’da Hidroelektrik Enerji Potansiyeli**

Türkiye teorik hidroelektrik potansiyeli Dünya teorik potansiyelinin %1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16'sıdır. Yenilenebilir enerji potansiyeli içinde önemli yer tutan hidrolik kaynakların teorik potansiyeli 433 milyar kWh olup teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel 216 milyar kWh ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli 140 milyar kWh/yıl'dır (URL-10, 2016).

2016 yılı sonu itibariyle, işletmede bulunan 597 adet HES (Hidroelektrik Santrali) 26.681 MW'lık kurulu güce sahiptir ve toplam potansiyelin yaklaşık %34'üne karşılık gelmektedir. 2016 yılında elektrik üretiminin, %24,7'si hidrolikten elde edilmiştir Hidroelektrik üretimi 2016 yılında 67,3 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (URL-11, 2016).

Dünyada hidroelektrik santrali üretiminde Çin, ABD, Almanya, Avusturya, Fransa firmaları başı çekmektedir (Şahinküçük, 2010).

Dünyanın brüt teorik hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 40.150 TWh/yıl iken teknik olarak uygulanabilir potansiyeli 14.060 TWh/yıl ve günümüzde ekonomik olarak uygulanabilir hidroelektrik enerji potansiyeli ise 8.905 TWh/yıl'dır (URL-12, 2017).

### 1.7. Yenilenebilir Enerjiden Faydalanma Maliyeti

Enerji kaynaklarının türüne ve çeşidine göre maliyetleri ve ekonomik ömürleri Tablo 6'da verilmiştir (URL-13, 2016).

ABD'nin piyasa fiyatları Green Tech Media'nın 3 aylık raporu ile belgelenmektedir. Tablo 6'daki rakamlar bu raporla elde edilmiştir. Raporun referansları ise danışmanlık firması raporları, hükümet projeleri fiyatları, güneş enerjisi proje kurucuları, NREL (National Renewable Energy Laboratory) uzmanlarının görüşmelerini içerir. PV teknolojisi fiyattaki ölçeklerin etkisini yansıtmak için dört büyük kategoriye ayrılmıştır. 2013'teki son güncellemeden bu yana PV maliyetinin her yıl ortalama %15 düşmektedir (URL-13, 2016).

Tablo 6. Yenilenebilir enerjiden faydalanma maliyeti

		Kuruluş Maliyeti (\$/kW)	Kuruluş Maliyeti Std Sapma (+/- \$/kW)	Sabit O&M (\$/kW-yıl)	O&M Std Sapma (+/- \$/kW-yıl)	Ömrü (yıl)	Ömür Std Sapma (yıl)
Güneş	PV <10 kW	\$3.897	\$889	\$21		33	11
	PV 10 -100 kW	\$3.463	\$947	\$19	\$18	33	11
	PV 100-1000 kW	\$2.493	\$774	\$19	\$15	33	11
	PV 1-10 MW	\$2.025	\$694	\$16	\$9	33	9
Rüzgar	Rüzgar <10 kW	\$7.645	\$2.431	\$40	\$34	14	9
	Rüzgar 10-100 kW	\$6.118	\$2.101	\$35	\$12	19	5
	Rüzgar100-1000 kW	\$3.751	\$1.376	\$31	\$10	16	
	Rüzgar 1-10 MW	\$2.346	\$770	\$33	\$16		7
Jeotermal	Toprak kaynaklı ısı pompası	\$7.765	\$4.632	\$109 +/- \$94		38	25
Biyokütle	Biyokütle ısı	\$5.792	\$2.762	\$98	\$29	28	8
Hidroelektrik		\$2.400		\$14		200	

Rüzgar enerjisinden faydalanmak için projeler artmakta ve rüzgar türbinlerinin boyutlarına göre birim maliyetlerde önemli bir düşüş yaşanmaktadır. Rüzgar sistemleri için O&M (İşletme ve bakım) maliyetleri geniş bir yelpazededir ve kurulu proje boyutu artması ile birlikte O&M maliyetlerinde bir azalma gözlenmektedir. Eski tesislerin yıllık O&M maliyetleri yüksek iken yeni rüzgar türbinleri daha iyi tasarlandığı için son on yıldaki kurulan tesisler daha az kurulum maliyetine sahiptir. Referanslar American Wind Energy Association raporu, NREL uzmanları görüşleri, rüzgar proje kurucularıdır (URL-13, 2016).

Jeotermal enerji maliyeti ile ilgili bilgi NREL konu uzmanları ve kurucu şirketler tarafından sağlanmıştır. Sermaye maliyeti büyük ölçüde coğrafi konuma bağlıdır. Yararlı ömrü iç bileşenlerle garanti 20 yıl ve toprak döngüsü bileşenleriyle tahmini 100 yıl arasında önemli ölçüde değişmektedir (URL-13, 2016).

Amerika'da çoğu biyokütle sistemi önemli elektrik ve termal yüklerin olduğu büyük sanayi tesislerinde kurulmaktadır. Ayrıca biyokütle sistemleri sıklıkla serbest yakıt olarak görülen kereste ve kağıt fabrikası gibi önemli atık akışına sahip tesislerde kurulmaktadır aksi taktirde bir yok etme maliyeti ortaya çıkmaktadır (URL-13, 2016).

Küçük ölçekli hidroelektrik santraller (<10 MW) ilk yatırım maliyetleri açısından daha uygunken, büyük ölçekli hidroelektrik santrallerde (>10 MW) elektrik üretimi daha düşük maliyetlerle gerçekleşmektedir. Bu santrallerden elde edilen elektriğin birim maliyeti ise 0,03-0,04 \$/MW seviyesindedir. Hidroelektrik enerji santralleri uzun yıllardır işletmede olduğu ve kendilerini tam olarak amorti ettiği için yatırım ve elektrik üretim maliyetleri düşüktür. Yatırım geri ödeme süreleri en fazla 10 yıldır.

### **1.8. Dünya'da Yenilenebilir Enerji Üretim ve Kurulu Kapasitesi**

Dünyadaki 15 ülke için enerji kaynaklarının üretim miktarları ve kurulu kapasiteleri Tablo 7'de verilmiştir. Mtoe değerleri milyon ton benzin eşdeğeri göstermektedir.

Tablo 7. Dünya’da yenilenebilir enerji üretim ve kurulu kapasitesi (Selvi, 2015) (Kapluhan, 2014) (URL-14, 2017) (URL-15, 2017).

	GE Güneş Enerjisi		RE Rüzgar Enerjisi		JE Jeotermal Enerji		BE Biyokütle Enerjisi		HE Hidroelektrik Enerji		Toplam
	Üretim ,Mtoe	KK, GW	Üretim, Mtoe	KK, GW	Üretim, Mtoe	KK, GW	Üretim, Mtoe	KK, GW	Üretim, Mtoe	KK, GW	Üretim Mtoe
Çin	13,44	200,3	8,25	75,32	4,27	3,715	211,28		74,20	260,00	311,44
Almanya	2,84	44,06	4,36	31,30	0,090	0,267	24,48	42,58	2,395	11,257	34,165
ABD	2,46	23,20	12,20	60,00	8,67	4,001	82,00	129,89	23,95	78,00	129,28
İspanya	2,41	18,80	4,25	22,75	0,0176	0,0210	6,204	7,757	2,078	18,550	14,959
İtalya	1,78	8,68	1,15	8,10	4,96	1,364	6,621	18,659	3,771	21,88	18,282
Japonya	0,95	11,24			2,42	2,623			6,49	48,00	9,86
Türkiye	0,77	8,46	0,993	4,503	2,24	2,213	16,92	42,48	4,501	19,619	24,530
Fransa	0,42	5,64	1,28	7,52	0,1887	0,3470	14,277	20,674	5,468	25,37	21,633
Yunanistan	0,33	3,12	0,3310	1,753	0,0217	0,0846	1,226	0,231	0,395	3,236	2,303
İngiltere	0,2552	2,166	1,68	8,89	0,0008	0,0051	4,763	5,883	0,709	4,430	7,408
Kanada			0,97	6,20					32,72	76,00	33,69
Danimarka	0,0389	0,899	0,88	4,16	0,0069	0,2040	2,195	27,642	0,001	0,009	3,121
Hindistan			2,43	18,42					10,82	44,00	13,25
Brezilya							79,63	57,12	35,72	86,00	115,35
İsveç	0,0129	0,364	0,6161	3,607		0,2300	11,272	66,00	6,798	16,414	18,699
Finlandiya	0,0017	0,038	0,0425	0,257			8,428	37,06	1,450	3,198	9,922
Endonezya					16,19	1,343					16,19
Filipinler					8,81	1,851					8,81

Tabloda verilen KK değerleri kurulu kapasiteyi ifade etmektedir ve dünya güneş enerjisi kapasitesi 372,340 GW ve dünya güneş enerjisi üretimi 30,35 Mtoe’dir.

Dünya rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi 283,05 GW’dir. Tüketime çoğu elektrik santrallerinde yapılmıştır.

Dünya jeotermal enerji üretim miktarı 66,55 Mtoe ve dünya jeoenerji kapasitesi 39,59 GW’dir.

Biyokütle dünya üretimi 1.305,37 Mtoe’dir. Dünya YEK (Yenilenebilir enerji kaynakları) kapasitesinin % 26,15’i, 600,405 GW ile biyokütle dönüşüm teknolojileridir.

Hidroelektrik enerji üretim miktarı 322,99 Mtoe’dir. Hidroelektrik enerjiyi en fazla kullanan ülke Çin’dir. Dünya Hidro Enerji Kurulu Kapasitesi 1.000 GW’dır (Selvi, 2015).

### 1.9. AB' de Yenilenebilir Enerji Üretim ve Kurulu Kapasitesi

Avrupa Birliği'ne üye ülkeler için enerji kaynaklarının üretim miktarları ve kurulu kapasiteleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. AB'de yenilenebilir enerji üretim ve kurulu kapasitesi (Selvi, 2015).

	GE		RE		JE		BE		HE		Toplam
	Üretim Mtoe	KK, GW	Üretim; Mtoe	KK, GW	Üretim; Mtoe	KK, GW	Üretim; Mtoe	KK, GW	Üretim; Mtoe	KK, GW	
Almanya	2,8444	44,063	4,3568	31,304	0,0900	0,2674	24,486	42,577	2,395	11,257	34,171
İspanya	2,4073	18,800	4,2538	22,775	0,0176	0,0210	6,204	7,757	2,078	18,55	14,960
İtalya	1,7771	8,683	1,1528	8,102	4,9573	1,3640	6,621	18,659	3,771	21,88	18,279
İngiltere	0,2552	2,166	1,6839	8,889	0,0008	0,0051	4,763	5,883	0,709	4,430	7,411
Fransa	0,4216	5,643	1,2823	7,517	0,1887	0,3470	14,277	20,674	5,468	25,367	21,637
Portekiz	0,1012	0,918	0,8821	4,412	0,1350	0,0528	2,792	1,636	0,573	5,717	4,483
Macaristan	0,0066	0,142	0,0662	0,325	0,1072	0,6146	1,867	2,261	0,018	0,056	2,065
İsveç	0,0129	0,364	0,6161	3,607		0,2300	11,272	66,004	6,798	16,414	18,699
Finlandiya	0,0017	0,038	0,0425	0,257			8,428	37,055	1,450	3,198	9,922
Avusturya	0,2033	3,813	0,2118	1,316	0,0344	0,0638	5,472	21,725	4,100	13,076	10,021
AB	9,10	100,364	17,69	106,289	5,70	3,8721	118,48	299,665	31,50	148,931	182,47
Dünya	30,35	372,340	44,76	283,050	66,55	39,5900	1.305,37	600,405	322,99	1.000.000	1.770

AB enerji üretimi 803,18 Mtoe'dir. AB güneş enerjisi üretimi 9,10 Mtoe ve 100,364 GW güneş enerjisi kapasitesidir. AB güneş enerjisi üretiminin 3,32 Mtoe'si solar termal, 5,78 Mtoe'si de fotovoltaik enerji teknolojileriyle üretilmiştir. Üretim lideri ülkeler; solar termalde 1.702,9 ktoe ile İspanya, 576,1 ktoe ile Almanya ve % 5,55 ile Yunanistan, fotovoltaik enerji üretiminde 2.268,3 ktoe ile Almanya, 1621,8 ktoe ile İtalya, 704,4 ktoe ile İspanya'dır (Selvi, 2015).

Rüzgar enerjisi üretimi karada 16,04 Mtoe, denizde 1,65 Mtoe toplamda 17,69 Mtoe (205,73 TWh)'dur. AB rüzgar enerjisi kapasitesi karada 101,256 GW, denizde 5,033 GW toplamda 106,289 GW'dir (Selvi, 2015).

Jeotermal enerji üretimi, 5,70 Mtoe'dir. Jeoenerji kurulu kapasitesi 3.872,1 MW'dir.

AB biyokütle üretim miktarı 118,48 Mtoe'dur (Selvi, 2015).

Hidro enerji üretimi 31,50 Mtoe (366,345 TWh) ve AB HEK kapasitesi 148,931 GW'dir (Selvi, 2015).

### **1.10. Enerji Tahminin Önemi**

Bir milletin varlığını geliştirerek devam ettirmesi için sanayiye, sanayinin ise enerjiye ihtiyacı vardır. Kendi kaynaklarından enerjilerini karşılayamayan ülkeler enerjiyi ithal etmek zorunda kalmaktadır (Kasapoğlu, 1996).

Bir ülkenin geleceğe yönelik enerji talep tahmininin anlamlı bir şekilde yapılması, ülkenin enerji politikalarının oluşumunda büyük öneme sahiptir. Tahmin sonuçları değerlendirilerek ülkelerin enerji talebinin nasıl karşılanabileceği araştırılıp yatırım kararları verilmektedir. Ülke ekonomisini geliştirmek için enerji ithalat ve ihracatının oranları belirlenerek katkı sağlanmaktadır (Bahadır, 2010).

Bir yenilenebilir santralin potansiyeli doğru olarak belirlenemediğinde ve zamana bağlı olarak çalışma ve üretim düzeyleri gerçekçi bir şekilde tahmin edilemediğinde, seçilecek kapasite-donanım kararları ve bunlara bağlı olarak yatırım maliyetleri de aynı ölçüde problemlidir.

Öngörü yapmak, belirsizlik durumunu da içermektedir. Tahminler, yapıldıkları dönemin güncel koşullarını yansıttıklarından sektörde veya ülke ekonomisinde herhangi bir kriz yaşandığında tahmin edilen değerleri anlamsız kılabilir (Mahmutoğlu vd., 2015).

Her sektörde olduğu gibi enerji sektöründe de gelecekteki tüketim tahminlerine göre ihtiyaç duyulan yatırımların hacmi belirlenmeye çalışılır. Bu tahminler karar verme mekanizmasına katkı sağlamak, enerjilerden daha verimli yararlanabilmek, ülke ekonomisine destek olarak gelişme düzeyini artırmak ve maliyeti belirlemek, bölgelere göre etkin enerjiye karar vermek gibi faydalar sağlamaktadır.

Dünya Enerji Komitesinin verileri değerlendirildiğinde, dünya çapındaki enerji talebinin, 2000 ve 2030 yılları arasında her yıl %1,9 oranında artması beklenmektedir. Enerji talebi, gelişmiş ülkelerde yavaşlarken; gelişmekte olan ülkelere ise artmaktadır. Fosil yakıtlara olan ihtiyaç devamlılığını sürdürmekte, yenilenebilir enerjilerin kullanımı gittikçe hızlanan bir oranda artış göstermektedir (Kösem ve Yılmaz, 2011).

### 1.11. Türkiye'nin Enerji Stratejisi ve Hedefleri

Yenilenebilir enerjiye ilişkin hedefler;

- Yenilenebilir enerji payının %30'a yükseltilmesi ve enerji borsası oluşturulması,
- Rüzgâr enerjisinin 20.000 MW düzeyine çıkarılması,
- Su enerjisinden tam yararlanılması (Erdal, 2012) (Türkyılmaz, 2015).
- Enerji bağımlılığının azaltılması,
- Elektrik kayıp-kacık oranının ortalama %5 azaltılması,
- Tarım sektörünün potansiyelinden tam olarak yararlanılarak biyoyakıt sektörünün geliştirilmesi şeklindedir (URL-16, 2016).

### 1.12. AB'nin Enerji Stratejisi ve Hedefleri

AB enerji sektöründeki yenilenebilir enerji payını 2020 yılında %20'ye, 2040 yılında ise %50'ye çıkarmayı hedeflemektedir. Bu payını, elektrik sektöründe %33'e, ısıtma-soğutma sektöründe ise %25'e çıkarmak da AB'nin hedefleri arasındadır. Bu hedeflerin en önemli getirilerinden biri, 2020 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonunun 1990 yılı rakamlarına göre %17,6 oranında azalabilecek olmasıdır (Kulözü, 2004).

İklim değişikliklerini önlemek, rekabeti sağlamak, arz güvenliği ve enerji hedeflerine ulaşmak için 2008 yılında AB Komisyonu tarafından yayınlanan, 20-20-20 diye bilinen paket Avrupa Parlamentosu'nda kabul edilmiştir. Avrupa Birliği'nde enerji ile ilgili 2020 yılına kadar yapılması gerekenler bu pakette ifade edilmiştir.

Buna göre hedeflenen strateji (Adıyaman, 2012) :

- Kullanılan toplam enerjinin %20'sinin yenilenebilir enerjilerden sağlanması,
- Sera gazı emisyonlarının %20 oranında azaltılması,
- Enerji verimliliğinin %20 oranında geliştirilmesidir. Ayrıca yenilenebilir enerji üretiminin 2020 yılı hedefi de 550–600 TWh olarak amaçlanmıştır.

Petrol ile doğalgazdaki bağımlılık ve fiyatlarındaki artış, dünya ekonomisinin yanında AB ekonomisini de olumsuz etkilemektedir. Enerji bağımlılığının bazı ülkelerde artması özellikle Avrupa Birliği'nde enerji güvenliğini bir tehdit durumuna getirmektedir (URL-17, 2015).

Avrupa Birliği, enerjideki verimliliğin yükselişini sadece enerjinin alternatifi gibi ele almayıp, iş sağlama ekonomisi şeklinde de görmekte ve enerji tasarrufu potansiyeli bakımından Avrupa'da bir milyon yeni iş imkanı sağlayacağı hedeflenmektedir (Urgun, 2015).



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez kapsamında enerji türlerinden yenilenebilir enerjinin talebi tahmin edilmiş ve model olarak ARIMA, Gri tahmin ve geleceği tahmin etmede birçok alanda kullanılan yapay sinir ağlarından faydalanılmıştır. Bu yöntemlerin daha sık kullanılma sebebi diğer modellere göre daha olumlu sonuçlar vermesidir.

Enerji talebini tahmin etmede bugüne kadar birçok farklı model kullanılmıştır. Bunlardan bazılarını şu şekilde özetleyebiliriz;

- Zaman serileri modeli
- Regrasyon modeli
- Ekonometrik modeller
- Eşbütünleşme modeli
- Arıma modeli
- Uzman sistemler
- Yapay sinir ağları
- Gri tahmin modeli
- Bulanık mantık ve Genetik algoritma
- Entegre modeller ( Parçacık sürü optimizasyonu, otoregresif, destek vektör regrasyonu ).

Enerji talep tahmini için yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir;

Al-Sheeri Suudi Arabistan'ın Doğu İlinde konutlardaki elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmiştir. Bunu yaparken yapay sinir ağları modelini kullanmış ve çıkan sonuçları polinom modelleri ile karşılaştırarak doğrulamayı amaçlamıştır. Tahmin yapılırken 1992–1997 yılları arasındaki 5 yıllık (60 aylık) tüketim miktarlarından faydalanılmıştır. Bu miktarlar aylık tüketim seviyelerine göre sınıflandırılmıştır. 1000 kwh den az olanlar, 1000 ile 2000 arası,  $2001 \leq ET$  (Elektrik Tüketimi)  $\leq 3000$ ,  $3001 \leq ET \leq 4000$ ,  $4001 \leq ET \leq 5000$ ,  $5001 \leq ET \leq 6000$  ve 6000'den büyük olanlar şeklinde gruplandırılmıştır. Çalışmanın sonucu incelendiğinde sıcaklık değişimine göre mevsimsel etkiler oluştuğunda ve veri dağılımı daha geniş bir aralıkta olduğunda yapay sinir ağlarının polinom uygunluğu modeline kıyasla gerçek verilere daha yakın tahminler verdiği gözlenmiştir (Sheeri, 1999).

Hsu ve Chen ise; Tayvan'ın yıllık elektrik güç talebi tahmin etmiştir. Orijinal GM(1,1) (Gri Model) modeli yerine bu çalışmada hata terimi modifikasyonu yapay sinir ağları ile yapılan geliştirilmiş bir GM(1,1) modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, orijinal gri tahmin modeli ile karşılaştırıldığında; geliştirilmiş modelin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Tayvan'ın enerji talebi için geliştirdikleri gri tabanlı tahminleyici ile daha iyi tahminleme doğruluğu elde etmişlerdir (Hsu ve Chen, 2003).

Hamzaçebi ve Kutay, uzun dönemli elektrik enerjisi tahmininde yapay sinir ağları kullanmış ve sonuçları desteklemek için Box-Jenkis ve regresyon tekniğinden faydalanmıştır. YSA için 1970–1990 yılları verileri eğitim, 1991–1998 verileri doğrulama, 1998–2002 verileri test kümesi olarak kullanılmış ve 2010 yılına kadar tahmin yapılmıştır. Çalışma sonucunda şu bilgileri elde etmiştir; Arıma yöntemi ve regresyon tekniğinin gözlem sayısı ile ilişkili olduğu, arıma yönteminin 70'in üzerinde veri olduğunda daha olumlu sonuçlar vereceği ve yapay sinir ağlarının olumsuz sonuçlar vermesi ihtimaline karşı geleneksel modellerle desteklenmesi gerektiği (Hamzaçebi ve Kutay, 2004).

Murat ve Ceylan'ın ulaşım sektöründe enerji talebi üzerine yaptığı çalışmada sosyo-ekonomik nedenler ile ulaşım arasındaki ilişkiler baz alınmıştır. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları ile k katlamalı çapraz doğrulama kullanılmış ve sosyo-ekonomik nedenlerin ulaşım enerji talebi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla gayri safi milli hasıla, toplam nüfus ve yıllık ortalama araç km'lerinin 1970–2001 yılları arasındaki mevcut enerji verileri kullanılmıştır. Minimum MSE'yi veren ağ modeli en iyi model olarak seçilmiştir (Murat ve Ceylan, 2005).

Hamzaçebi 2007 yılında Türkiye'nin net elektrik enerjisi tüketimini sektörel bazda incelemiştir. Tahmin aracı olarak yapay sinir ağları ve MAED ( enerji talebinin analizi için model) simülasyon tekniği kullanmış ve 2020 yılına kadar tahminde bulunmuştur. Yıllık ortalama net elektrik tüketimi, endüstri sektöründe %45,67, konut sektöründe %49,90, tarım sektöründe %3,65 ve ulaşım sektöründe %0,755 artış göstermiştir. YSA modelinin bu çalışma için MAED tekniğine göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir (Hamzaçebi, 2007).

Akay ve Atak'ın yaptıkları çalışmada Türkiye toplam elektrik talebi ve sanayi kesimi elektrik talebi gri tahmin yöntemi ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada Türkiye'nin toplam ve sanayi kesimi elektrik tüketimleri yuvarlama mekanizmalı gri tahmin ile ele alınarak tahmin yapılmıştır. 1970–2004 yılları arası yıllık veriler kullanılmış ve tahmin sonuçları Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının kullandığı MAED modelinin tahmin sonuçları ile

karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda yuvarlama mekanizmalı gri tahminin MAED modelinden daha iyi sonuç verdiği görülmüş, toplam elektrik tüketimi için ortalama mutlak hata oranı % 3,66; sanayi kesimi için % 5,7 olarak bulunmuştur ve gri tahmin ile 2015 yılına kadar tahmin yapılmıştır (Akay ve Atak, 2007).

Sözen ve arkadaşları küresel ısınmanın dünyadaki en önemli konulardan biri haline gelmesi nedeniyle sektörel enerji tüketimini kullanarak Türkiye'nin sera gazı denklemini yapay sinir ağları ile elde etmiştir. Bu denklem sera gazının gelecekteki seviyesini tahmin etmede ve sektöre göre bu seviyeleri kontrol altına almak için önlemler almada kullanılmıştır. YSA 'ya göre MAPE (Ortalama mutlak yüzde hata) değerleri LM (Levenberg-Marquard) algoritması ile GHG (sera gazı), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, E, CO<sub>2</sub> gazları için sırasıyla 0,147151, 0,066716, 0,181901, 0,105146, 0,124684 ve 0,158157 olarak bulunmuştur. R<sup>2</sup> değerleri 1'e çok yakın olarak elde edilmiştir (Sözen vd, 2007)

Sözen Türkiye'nin enerjideki arz-talep dengesini korumaya ve enerji bağımlılığını azaltmaya yönelik gerekli stratejilere katkıda bulunmak için YSA kullanmış ve iki farklı modelle çalışmıştır. Birinci modelde; kişi başına düşen nihai enerji tüketimi, kişi başı toplam brüt enerji üretimi ve kişi başı birincil enerjinin toplam üretimi gibi enerji parametreleri kullanırken ikinci modelde kişi başı sektörel enerji tüketimini kullanmıştır. Sonuçlara bakıldığında Türkiye'nin enerji bağımlılığı 1998 yılında %60 iken 2006'da %72 'ye yükselmiştir ve bu oranın 2020' de %88' e ulaşması beklenmektedir. Bu bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji ve mevcut birincil enerji kaynakları kullanımına yönelik teşviklerin geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Sözen, 2009).

Özkara 2004–2007 yılları için Ankara merkez metropol alanı aylık puant elektrik yük değerlerini zaman serisi olarak ele almış, bu yüklerin mevsimsel dalgalanmaya sahip olduğunu belirlemiş ve mevsimsel ayrıştırma yöntemini tercih etmiştir. Bu yöntemin içerdiği toplamsal ayrıştırma ve çarpımsal ayrıştırma yaklaşımlarını ayrı ayrı uygulayarak doğrusal regresyon ve gri tahmin yöntemi ile mevsimsellikten arındırılan trend serisinin tahminini yapmıştır. Ardından tahmin edilen trend serisine mevsimsel etki ilave edilmiş ve yük tahmin değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tahmin serilerinin hata terimleri analiz edilerek dört ayrı tahmin modelinin geçerliliği irdelenmiş, hata terimleri ile çeşitli ölçütler hesaplanarak en iyi tahmin modeli seçilmiştir. Seçilen bu model ile 2008 yılı için aylık puant yük tahminleri hesaplanmıştır (Özkara, 2009).

Çoban ve Özcan Konya ilindeki 2005–2010 dönemi verilerini kullanarak ARIMA yöntemi yardımıyla 2011 yılına ait doğal gaz talebini tahmin etmişlerdir. Tahmin

sonuçlarına göre, Konya’da 2011 yılında evlerdeki doğalgaz talebinin aylar itibariyle dalgalanma göstereceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu dalgalanmanın sebebi aylık sıcaklık ve mevsimsel etki gibi faktörlere bağlanmıştır. Sanayi sektöründe ki doğal gaz tüketimine ilişkin öngöründe ise herhangi bir dalgalanmaya rastlanmamıştır. Sebebi olarak ise mevsimselliğin talep üzerinde etkili olmaması gösterilmiştir. Doğal gaz talebinin tahmini için sadece tüketim verilerinden yararlanılmış olması bir eksiklik olarak görülmüştür. Bu alanda yapılacak diğer çalışmalarda doğalgaz talebini etkileyen sıcaklık, nem, rüzgâr hızı gibi değişkenler de dikkate alınarak doğal gaz talebi tahminleri yapılması önerilmiştir (Çoban ve Özcan, 2011)

Lee and Tong enerji sektöründe yaptıkları çalışmada, verilerin az ve normal olmayan durumlarda tahmin sapmalarının fazlaştığını ve böylelikle var olan gri modelin geliştirilmesi gerekliliğini görmüşlerdir. Çin enerji tüketim verileri kullanılarak, Genetik algoritma ile gri tahmin modelinin birleştirilmesiyle elde edilen yeni gri tahmin yönteminin etkinliği kanıtlanmıştır (Lee ve Tong, 2011).

Hatunoğlu ve Karakaya Türkiye’nin enerji talebini 1970–2008 yılları arasındaki verilerle yapay sinir ağları kullanarak tahmin etmişlerdir. 1970–2000 arası veriler eğitim, 2001 – 2004 arası veriler doğrulama, 2005–2008 arası veriler test için kullanılmıştır. Tahminde üç farklı senaryo geliştirilmiştir ve bunlar; ekonomik büyümenin istikrarlı olduğunu ileri süren ‘statik senaryo’, enerji yoğunluklarının azaldığını ileri süren ‘sürdürülebilir senaryo’ ve 2030 yılına kadar ekonomik büyümenin her beş yıllık dönemde değiştiğini ileri süren ‘dönemsel-değişim senaryo’sudur. Dönemsel-değişim senaryosu enerji yoğunluklarının azaldığı ve sabit kaldığı iki alt-senaryo durumunu da incelemektedir. Elde edilen sonuçlar ETKB’nin bulduğu sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve resmi kurum tahminleri yapılan çalışmadaki bulgulara göre çok daha yüksek çıkmıştır (Hatunoğlu ve Karakaya, 2011).

Solak Türkiye'nin toplam ve ulaştırma sektörü petrol talebini 2012–2020 dönemi için ARIMA modeli ile tahmin etmiştir. Elde edilen tahmin sonuçlarına göre, 2020 yılında toplam petrol talebinin 30,58 MTEP, ulaştırma sektörü petrol talebinin 20,73 MTEP olması öngörülmüştür (Solak, 2013).

Yılmaz Türkiye’ye ait 1990–2009 yıllarına ait sera gazı emisyonlarını çeşidine ve sektörlere göre ayrı ayrı incelemiştir. GPRM(1,1) ve geliştirilen GPRM(1,1) yöntemleri ile her iki veri setini inceleyerek hata oranlarını karşılaştırmış ve 2020 yılına kadar

oluşabilecek sera gazı emisyonlarını tahmin ederek geliştirilen yöntemin etkinliğini göstermiştir (Yılmaz, 2013).

Hamzaçebi ve Es Türkiye'nin 2013–2015 dönemi elektrik enerjisi talebini gri tahmin (1,1) ile tahmin etmişlerdir. Hem doğrudan hem de iteratif yaklaşımı kullanmışlardır. Sonuçlar literatürden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında optimize edilmiş gri tahmin modelinin üstünlüğünü göstermiştir. Diğer bir bulgu doğrudan yaklaşımın iteratif yaklaşıma göre daha iyi tahminlerde bulunduğudır (Hamzaçebi ve Es, 2014).

Es ve Hamzaçebi 2014'te yaptığı çalışmada yapay sinir ağları ile Türkiye'nin net enerji talebini tahmin etmişlerdir. Bunun için 1970–2010 yılları arasındaki GSYH, nüfus, ithalat, ihracat, bina yüz ölçümü ve taşıt sayısı gibi değişken verileri girdi olarak kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen model ile 2011–2025 yılları arası Türkiye net enerji talebi tahmin edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda kullanılmamış olan bina yüzölçümü ve taşıt sayısı girdilerinin tahmin performansını artırmada etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Regresyon ve zaman serisi modelleri ile YSA modeli karşılaştırılmıştır. YSA modelinin yüksek doğrulukta tahminler gerçekleştirdiği saptanmıştır (Es ve Hamzaçebi, 2014).

Rathnayaka ve Seneviratna çalışmalarında, Sri Lanka'nın 1998-2015 arası için yıllık elektrik tüketimi tahmin etmişlerdir. Tahminleme sürecinde; gri tahminleme GM (1,1) ve ARMA (1,1) modelleri kullanılmıştır. Tahminlemede kullanılan modellerin doğruluğu MAD, MSE ve MAPE kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. GM (1,1) modelinin ARMA modeline göre daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu bulgusu elde edilmiştir (Rathnayaka ve Seneviratna, 2014).

Yıldız YSA ve ARIMA modelleri ile doğalgaz tüketimine ilişkin öngöründe bulunmuştur. Bunu yaparken Türkiye'nin 1984–2011 yılları arasındaki doğal gaz tüketim verilerini milyon m<sup>3</sup> olarak TUİK (Türkiye İstatistik Kurumu) 'ten ve doğal gaz sektör raporlarından alarak kullanmıştır. Daha sona gelecek 8 yılın Türkiye doğal gaz tüketim miktarlarını tahmin etmiştir. Yapay sinir ağları için çok katmanlı ileri beslemeli modeli kullanmıştır. MATLAB R2008a paket programından yararlanılmış, Arıma için ise Eviews 7.1 ekonometrik paket programı kullanılmıştır. En küçük MSE (Mean Squared Error) değerlerine göre, en iyi model seçilmiş ve tahminler gerçekleştirilmiştir (Yıldız, 2015).

Melikoğlu Türkiye'nin havacılık sektöründe artan bir büyüme öngörülmesine karşı gerekli yakıt talebiyle ilgili literatürde eksiklik olduğunu düşünmüştür. Bu amaçla Türkiye'deki jet yakıtı ve biyo-temelli jet yakıt tahminlerini enerji hedeflerine dayalı olarak sağlamak için yarı ampirik modeller üretmiştir. Bu modeller mevcut pazar dinamikleri ve

ekonomik büyümenin sağlanması olasılığı için oluşturulmuştur. 1981–2012 yılları arasındaki verilerle 2013–2023 yılları arasındaki talepler hesaplamıştır. Türkiye'nin jet yakıtı talebinin 2023 yılında 4.230 ile 7.880 milyar litre arasında olacağını tahmin etmiş ve 2023'te 0,307 milyar litreye kadar bio-temelli jet yakıtı ihtiyacı duyulduğu sonucuna varmıştır (Melikoğlu, 2016).

Sen ve arkadaşları Hindistan'ın demir ve çelik üretiminde çevreye duyarlı imalat önemli bir strateji olduğundan pik demir imalat organizasyonu için sera gazı emisyonu ve enerji tüketimi tahmininde bulunmuştur. Bunu yaparken farklı ARIMA modelleri kurmuş ve içlerinden en uygun olanı seçmiştir. Enerji tüketiminde Arıma modellerinden ARIMA (1,0,0)\*(0,1,1)<sub>12</sub>'in, gaz emisyonunda ise ARIMA (0,1,4)\*(0,1,1)<sub>12</sub>'in en uygun model olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Enerji tüketimi modeli için RMSE (Karesel ortalama hata karekökü) değeri 0.017, MAPE değeri 0.221 iken gaz emisyonu modeli için RMSE değeri 0,030, MAPE değeri 0,907'dir. Doğru arıma modelini seçmenin daha iyi çevre yönetimi uygulamasına ulaşmak için yardımcı olacağı sonucu çıkarılmıştır (Sen vd, 2016).

Barak ve Sadegh çalışmalarında İran'daki yıllık enerji tüketimini Arıma-Anfis yöntemi ve 3 farklı model ile tahmin etmiştir. Birincisinde Arıma modelinde 4 girdi vardır Anfis'te 6 farklı tahmin yapmıştır, ikicisinde ilave 4 girdi daha eklenmiş ve bu girdilerle Arıma'nın çıktısı 6 farklı Anfis yapısı ile enerji tahmininde kullanılmıştır. Üçüncü ve son modelde veri yetersizliğinden dolayı ikinci modele AdaBoost veri çeşitlendirme uygulanmış yeni bir metodoloji sunulmuştur. Enerji tüketim tahmininde tek başına Arıma ve Anfis kullanmaktansa hibrit modelleri kullanmanın doğruluğu arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca veri çeşitlendirme ile ikinci modelin MSE değeri %0.058'den %0.026'ya düşmüştür (Barak ve Sadegh, 2016).

Oruç ve Eroğlu çalışmasında Isparta ilinin, geleceğe yönelik doğal gaz ihtiyacını belirlemeye çalışmıştır. Gri Tahminleme, Box-Jenkins ve Üstel Düzleştirme Yöntemleri ile mevsimsel farklılıklar dikkate alınarak öngörü işlemleri yapılmış, elde edilen tahmin değerleri dışında, mevsimsel etkiyi hesaplama bakımından farklılık gösteren bu 3 yöntemin yeterliliğini de karşılaştırmıştır. Tahminleme sürecinde Ocak 2010-Nisan 2016 dönemi konut sektörüne ait 76 aylık veri kullanılmıştır. Mayıs 2016-Aralık 2017 dönemini kapsayan 20 ay için öngörü işlemi yapılmış, üç modelin tahmin başarısı RMSE, MSE, MAE-MAD ve MAPE başarı kriterleriyle değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; Gri Tahminleme en başarılı tahmin sonuçlarını verirken, Box-Jenkins Yöntemi en başarısız tahmin sonuçlarını vermiştir (Oruç Ve Eroğlu, 2017).

Çalışmaya asıl yön veren yenilenebilir enerjinin tahminiyle ilgili geçmişte yapılan bazı çalışmalarda şu şekildedir;

Ediger ve Tatlıdil 1950 – 2000 yılları arasındaki verileri kullanarak 2000 – 2010 yılları için Türkiye'deki birincil enerji talebini Winters'ın Üstel Düzeltme yöntemini uygulayarak tahmin etmişlerdir. 2010 yılında Türkiye'nin enerji tüketiminin 130 milyon ton eşdeğer petrolü bulacağı sonucuna varmışlardır (Ediger ve Tatlıdil, 2002).

Soylu ve Türkay Türkiye'deki mevcut elektrik üretim tesislerinin kullanım oranlarını ve kurulabilecek tesislerin hangilerinin nerede ve ne zaman kurulması gerektiğini, elektrik talebini karşılayacak şekilde maliyeti minimize edecek bir doğrusal programlama modeli kurarak açıklamışlardır. Türkiye'nin 2005–2054 yılları arasındaki gelecek 50 yıllık elektrik talebini, geçmiş 20 yıllık verilerin incelenmesi ve trendin belirlenmesiyle tahmin etmiştir. Çalışmanın sonunda Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş için çalışmalarını arttırması gerektiği ve tespit edilen kapasitelerin daha detaylı incelenip arttırılabileceği, yapılacak olan yatırımların Türkiye için verimli olacağı sonuçlarına varmıştır (Soylu ve Türkay, 2005).

Ediger ve Akar, Türkiye'nin 2005'ten 2020 'ye kadar birincil enerji talebini tahmin etmede Arıma ve Sarıma modelini kullanmıştır. Yapılan çalışmada negatif gelişim oranına sahip olacak hayvan-bitki kalıntıları ve odundan dolayı toplam birincil enerji kaynaklarının ortalama yıllık gelişim oranlarında azalma gözlenecektir. Bu düşüşün sebebinin tahmin edilen dönemdeki ekonomik büyümenin yavaşlaması, önümüzdeki 10 yılda GSYİH(Gayri safi yurt içi hasıla)'nın enerji tüketiminden daha hızlı artması ve enerji yoğunluğunun zirveye ulaşması öngörülmesi olduğu söylenmiştir (Ediger ve Akar, 2006).

Ermis ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 1965-2004 yılları arasındaki dünya yeşil enerji ve fosil yakıtların (kömür, petrol, doğal gaz) tüketim verileri YSA ile eğitilmiş ve 2050 yılına kadar tahmin yapılmıştır. Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların dünya birincil enerji tüketim denklemleri türetilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre fosil yakıt kaynaklarının mevcut rezervlerinin sınırlı olması ve yakın gelecekte tükenmesi beklenmekte, Dünya yeşil enerji tüketiminin 2010' a kadar 62,74 EJ olması ve 2005–2025 yılları arasındaki toplam enerji kullanımının ortalama %32,29 'unu oluşturması beklenmektedir. Ayrıca Dünya petrol ve kömür tüketiminin 2045 sonrasında istikrarlı kalması beklenirken yeşil enerji ve doğal gaz tüketimi 2050 sonrasına kadar artmaya devam etmesi öngörülmüştür (Ermis vd, 2006).

Özpinar rüzgar, hidrolik debi ve güneşlenme verileriyle kısa, orta ve uzun dönem tahminler yapmış, tahmin için yapay sinir ağları ve bulanık mantığı kullanmıştır. Tahminler ve öngörüler, Çanakkale, Düzce, Giresun, Mersin, Antalya illeri için yapılmıştır. Yenilenebilir enerji santrallerinde enerji üretiminin kontrolü ve planlamasının günlük, aylık ve yıllık olarak hassasiyetle yapılmasını amaçlamıştır. Kullandığı verileri debi hariç saatlik, aylık ve günlük olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğünden, debi ile ilgili veriler ise BEST A.Ş. den almıştır. Bu veriler 1968 ile 2006 yılları arasını kapsamaktadır. Oluşturduğu modeli Türkiye'nin çeşitli yörelerinden elde edilen gerçek verilerle karşılaştırmış ve uyumun çok yüksek olduğunu gözlemlemiştir (Özpinar, 2007).

Çınar Türkiye'nin hidroelektrik enerjisinin üretim tahminini yapmış ve tahmin modeli olarak geri yayılma algoritması ile eğitilen yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Geri yayılma algoritmasının yerel optimuma takılma riskini azaltmak için stokastik arama tekniği olan genetik algoritma kullanmıştır. Tüm girdi değişkenleri için 1970- 2004 arası yıllık veriler kullanılmıştır. Daha sonra 2005–2010 yılları arasında hidroelektrik üretimi ve enerji ithalatı tahminleri yapılmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre hidroelektrik üretimi henüz hızlı bir artışa geçemezken, ithalat hızında artışın sürdüğünü gözlemlemiştir. Enerji planlarında hidroelektrik üretim stratejilerine daha çok önem verilmesi gereğini vurgulamıştır (Çınar, 2007).

Martın ve arkadaşları İspanyol Ulusal Radyometrik Ağ'dan aldıkları verilerle saatlik güneş enerjisi tahmini yapmışlardır. Yöntem olarak zaman serilerini kullanmışlar ve 3 günlük tahminlerde bulunmuşlardır. Sonuçlar farklı yöntemlerle karşılaştırılmış ve yapay sinir ağlarının daha olumlu sonuçlar verildiği görülmüştür (Martın vd, 2010).

Azadeh ve arkadaşları çevresel ve ekonomik faktörleri göz önünde bulundurarak yenilenebilir enerji tüketimini tahmin etmiş ve optimum tahmini bulmuştur. Bunu yaparken yapay sinir ağları modelinden faydalanmıştır. En küçük ortalama mutlak yüzde hataya sahip olan çok katmanlı algılayıcı (MLP) ile test ve eğitim verileri kullanmıştır. Bunun için İran'a ait 1996–2006 yılları arasındaki 11 yıllık veriler aylık olarak toplanmıştır. Çalışmanın doğruluğunu kanıtlamak için sonuçlar konveksiyonel ve bulanık regrasyon modeli ile karşılaştırılmıştır (Azadeh vd, 2013).

Melikoğlu yaptığı çalışmada Türkiye'nin karayolu taşımacılığında kullanılan benzin, dizel, LPG, bioetanol ve biodizel gibi yakıtların 2013–2023 yıllarındaki talebini tahmin etmiştir. Bunu yaparken 1980–2012 yılları verilerini ve yarı amprik modeli kullanmıştır. Tahmin sonucuna göre Türkiye'nin 0.2 milyon m<sup>3</sup> olan mevcut bioetanol kapasitesinin



2018 yılına kadar yeteceği ancak 2023 yılında bu talebin 0.3 milyon m<sup>3</sup> olacağı için yeni yatırımlara ihtiyaç duyulacağı öngörüsü yapılmış ayrıca biodizel ihtiyacının da 2023 yılında maksimum 3.362 milyon m<sup>3</sup> olacağı tahmin edilmiştir (Melikoğlu, 2014).

Kialashaki çalışmasında Amerika'nın farklı sektörlerdeki enerji talebini tahmin etmiştir. Tahmin işlemi için yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Endüstri sektöründe 1980-2012 yılları arasındaki veriler, ticaret sektöründe 1987- 2012 yılları arasındaki veriler kullanmıştır. Endüstri sektöründe 1980-2009 verileri eğitim 2010-2012 verileri test verisi, ticaret sektöründe 1987-2007 arası veriler eğitim, 2008-2012 verileri test verisi olarak seçilmiştir. Bu verilerle 2013-2030 yılları arasındaki veriler tahmin edilmiştir. Endüstri sektöründe artan ve azalan fiyat senaryosu olarak iki senaryo belirlenmiş ve bunlara göre enerji talebi sırasıyla %7 ve %25 artış ile ticaret sektöründe artan ticaret ve azalan ticaret senaryosuna göre enerji talebi %5 ve %2 artışla sonuçlanmıştır (Kialashaki, 2014).

Gök Türkiye'nin sahip olduğu güneş, biyokütle, jeotermal, rüzgâr ve hidrolik kaynaklarından, elektrik üretimindeki katkısını arttırmak için hangisine öncelik verilmesi gerektiğini çok kriterli karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) 'ni kullanılarak incelemiştir ve 3 farklı senaryoyla duyarlılık analizi yapmıştır. Çalışmanın sonucunda, enerji hedeflerini gerçekleştirmenin çevresel hedefleri gerçekleştirmeye göre daha önemli olduğu ve hidrolik enerjinin en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ortaya çıkmıştır Güneş ve rüzgâr enerjisi ise elektrik üretimindeki katkısını arttırmak için geliştirilebilecek ikinci ve üçüncü seçenekler olarak seçilmiştir (Gök, 2015).

Leva ve arkadaşları fotovoltaik güneş enerjisini yapay sinir ağları kullanarak tahmin etmiştir. Bu amaçla 48 saatlik hava tahminine göre ertesi günün saatlik enerjisini tahmin etmiştir. Bunu 240 gün (8 ay) için gerçekleştirmiştir (Leva vd, 2015).

Doğancı ve arkadaşları Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin ettiği geçmiş 7 yıllık basınç, nem, rüzgâr hızı, sıcaklık ve yağış verilerini kullanmış ve Orta-Batı Karadeniz bölümlerinde bulunan il ve ilçelerden örnekleme yapılarak rüzgâr enerjisi tahmin çalışması yapmıştır. Çalışmada yapay sinir ağları metodu kullanmıştır. Rüzgâr hızı tahmininde kullanılan giriş parametreleri; veri ölçüm dönemi (ay), basınç, sıcaklık, nispi nem ve yağıştır. Bu kapsamda dört farklı bölge için (Bafra, İnebolu, Zonguldak ve Karabük) öngörü değerleri, gerçek değerlerle karşılaştırılmış ve hesaplanan tahmin değerleri ile gerçek değerlerin örtüştüğü görülmüştür (Doğancı vd, 2016).

Makas ve Karaatlı Antalya Havzasında bulunan Isparta ili Aksu ilçesindeki Yenice deresinden beslenen bir hidroelektrik santralin 2007–2014 tarihleri arasındaki verileri ile

İleri Beslemeli Geri Yayınım Sinir Ağı kullanarak 12 aylık elektrik üretimi tahmin edilmiştir. Aylık ortalama yağış, aylık ortalama nisbi nem ve aylık ortalama debi verileri yapay sinir ağlarında girdi olarak kullanılmıştır. 2008–2012 yılları öğrenme, 2013 yılı doğrulama, 2014 yılı test verisi olarak seçilmiştir. 2014 yılının gerçek üretim değerleri ile tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve modelin doğruluğu test edilmiştir. Yüksek doğrulukta YSA modeli ile 2015 yılı elektrik üretimi tahmin edilmiştir (Makas ve Karaatlı, 2016).

Dong ve arkadaşları kümeleme analizi ile rüzgar gücü tahmininde bulunmuştur. Çalışmada Çin'deki bir rüzgar çiftliğinden alınan Ocak 2012'den Şubat 2012'ye kadarki değerler ile gerçek değerler test edilmiştir. K-ortalama k=3 olarak alınmıştır. Çalışmanın sonucuna göre kullanılan yöntemin rüzgar hızı tahmini için uygun olduğu söylenmiştir (Dong vd, 2016).

Lee ve Huh Güney Kore için yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerjiyi sektör olarak 3'e ayırmıştır. Elektrik sektörü için güneş, rüzgar, dalga, atık enerjisi, hidroelektrik ve bio enerjiyi; ısıtma sektörü için güneş ve atık enerjisi ile jeotermal ve bio enerjiyi; ulaşım sektörü içinde bio enerjiyi kullanmışlardır. Bunu yaparken doğrusal regresyon modelini kullanmış ve rekabetçi yayılım, lojistik büyüme, hükümet planlarının senaryoları ve şirketlerin proje yatırımlarından faydalanarak her biri için 2012–2035 yılları arası ayrı ayrı tahmin yapmışlardır (Lee ve Huh, 2016).

Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yapılan farklı çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir; Yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye'deki potansiyeli (Altaş, 1998), Türkiye'nin alternatif enerji kaynakları potansiyeli ve ekonomik analizleri (Yamak, 2006), Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde rüzgar ve güneş enerjilerinin yeri (Karataş, 2009), Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi (Küleççi, 2009), Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı (Kendirli ve Çakmak, 2009), Yenilenebilir enerji kaynakları: Dünya piyasalarındaki son gelişmeler ve politikalar (Kum, 2009), Yenilenebilir enerji kaynakları maliyet analizi ve sürdürülebilir yek uygulamaları (Ertuğrul ve Kurt, 2009), Niğde ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (Sarıkaya, 2010), Yenilenebilir enerji kaynakları Avrupa Birliği ve Türkiye uygulamaları (Bayındır, 2010), Yenilenebilir enerji kaynakları (Zeray, 2010), Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği (Önal ve Yarbay, 2010), Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyüme ilişkisi: İspanya örneği (Şen, 2010), 2050 yılında %100 yenilenebilir enerji (Kayakutlu, 2011), Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımları ve istihdam yaratma potansiyeli (Erdal, 2012), Türkiye'nin jeotermal

enerji potansiyeli (Arslan vd, 2012), Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi açısından önemi (Yılmaz, 2012), Yenilenebilir enerji araştırma raporu (Topçu ve Yünsel, 2012), Afyonkarahisar ili yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli (Demirkol, 2013), Yenilenebilir enerji yatırımları potansiyelinin AHP ile değerlendirilmesi (Ayan ve Pabuçcu, 2013), Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin incelenerek, yenilenebilir enerji kullanımının gelecek projeksiyonlarının değerlendirilmesi (Erdoğan, 2014), Dünyada ve Türkiye'de rüzgar enerjisi durumu (Şenel ve Koç, 2015), Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri (Gedik, 2015), Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ve sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi (Erdil ve Erbyık, 2015), Yenilenebilir enerji kaynağı olarak Türkiye'de atık potansiyelinden enerji kullanımı (Baran vd, 2016).

Literatür konusunda geçmiş yıllara ait daha detaylı bilgi Suganthi ve Samuel'in 2011 yılında yaptığı çalışmadan elde edilebilir.

Bu çalışma kapsamında da Türkiye'nin çeşitli enerji kaynaklarına yönelik talep tahmini bir arada verilmiştir.

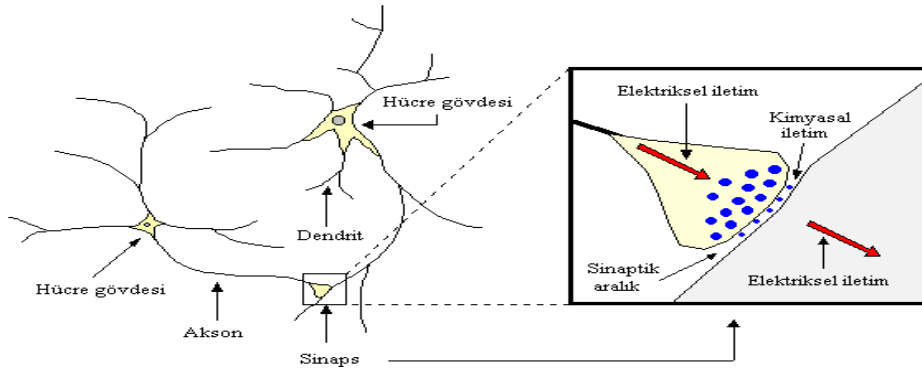
### 3. KULLANILAN YÖNTEMLER

#### 3.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları'nın çalışma prensibi insan beyninin işleyişini taklit eder. Elektronik devrelerden oluşan yapılarla veya bilgisayar yazılımları ile benzetimi yapılarak uygulanır. Öncelikle öğrenme süreci gerçekleştirilir, bilgi toplanır, hücreler arasındaki ağırlıklar ile bilgi saklanır ve sonuç olarak genelleme yapılır. YSA, kendi kendine öğrenebilen ve karar verebilen bir algoritmaya sahiptir. Doğrusal olan veya olmayan herhangi bir problemin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi mevcut örneklerden öğrenme, yeni örnekler ile karşılaşınca daha önce öğrendiği bilgileri kullanarak probleme çözümler üretebilme gibi özellikleri vardır (Atik, 2004).

Genelleştirme özelliği sayesinde, YSA'ya uygulanan veriler eksik, bozuk veya daha önce karşılaşmadığı şekilde olsa dahi, ağ kabul edilebilir en uygun çıktıyı üretebilmektedir (Atik, 2004).

Yapay sinir ağları probleme özel basit yapıları öğrenebilme, genelleme yapma, paralel işlem yapabilme, hatayı tolere etme kabiliyetlerinden ve modellenmesi güç olan, doğrusal olmayan karmaşık problemlere kolay çözümler sunabilme gibi üstünlüklerinden dolayı karmaşık sistemlerin modellenmesinde ve denetiminde çok geniş uygulama alanı bulmuştur (Yazıcı vd, 2007). Bir biyolojik sinir hücresi Şekil 14'te örneklendirilirken biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir ağları arasındaki benzerlikler de Tablo 9'da verilmiştir.



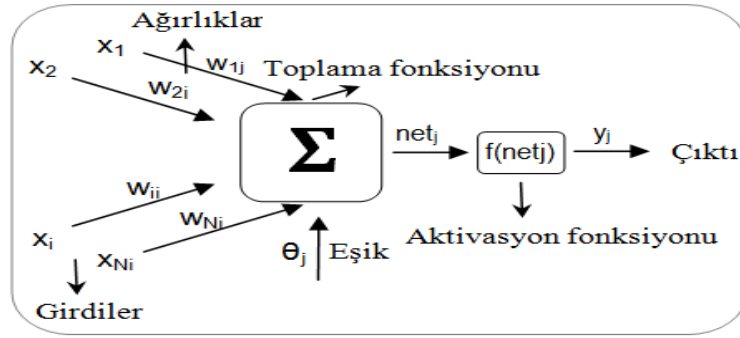
Şekil 14. Biyolojik sinir hücresi (Yazıcı vd, 2007).

Tablo 9. Sinir sistemi ile YSA benzerliği

Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağları
Sinir Sistemi	Sinirsel Hesaplama Sistemi
Nöron(Sinir)	İşlem Elemanı
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Aktivasyon Fonksiyonu
Aksonlar	Eleman Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

### 3.2. Yapay Sinir Ağlarının Temel İşlemleri

Biyolojik sinir hücrelerinin modellenmesi ile oluşturulan ve onlara göre çok daha basit bir yapıya sahip olan yapay sinir hücreleri, YSA'nın en küçük bilgi işleme birimleridir. Bir yapay sinir hücresinde; girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır (Koca,2006). Bir yapay sinir ağı örneği Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Yapay sinir ağı hücresi (Özşahin, 2013).

Girdiler ( $x$ ), dış ortamdan veya diğer yapay nöronlardan alınan verilerdir.

Ağırlıklar ( $w$ ), bir yapay sinir hücresine gelen verinin o hücre üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlıkların büyük ya da küçük olması, önemli ya da önemsiz olduğunu göstermez. Değerlerin artı veya eksi olması etkisinin pozitif (arttırıcı) veya negatif (azaltıcı) olduğunu, sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını gösterir. Ağırlıklar değişken veya sabit değerler olabilirler (Öztemel, 2006).

Toplama fonksiyonu (eşik fonksiyonu) ( $\Sigma$ ), hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Değişik toplama fonksiyonları mevcuttur. Ancak yaygın olarak kullanılan girişlerin ilgili ağırlıkla çarpılarak ağırlıklı toplamın bulunduğu fonksiyondur. Bir yapay sinir ağında bulunan hücreler aynı toplama fonksiyonunu kullanmayabilir. Bazı toplama (birleştirme) fonksiyonları Tablo 10'da gösterilmiştir (Hamzaçebi, 2005).

Tablo 10. YSA birleştirme fonksiyonları

Toplama İşlevi	Açıklama
Çarpım Net Girdi = $\prod_i x_i w_i$	Girdiler ve ağırlıklar çarpılır sonra bu değerler de birbiriyle çarpılır.
Maksimum (En Çok) Net Girdi = $\text{Max}(x_i w_i)$ $i=1,2,\dots,N$	N adet girdi ve ağırlık birbiriyle çarpıldıktan sonra en büyüğü net girdi olarak kabul edilir.
Minumum (En Az) Net Girdi = $\text{Min}(x_i w_i)$ $i=1,2,\dots,N$	N adet girdi ve ağırlık birbiriyle çarpıldıktan sonra en küçüğü net girdi olarak kabul edilir.
Çoğunluk Net Girdi = $\sum_i \text{sgn}(x_i w_i)$	N adet girdi ve ağırlık birbiriyle çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Bunlardan büyük olan net girdi olarak alınır.
Kümülatif Toplam Net Girdi = $\text{Net}(\text{eski}) + \sum_i (x_i w_i)$	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

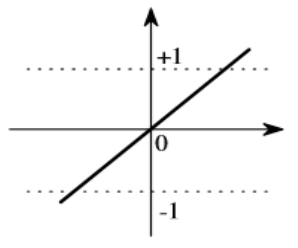
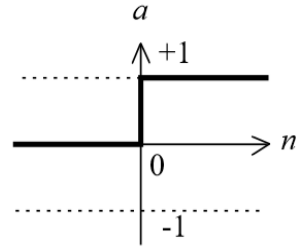
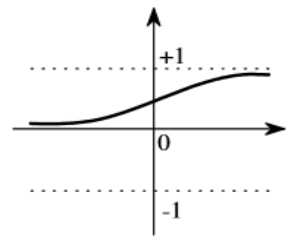
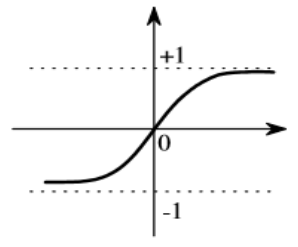
Aktivasyon fonksiyonu (F), toplama fonksiyonundan elde edilen ve 3.1 numaralı eşitlikle hesaplanan net girdiyi yani aktivasyon potansiyelini ( $v$ ) işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı ( $y$ ) belirleyen bir fonksiyondur (Sağıroğlu, 2003).

$$v = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} + \theta_i \quad (3.1)$$

Burada  $x_i$  i. girişi,  $w_{ij}$  j. elemandan i. elemana bağlantı ağırlığını ve  $\theta_i$  kutuplama değerini (eşik değerinin negatif işaretlisi), n önceki katmandaki (giriş sinyali gönderen) yapay nöron sayısını göstermektedir.

Aktivasyon fonksiyonları bir YSA'da nöronun çıkış genliğini  $[0,1]$  veya  $[-1,1]$  arasında sınırlar. Kullanılacak aktivasyon fonksiyonlarının türevi alınabilir olmalı ve süreklilik arz etmelidir (Öztemel, 2006). Lineer veya doğrusal olmayan transfer fonksiyonları sayesinde YSA'lar karmaşık ve farklı problemlere uygulanabilmektedir. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Aktivasyon fonksiyonları (Demuth vd., 2008).

Özdeşlik aktivasyon fonksiyonu	$f(v) = x$	
Eşik aktivasyon fonksiyonu	$f(v) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$	
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	$f(v) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	
Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu	$f(v) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$	

Çıktı, toplama fonksiyonu ile bulunan net girdiler uygun bir aktivasyon fonksiyonuna aktarılarak net çıktı hesaplanır, çıktılar problemin çözümüdür (Alan, 2013).

### 3.3. Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları

- Matematiksel modele ihtiyaç duymazlar. Doğrusal olmayan problemleri modelleyebilirler (Hamzaçebi, 2005).

- Öğrenme kabiliyetleri vardır ve farklı öğrenme algoritmalarıyla öğrenebilirler. Ön bilgiye ihtiyaç duymazlar (Hamzaçebi, 2005).

- Matematiksel olarak modellenmesi zor olan ya da mümkün olmayan problemleri rahatlıkla çözümlerler.

- Yapay sinir ağları uygulamaları hem pratik hem de ekonomiktir.

- Yapay sinir ağları birçok yonteme göre zaman bakımından da daha verimlidir.

- Farklı sistemlere uyarlanması zor olabilir.

- Yapay sinir ağları ile bir uygulama geliştirilirken model seçiminde ve ağların topolojisini belirlerken belli bir kural yoktur. Doğru seçimlerin yapılması kullanıcının tecrübesine bağlıdır.

- Ağın davranışlarının açıklanması mümkün olmadığı için ağa güven azalmaktadır.

- Bazen eğitim gerçekleşmesi uzun zaman alabilir.

- Bulunan çözümün en uygun çözüm olduğunu söylemek mümkün değildir.

Optimum sonuca ulaşabilmek için eğitim setinin fazla olması gerekmektedir.

- Ağırlıkların hesaplanması zordur (Hamzaçebi, 2005).

### 3.4. Yapay Sinir Ağlarının Tasarımı

Bir sinir ağı modeli oluşturmak için nöronların bağlantı şekli (topoloji), işlemci elemanlarının kullandıkları toplama ve aktivasyon fonksiyonları, öğrenme kuralı ve algoritması belirlenmelidir. Model ne kadar doğru tasarlanır ise o kadar başarılı demektir. Asıl önemli konu çalışılan problemin öncelikle YSA modeli ile çözümünün uygun olup olmadığı belirlenmelidir. Eğer uygun ise, çözülmesi gereken problemin giriş ve çıkış katmanında kullanılacak parametrelerin belirtilmesi gerekmektedir. Kullanılacak yapay sinir ağı mimarisi ile YSA yapısının diğer unsurlarına karar verildikten sonra, gizli katman sayısı ve her bir katman için nöron sayısı belirlenmelidir. Ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan, optimum veya optimuma yakın katman ve işlem elemanı sayıları deneme/yanılma metodu ile belirlendikten sonra, YSA modeli tasarlanmış olup eğitim için hazır durumdadır (Bayır, 2006).



### 3.4.1. Normalizasyon

Yapay sinir ağındaki verilerin, öncelikle hepsi bir aralıkta ve birbirleri ile benzer bir biçimde olmalıdır. Tüm veriler değer olarak bir aralıkta ve birbirleri ile orantılı bir biçimde olmadığında, yani veriler arasındaki fark aşırı büyük ya da aşırı küçük olduğunda, elde edilen net girdiler orantısız değerler halinde olacaktır. Bu nedenle, hesaplama hatalarından kaçınmak için, verilerin belirli bir aralıkta ölçeklendirilmesi gerekir. Genellikle ölçeklendirme için  $[0 - 1]$  aralığı tercih edilir. Veri normalleştirme, eğitim süreci başlamadan uygulanır (Hamzaçebi, 2011).

### 3.4.2. Yapay Sinir Ağı Topolojisinin Seçimi

Yapay sinir ağları ile problemin başarılı bir şekilde çözülmesi için YSA topolojisinin doğru bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. YSA topolojisinin seçimi problemin türüne bağlıdır (Atasoy, 2010). Bazı ağlar, birden çok problem tipinin çözümünde kullanılmaktadır. İleri beslemeli geri yayılım ağları hemen hemen tüm problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Anderson ve McNeill, 1992).

### 3.4.3. Katman ve Nöron Sayısının Belirlenmesi

Yapay sinir ağlarında katman sayısı ve her katmandaki nöron sayısı problemin çözümüne bağlıdır. Katman sayısı ve her katmandaki nöron sayısı arttıkça, öğrenme seviyesi artarken, yakınsama süresi fazlalaşmaktadır. Ayrıca, eğer katman sayısı çok ise ağın öğrenme yerine ezberlemesine ve ağın karmaşıklığına sebep olur. Bununla birlikte katman ve katmanlardaki nöron sayısının çok az sayıda kullanılması, ağın öğrenememesine ve elde edilen çıktının hassasiyetinin azalmasına sebep olur. Katman ve nöron sayısının belirlenmesinde kesin bir kural yoktur. Genellikle deneme yanılma yöntemi ile birlikte ağların performansı değerlendirilerek uygun olan ağ seçilmektedir.

### 3.4.4. Diğer Etkenler

Yapay sinir ağı modeli geliştirilirken, önemli bir diğer konu da ağ parametrelerinin belirlenmesidir. Bu parametreler, başlangıç ağırlıklarının atanması, momentum ve öğrenme katsayılarının belirlenmesi, toplama ve aktivasyon fonksiyonlarının seçilmesidir. Bu parametrelerin belirlenmesinde kesin formüller yoktur, deneme yanılma yöntemi ile uygun parametre değerleri belirlenmeye çalışılmaktadır (Hamzaçebi, 2011).

#### 3.4.4.1. Öğrenme Katsayısı

Öğrenme katsayısı, adım büyüklüğünü tayin etmektedir. Öğrenme oranı, ağırlıkların bir sonraki düzeltmede ne kadar değişmesi gerektiğini belirlemektedir. Öğrenme oranı, genellikle 0 ile 1 arasında bir değerdir. Öğrenme oranının büyük değerleri, değişim miktarını artırırken, küçük bir değer seçilmesi ise öğrenme süresinin uzamasına neden olmaktadır (Mehrotra vd., 1997).

#### 3.4.4.2. Momentum Katsayısı

Momentum katsayısı, her bir döngü sonunda gerçekleşen parametre değişiminin, bir sonraki parametreye etki oranını belirler. Böylece, ağı eğitimi sırasındaki ağırlık değişim değerinin, bir sonraki değişime hangi oranda yansıtacağı belirlenir (Altınışık, 2012). Momentum katsayısı, ağı daha hızlı toparlanmasına yardım eden bir faktördür. 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. 0 değerini aldığı zaman, ağırlık değişiminde geçmiş değişim miktarının dikkate alınmaması, 1 değerini aldığı zaman ise ağırlık değişiminin daha çok geçmiş değişime bağlı olması anlamına gelir (Hamzaçebi, 2011).

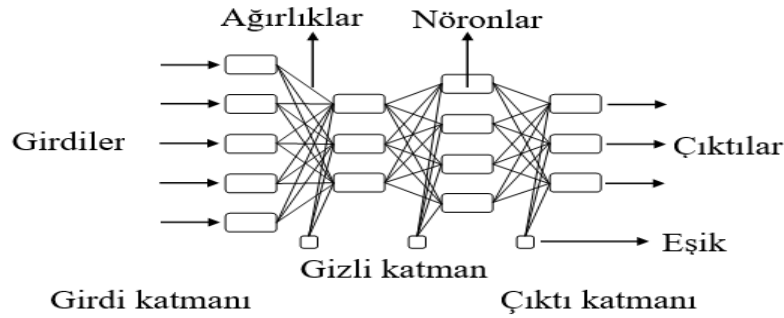
## 3.5. Yapay Sinir Ağlarında Ağ Yapıları

### 3.5.1. Yapay Sinir Ağları'nın Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları; bilginin akış yönü ve yapay nöronlar arasındaki bağlantıların yapısı bakımından, ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olarak ikiye ayrılır.

### 3.5.1.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli yapay sinir ağları yapay nöronların ara katmanlara ayrıldığı ve bilgilerin giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü iletiildiği yapılardır. Aynı katmandaki yapay nöronlar arasında bağlantı yoktur, her bir katmandaki yapay nöronlar sadece bir önceki katmanın yapay nöronları tarafından beslenir ve bu ağlar verilere hızlı bir şekilde çıktı üretebilmektedir (Sağıroğlu vd, 2003). Bir katmandaki hücrelerin çıktıları sonraki katmana girdi olarak verilmektedir. Dışarıdan alınan bilgi değişikliğe uğramadan ara (gizli) katmandaki hücrelere iletilir. Öğrenme algoritması olarak çoğunlukla geri yayılım algoritmasını kullanır ve bu tür ağların en çok tercih edileni çok katmanlı algılayıcıdır (Saraç, 2004). Genellikle sinyal işleme ve sınıflandırma gibi problemlerde uygulanır (Baş, 2006). Şekil 16'da ileri beslemeli yapay sinir ağı örneklendirilmiştir.



Şekil 16. İleri beslemeli yapay sinir ağı (Özşahin, 2013).

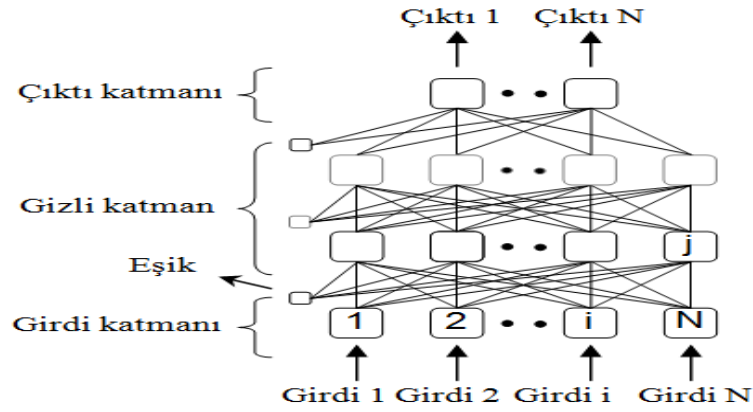
#### 3.5.1.1.1. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Ağı

Tek katmanlı yapay sinir ağları ile doğrusal olmayan problemleri modellemek mümkün olmadığından daha gelişmiş bir ağ olan çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir.

Bir MLP modelinde birer tane giriş ve çıkış katmanı bulunurken, bir veya daha fazla ara katman bulunmaktadır. Her bir katmanda da bir veya daha fazla sayıda işlem elemanı mevcuttur. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri doğrudur geri besleme yoktur. Giriş katmanında bazı ağlarda bir bilgi işleme yapılmaz. Giriş ve çıkış katmanındaki işlemci elemanı sayısı probleme göre değişmektedir. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlemci elemanı sayısı da, deneme-yanılma yolu ile bulunur (Sağıroğlu, 2003). Gizli katman ve gizli

katmanlardaki yapay nöron sayılarının artırılması ağı eğitimi için geçen süreyi uzatmakta, ağı genelleştirme yapmasını engellemektedir (Haykin, 1994).

Gizli katman girdi katmanından gelen bilgileri işler ve çıktı katmanına gönderir. Gizli katmanda bulunan nöronların dış ortamlarla bağlantıları yoktur. Çıktı katmanı, ara katmandan gelen bilgileri işleyerek, çıktıyı üretir (Benli, 2002). Şekil 17’de çok katmanlı ağ örneği verilmiştir.



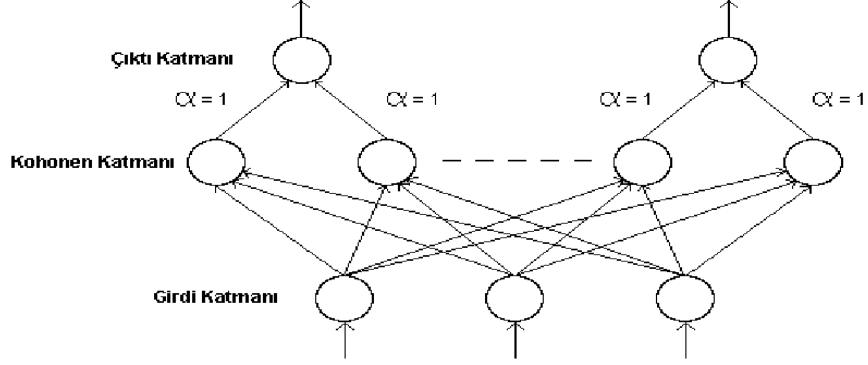
Şekil 17. Çok katmanlı ağ (Özşahin, 2013).

Giriş katmanındaki yapay nöron sayısı YSA’daki veri girişi sayısı, çıkış katmanındaki yapay nöron sayısı YSA’dan alınacak bilgi sayısı kadardır. Gizli katman ve gizli katmanlardaki yapay nöron sayıları az olan ağlar sadece doğrusal kestirim yapabilmekte, karmaşık örüntüleri ayırt edememektedir (Atik, 2004).

### 3.5.1.1.2. Öğrenme Vektör Nicelendirmesi (Learning Vector Quantization) Ağı

Learning Vector Quantization- Öğrenme vektör nicelendirme ağı (LVQ) ağı 1984 yılında Kohonen tarafından tasarlandığı için bu şekilde de adlandırılabilir. Şekil 18’de görüldüğü gibi bir giriş, bir çıkış ve bir Kohonen katmanından oluşur. Kohonen katmanı ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklar ( $\alpha$ ) sabit olup 1’e eşittir ve değişmez (Baş, 2006). Giriş katmanındaki nöronlar ara katmandaki tüm nöronlarla bağlıdır, ara katmandaki farklı sayıdaki nöron grupları çıkış katmanındaki her bir nörona bağlıdır. Bu ağı öğrenme işlemi, girdi vektörünün hangi vektör seti tarafından temsil edileceğinin bulunmasını sağlamaktadır.

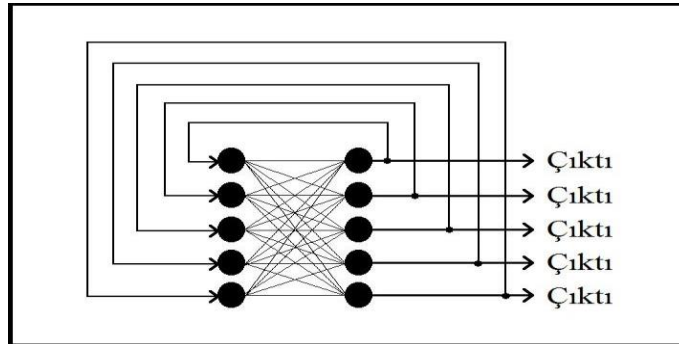
LVQ ağı sınıflandırma ve görüntü işleme problemlerinin çözümünde kullanılır. Bu ağ için kullanılan öğrenme takviyeli öğrenmedir (Sağıroğlu, 2003).



Şekil 18. Öğrenme vektör nicelendirilmesi ağı (Baş, 2006)

### 3.5.1.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağları, yapay nöronların çıkış verilerinin kendi giriş birimlerini veya önceki katmanları geri beslediği yapılardır. Girişlerin hem ileri hemde geri yönde aktarıldığı bu ağlarda geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi farklı katmanlardaki hücreler arasında da olabilir. Böylece, bir çıkış verisi, hem o girişleri hem de önceki girişleri yanıtılabilmektedir (Göktepe vd, 2005). Geri beslemeli yapay sinir ağlarının karmaşık bir çalışma düzeneği olmasına karşın tahmin uygulamalarında başarılıdır. İleri beslemeli ağlarda gecikmeler yokken, geri beslemeli ağlarda gecikmeler söz konusudur. Bu tür ağlara Hopfield ağı örnek verilebilir. Şekil 19'da geri beslemeli ysa yapısı gösterilmiştir.



Şekil 19. Geri beslemeli yapay sinir ağı (Haykin, 1994).

### 3.6. Yapay Sinir Ağlarında Eğitim

Ağın kendisine gösterilen girdiler ile doğru çıktıları üretecek hale gelmesi yani ağın eğitilmesi için YSA içerisindeki ayarlanabilir parametreler olan bağlantı ağırlıklarının ve eşik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Başlangıçta ağın bağlantılarınının sahip olduğu ağırlık değerleri rasgele olarak atanır (Hamzaçebi, 2005). Yapay sinir ağları kendilerine örnekler (eğitim seti) gösterildikçe bu ağırlıkların değerlerini ağın öğrenme kuralına (algoritması) bağlı olarak değiştirirler. Amaç istenen çıktı ile ağ çıktısı arasındaki farkı minimize etmek başka bir deyişle ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerini bulmaktır (Öztemel, 2006).

Yapay sinir ağları, insan zekâsı gibi, örneklerle eğitilirler. Örnekler ağa birçok kez gösterilerek en doğru ağırlık değeri bulunmaya çalışılır. Ağ, eğitim setindeki örneklerin tamamı için doğru çıktılar üretinceye kadar bu işlemler tekrarlanır. Ağırlıkların değişimi öğrenme sürecini ifade eder. Ağın doğru ağırlık değerine ulaşması, örneklerin temsil ettiği olay hakkında, ağın genellemeler yapabilme yeteneğine kavuştuğunu diğer bir ifade ile ağın öğrendiğini gösterir.

YSA ne kadar fazla örnekle eğitilirse öğrenebilecekleri olay sayısı da o kadar artar ve hata oranı azalarak daha hassas sonuçlar elde edilir. Ancak ağa verilen örnek sayısı optimum değerden fazla olursa öğrenme değil ezberleme gerçekleşir.

Eğitimi tamamlanan ağın ne kadar öğrendiğini ölçmek için yapılan test etme işleminde, eğitim sonucu belirlenen bağlantı ağırlık değerleri değiştirilmeden, ağın görmediği test örnekleri (test seti) ağa gösterilerek çıktılar üretir. Sonuçlar iyi olursa ağın eğitilmiş olduğu kabul edilir (Öztemel, 2006).

#### 3.6.1. Eğitimin Sonlandırılması

Yapay sinir ağlarında, eğitim aşamasının sonlandırılacağı noktanın belirlenmesi, ağın genelleştirme yeteneğini etkileyebildiği gibi, ağın aşırı eğitilmesi durumunda da ezberleme probleminde neden olabilmektedir. Yapay sinir ağı modellerinde, eğitimin sonlandırılması için üç yöntem vardır. Birinci yöntemde, ağın önceden belirlenen iterasyon sayısına ulaşması ile eğitim aşaması sonlandırılır. İkinci yöntemde, araştırmacı kabul edilebilir bir hata seviyesi belirleyerek eğitime işlemine başlar. Ağ önceden belirlenen bu eğitim seviyesine ulaştığı zaman, eğitim durdurulur. Son yöntemde ise, çapraz geçerlilik olarak da

bilinen onaylama seti için, hata oranının yükselmeye başladığı anda, eğitimin durdurulmasıdır. Bu yöntemde, ağırlık eğitimi için kullanılacak olan örnek set üç kümeye ayrılır. Ağırlık eğitimi aşamasında, ağırlık değerleri belirlenirken, geçerlilik setinin hata oranı dikkate alınır. Geçerlilik setinin hata oranı, eğitim setinin hata oranını geçtiği noktada eğitim durdurulur. Bu noktada ağırlık değerleri, en uygun ağırlık değerleri olarak alınır (Akdağ, 2010).

### **3.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme**

Yapay sinir ağlarının kullandığı öğrenme stratejileri, genel olarak danışmanlı (eğiticili, denetimli), danışmansız (eğiticisiz, denetimsiz) ve takviyeli öğrenme olarak üç grupta sınıflandırılabilir.

#### **3.7.1. Danışmanlı Öğrenme**

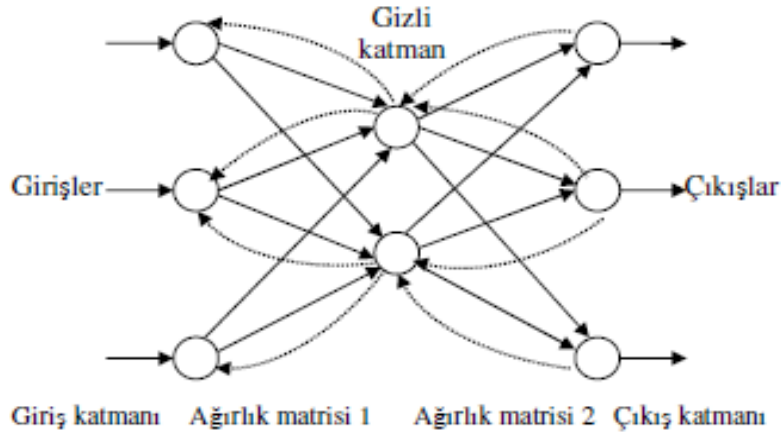
Danışmanlı öğrenmede yapay sinir ağına, giriş-çıkış vektörleri şeklinde ayrıntılı eğitim örnekleri verilmektedir. Örneğe ait hem giriş hem de çıkış değerleri ağa sunulur ve her iterasyonda örneğe ait çıkış değerleri ile ağın çıkış değerleri karşılaştırılarak ağın hatası hesaplanır. Bu hata kabul edilebilir olana kadar ağırlık, yapay nöronlar arasındaki ağırlıkları ve eşik değerlerini değiştirerek devam eder (Öztemel, 2006). Ağ kullanılmaya başladığında eğitim sonucunda elde edilen ağırlık değerleri genellikle sabit kalır, değiştirilmez. Ancak bazı ağ modellerinde kullanım aşamasında da az da olsa eğitime devam edilir. Buradaki amaç ağın değişen koşullara uyum göstermesini sağlamaktır (Çetin, 2003). YSA'da en yaygın öğrenme biçimidir. Danışmanlı öğrenmede en genel kullanılan algoritma geri yayılım algoritmasıdır.

##### **3.7.1.1. Geri Yayılım Algoritması (Backpropagation)**

Geri yayılım algoritması çok katmanlı yapay sinir ağlarının eğitiminde anlaşılması kolay, sonuçları etkin, matematiksel olarak kolayca ispatlanabilir olduğundan çok tercih edilmektedir (Altun vd., 1999). Giriş, çıkış ve en az bir gizli katmandan oluşur. Gizli katmandaki düğüm sayısı değişebilir. Düğüm sayısı artarsa ağın hatırlama yeteneği artar,

ancak öğrenme süresi uzar. Bir katmandaki her düğüm kendinden sonraki katmandaki her düğüme bağlıdır. Fakat aynı katman içindeki hiçbir düğüm diğerine bağlı değildir. Yine her katmandaki düğümlerin çıkışları kendinden sonraki katmana giriş olarak döner.

Algoritma, geriye doğru hataları azaltmaya çalışmaktadır. Geriye doğru hesaplama (uyum gösterme) safhasında ağa sunulan girdiler ( $G_1, G_2, \dots$ ) için ağın ürettiği çıktılar ( $\mathcal{C}_1, \mathcal{C}_2, \dots$ ) ile beklenen çıktı ( $B_1, B_2, \dots$ ) değerleri karşılaştırılarak hata değerleri hesaplanır. Amaç toplam hatanın en aza indirilmesidir. Hataların kareleri ortalaması dereceli azaltma (gradient descent) yöntemi kullanılarak, minimize edilmeye çalışılır (Öztemel, 2006). Örnek geri yayılım algoritması Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. Geri yayılım algoritması

### 3.7.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenmede çıkış değerinin bilinmesine gerek olmadığından ağa sadece giriş değerleri sunulur ve bu değerlerle uyumlu bir çıkış değeri üretecek şekilde ağın kendisini uygun ağırlıklarla düzenlemesi istenir. Sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. ART (Adaptive Resonance Theory) veya SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir (Haykin, 1999).



### 3.7.2.1. Uyarlanır Rezonans (ART) Ağı

Art ağı 1976'da Grossberg tarafından ortaya çıkarılmıştır. Birçok farklı ART ağı bulunmaktadır. Normalizasyon, ayrıştırabilme ve ayrıntıların saklandığı kısa dönemli hafıza olmak üzere 3 temel üzerine kurulmuştur. Girdi özelliklerini gösteren F1 katmanı ve sınıfları gösteren F2 katmanı olarak 2 katman vardır (Baş, 2006).

Ağırlıkların bir kısmını danışmanlı bir kısmını da danışmansız öğrenmeyle ayarlayan yapay sinir ağları da mevcuttur. Radyal tabanlı yapay sinir ağları (Radial Basis Networks - RBN) ve olasılık tabanlı yapay sinir ağları (Probability Based Neural Networks - PBNN) örnek olarak verilebilir.

### 3.7.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenmede sisteme yardımcı olan bir öğretici, çıktı setini sisteme göstermeden sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık ürettiği çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir. Sistem bu sinyale göre öğrenme sürecini sürdürmekte ağırlıkları optimize ederek kendisini istenilen cevaplara uyarlayabilmekte ve kendi içindeki bilgiyi düzenleyebilmektedir. LVQ bu sisteme örnek olarak verilebilir (Civalek ve Calayır, 2007).

Öğrenme algoritmalarının birçoğu matematik tabanlıdır ve ağırlıkların güncelleştirilmesi için kullanılırlar.

## 3.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Kuralları

### 3.8.1. Hebb Kuralı

Hebb (1949) tarafından biyolojik öğrenme temel alınarak geliştirilen bu kural bilinen en eski öğrenme kuralıdır. Bu kurala göre, bir yapay sinir hücresinin çıktısı diğer bir yapay sinir hücresinin girdisi durumundaysa ve her iki hücre de yüksek derecede aktif ise (matematiksel olarak aynı işareti taşıyorsa) her iki hücrenin arasındaki bağlantının ağırlığı artırılmalıdır (Hamzaçebi, 2005).

### 3.8.2. Hopfield Kuralı

Hopfield Kuralını Hebb Kuralından ayıran özellik Hopfield Kuralı'nda, bağlantı ağırlığında yapılacak olan değişikliğin büyüklüğünün de belirlenmesidir. Buna göre, girdi ve çıktı aktifse, bağlantı ağırlığı öğrenme katsayısı kadar arttırılmakta, değil ise öğrenme katsayısı kadar azaltılmaktadır (Hamzaçebi, 2005). Öğrenme katsayısı genel olarak 0-1 arasında atanan sabit ve pozitif bir değerdir.

### 3.8.3. Delta Kuralı

Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir. Yapay sinir hücresinin gerçek çıktısı ile beklenen çıktısı arasındaki farkı azaltmak için yapay sinir ağlarının işlemci elemanları arasındaki bağlantı ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi ilkesine dayanır. Bu kuralla, gerçek çıktı ile beklenen çıktı arasındaki hatanın karesi en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle En Küçük Kareler Kuralı (Least Mean Square Rule-LMS) veya Widrow-Hoff Kuralı olarak da adlandırılır (Hamzaçebi, 2005).

### 3.8.4. Kohonen Kuralı

Kohonen (1982) tarafından geliştirilen bu kural biyolojik sistemlerdeki öğrenmeden esinlenmiştir. Kurala göre işlemci elemanlar, ağırlıklarının ayarlanması için yarışmakta ve kazanan işlemci elemanın bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir. En uygun çıktıya sahip işlemci elemanın kazandığı kuralda bu işlemci eleman, kendisine komşu işlemci elemanların ağırlıklarının değiştirilmesine de izin vermektedir (Hamzaçebi, 2005).

## 3.9. Arıma Yöntemi

Zaman serilerinin herhangi bir dönemdeki değeri, o serinin geçmiş dönem değerleri ve hata terimlerinin doğrusal bir bileşimi ile açıklanmaktadır. Arıma modeli tek değişkenli zaman serilerinin ileriye dönük tahmin ve kontrolünde kullanılan istatistiksel yöntemlerdendir (Kaynar ve Taştan, 2009).

Zaman serileri ortalamadan gösterdiği sapmalara göre durağan ve durağan olmayan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Durağanlık serinin davranışının geçmişte, şuanda ve gelecekte aynı olduğu anlamına gelir. Durağan süreçlere AR(p), MA(q) ve ARMA(p,q) modelleri uygulanır. Eğer seri durağan ise;

- Sabit bir değer etrafında değişim gösterir, ortalaması değişmez.
- Zamana bağlı olmayan bir varyansı vardır.
- İki değeri arasındaki kovaryans sadece bu iki değer arasındaki uzaklığa bağlıdır.

Zaman serilerinin birçoğu değişen belirli bir stokastik sürecin özelliklerini taşıdığı için durağan değildir. Yani seri;

- Sabit bir değer etrafında dağılmaz, ortalaması sabit değildir.
- Varyans zamana bağlıdır.
- Gözlemler arasındaki ilişki, gözlemlerin uzaklığı arttıkça azalmaz.

Durağan olmayan modellerde seri genellikle artan veya azalan bir eğime sahiptir (Erdoğan, 2006). Seriyi durağan hale getirmek için durağan olmayan zaman serilerinin farkı alınarak dönüştürme işlemi uygulanır. Bu sayede durağan hale getirilmiş serilere uygulanan modeller durağan olmayan doğrusal stokastik modeller olarak adlandırılır. Bu modeller belirli sayıda farkı alınmış serilere uygulanan AR ve MA modellerinin birleşimidir (Solak, 2013). Zaman serisinin trendi doğrusal ise birinci fark serisi, eğrisel ise farkların farkı alınarak ikinci farklar serisi durağan olur (Hamzaçebi, 2005). AR modelinin derecesi otoregresif terim sayısı (p), MA modelin derecesi hareketli ortalama terim sayısı (q) ve serinin fark alma derecesi (d) olan model, (p, d, q) dereceden otoregresif entegre hareketli ortalama modeli olarak isimlendirilir ve ARIMA (p, d, q) şeklinde gösterilir (Solak, 2013). ARIMA (p, d, q) modelinde hareketli ortalama parametresi yoksa model ARI (p, d), otoregresif model parametresi yoksa model IMA (d, q) şekline dönüşebilir (Hamzaçebi, 2005).

ARIMA (p, d, q) modelinin genel ifadesi eşitlik 3.2'de verildiği gibidir.

$$z_t = \delta + \alpha_1 z_{t-1} + \alpha_2 z_{t-2} + \dots + \alpha_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \beta_1 \varepsilon_{t-1} - \beta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \beta_p \varepsilon_{t-p} \quad (3.2)$$

Burada  $\delta$  sabit değeri,  $z_t, z_{t-1}, \dots, z_{t-p}$  d. dereceden farkı alınmış gözlem değerlerini,  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$  bu gözlem değerlerinin katsayılarını,  $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-p}$  hata terimlerini,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  hata terimi katsayılarını göstermektedir (Solak, 2013).

Mevsimsel zaman serilerinde aynı mevsim gözlem değerleri ilişkisini gösteren ARIMA(P, D, Q)<sub>s</sub> modeli de kullanılabilir. Burada s birbirini izleyen aynı mevsim gözlem değerleri arasındaki zaman aralığını gösterir. Örneğin aylık serilerde 12, üç aylık serilerde 4 değerini alır (Hamzaçebi, 2005).

Mevsimsel ve mevsimsel olmayan ARIMA modelleri, Box-Jenkins tarafından ileri sürülmüş ve doğrusal zaman serilerinin öngörülmesinde kullanılmıştır (Eğrioğlu, 2005).

Arıma yönteminde en uygun modele karar vermek için 4 ayrı adım vardır.

1. Model Belirleme: Zaman serisine uygun model belirlenir.
2. Parametre Tahmini: Belirlenen modele ilişkin parametreler tahmin edilir.
3. Uygunluğun Testi: Modelin veri setine uygunluğu istatistiksel yöntemlerle test edilir uygun bulunmazsa yeni bir modelin belirlenmesi için ilk aşamaya dönlür.
4. Tahmin: Seçilen en uygun model tahmin için kullanılır (Kaynar ve Taştan, 2009).

### 3.9.1. Model Belirleme

Zaman serilerini oluşturan sürecin özelliklerini saptayabilmek için otokovaryans, otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyonları kullanılır.

#### 3.9.1.1. Otokovaryans Fonksiyonu

İki rastgele değişken arasındaki değişimin ölçüsü otokovaryans olarak adlandırılır. Zaman serilerinin modellenmesinde, modelin türü ve derecesinin belirlenmesinde kullanılmasının yanı sıra serinin durağan olup olmadığı hakkında da bilgi verir (Yüksel, 2015). Korelasyon fonksiyonu eşitlik 3.3'te verilmiştir.

$$\begin{aligned} \gamma_k &= Cov(\gamma_t, \gamma_{t-k}) = E[(\gamma_t - E(\gamma_t))(\gamma_{t-k} - E(\gamma_{t-k}))] \\ &= E[(\gamma_t - \mu)(\gamma_{t-k} - \mu)] \end{aligned} \quad (3.3)$$

### 3.9.1.2. Otokorelasyon Fonksiyonu (ACF)

Farklı zamanlardaki gözlemler arasındaki ilişkinin gücünü gösterir. Fonksiyonun formülasyonu eşitlik 3.4'teki gibidir.

$$\rho_k = \frac{E[(\gamma_t - \mu)(\gamma_{t-k} - \mu)]}{\sqrt{E[(\gamma_t - \mu)^2] E[(\gamma_{t-k} - \mu)^2]}} \quad (3.4)$$

### 3.9.1.3. Kısmi Otokorelasyon Fonksiyonu (PACF)

Diğer zaman gecikmelerinin etkisi yok edildiğinde  $Y_t$  ile  $Y_{t-k}$  arasındaki birlikteliğin derecesini ölçmek için kullanılır.  $Y_{t-1}$  ile  $Y_{t-2}$  arasında anlamlı bir otokorelasyon olduğunda  $Y_t$  ile  $Y_{t-2}$  arasındaki korelasyonu ölçmek için  $Y_{t-1}$  değerinin etkisini bilmek gerekir. Buna da kısmi otokorelasyon denir (Yüksel, 2015). Eşitlik 3.5 ve 3.6'da formülasyonu verilmiştir.

$$\Phi_{11} = \rho_1 \quad (3.5)$$

$$\Phi_{22} = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2} \quad (3.6)$$

ACF ve PACF'nin grafiksel davranışları Tablo 12'de verildiği gibidir.

Tablo12. ACF ve PACF davranış biçimleri

Model	ACF	PACF
AR(p)	Üstel veya sinüs eğrisi şeklinde azalır	q gecikmeden sonra anlamlı değildir
MA(q)	q gecikmeden sonra anlamlı değildir	Üstel veya sinüs dalgası şeklinde azalır
ARMA(p, q)	Üstel veya sinüs eğrisi şeklinde azalır q-p gecikme sonra anlamlı değildir	Üstel veya sinüs dalgası şeklinde azalır p-q gecikme sonra anlamlı değildir

### 3.9.2. Model Parametrelerinin Hesaplanması

Model belirleme yaklaşımının diğer bir aşaması tahmin işleminde kullanılacak aday modellerin parametrelerinin hesaplanmasıdır. AR(p), MA(q) ve ARIMA(p,q) tipi modellerinin parametrelerinin hesaplanması doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi veya maksimum olasılıklar yöntemi (maximum likelihood) kullanılabilir. SAS® ve Eviews yazılımları aracılığıyla model parametreleri hesaplanabilmekte ve parametrelere ilişkin standart hatalar bulunabilmektedir (Subaşı, 2005).

### 3.9.3. Uygunluk Testi

Bazen seriye uygun birden fazla model olabilir. Bu gibi durumlarda seriye en uygun modelin seçimi için bazı kriterlere başvurulur.

#### 3.9.3.1. Akaike Bilgi Kriteri (AIC)

AIC modeldeki terimlerin sayısını dikkate alarak modelin uyumunun iyiliğini ölçer. Alternatif modeller arasında en küçük AIC değerini veren model en uygun model olarak seçilir (Yüksel, 2015). Eşitlik 3.7'deki gibi hesaplanmaktadır.  $n$  gözlem sayısını,  $m$  parametre sayısını ( $m=p+q+1$ ),  $\sigma^2$  varyansı göstermektedir.

$$AIC = n \ln \sigma_e^2 + 2m \quad (3.7)$$

#### 3.9.3.2. Schwarz Bilgi Kriteri (SIC)

SIC, yeni değişkenler modele eklendiğinde oluşacak durumu değerlendirmek için kullanılmaktadır (Ekmekçi, 2016). SIC değeri AIC kriterine göre daha az parametrelili modelleri seçme eğilimi gösterir ve SIC değeri AIC değerinden daha küçük çıkar (Yüksel, 2015). Eşitlik 3.8'de verildiği gibi formüle edilir.

$$BIC = n \ln \sigma_e^2 + m \ln n \quad (3.8)$$

### 3.10. Gri Tahmin Yöntemi

Gri Tahmin modelinin temelinde bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilginin gri eleman olarak tanımlanması yer almaktadır. Belirsiz sistemlerin davranışlarını, yetersiz ve eksik veri ile tahmin edebilmektedir. Bu tahmin yönteminde, beyaz ve siyah renkler sembol olarak kullanılmıştır (Yılmaz ve Yılmaz, 2013). Belirsizliğin olmadığı durumlar beyaz renk, zıt özelliklere sahip sistem siyah renk ile nitelendirilmiştir. Bu iki bilgi arasında kalan ve yalnızca sınırlı bilgiye sahip olunan bilgiler ise Gri sistem olarak isimlendirilmektedir. Gri teori, gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri karar verme ve gri tahmin gibi alt başlıklarla farklı alanlarda uygulanmaktadır. Sistem diğer yöntemlerden farklı olarak daha küçük gözlem grubu (minimum 4 gözlem değeri) ve daha zayıf bilgilerin olduğu problemlere de çözüm getirebilmektedir (Oruç ve Eroğlu, 2017).

GM (n,m); diferansiyel denkleminin derecesi n, değişken sayısı m olan bir gri modeli ifade eder. Birçok gri tahmin modeli olmasına rağmen en çok kullanılanı GM (1,1) modelidir.

#### 3.10.1. GM (1,1) Modeli

Verilerin olasılık dağılımı gibi herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymaz ve girilen veri miktarı en az 4 olacak şekilde sınırlandırıldığında da kullanılabilir. Bu nedenle sınırlı verilerle tahmin yapmada kolaylaştırıcı bir modeldir. GM (1,1) modeli sadece pozitif veri serilerine uygulanabilir (Hamzaçebi ve Es, 2014). Gri tahmin 3 ana operatöre sahiptir;

1. Birikim Üretme İşlevi (BÜİ)
2. Ters Birikim Üretme İşlevi (TBÜİ)
3. Gri Model (GM) (Yılmaz ve Yılmaz, 2013)

Gri Tahmin modelinin adımları aşağıda gösterilmiştir.

N örnek sayısı ile orijinal zaman serisi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$X_{(0)} = \{ ( X_{(0)}(1), X_{(0)}(2), \dots X_{(0)}(n) ) \mid n \geq 4 \}$  Bu seri arka arkaya gelen, eşit aralıklardan alınan bir seridir. Tahmin işlemi için şu adımlar izlenmektedir

Adım 1: Birikim Üretme İşlevi (BÜİ) bu adı ile veri şekillendirilir. Kaotik ve karmaşık verilerde verinin kendine has özelliklerini ya da o verilere ait kuralları ortaya çıkarmak için kullanılır. Birikim oluşturma işlem süreci gri sistemlerde kullanılan beyazlaştırma metodudur (Yılmaz ve Yılmaz, 2013). GM (1,1) modeli orijinal veriyi BÜİ

ile monoton artan bir hale getirir. BÜİ dönüşümü yöntemin başlangıç noktasıdır. BÜİ' yi uygulayarak orijinal verideki gidişatı bozucu etkiler azaltılır. Böylece veri azalan ya da artan üstsel bir hal alır. Aynı zamanda gri sistemde veriler içerdikleri gizli bilgileri de tanımlamak için BÜİ' ye ihtiyaç duyarlar. BÜİ formülasyonu Eşitlik 3.9'da verilmiştir (Boltürk, 2013).

$$\mathbf{x}^{(1)}(\mathbf{k}) = \sum_{t=1}^{\mathbf{k}} \mathbf{x}^{(0)}(i) \quad (3.9)$$

Adım 2: Gri modeli biçimlendirmek ve katsayıları bulmak için diferansiyel denklemi kurulur bu denklemler Eşitlik 3.10 ve 3.11'deki gibidir. Burada k zaman noktalarını ifade etmektedir.

$$\mathbf{x}^{(0)}(\mathbf{k}) + \mathbf{a}\mathbf{z}^{(1)}(\mathbf{k}) = \mathbf{b} \quad \mathbf{k} = 2, 3, \dots, \mathbf{n} \quad (3.10)$$

$$\mathbf{z}^{(1)}(\mathbf{k}) = 0.5\mathbf{x}^{(1)}(\mathbf{k}) + 0.5\mathbf{x}^{(1)}(\mathbf{k} - 1) \quad (3.11)$$

Adım 3: En küçük kareler yöntemi ile a ve b katsayıları bulunur. a gelişme katsayısı, b sürücü katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Eşitlik 3.12, 3.13 ve 3.14'te bu işlemler gösterilmiştir.

$$[\mathbf{a}, \mathbf{b}]^T = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y} \quad (3.12)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\mathbf{z}^{(1)}(2) & \mathbf{1} \\ -\mathbf{z}^{(1)}(3) & \mathbf{1} \\ \dots & \mathbf{1} \\ -\mathbf{z}^{(1)}(\mathbf{n}) & \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$



$$Y = \begin{bmatrix} -x^{(0)}(2) \\ -x^{(0)}(3) \\ \dots \\ -x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

(3.14)

Adım 4: Tahmin edilen a ve b katsayılarına göre, denklem 3'deki diferansiyel denklemin çözülmesi ile GT denklemi elde edilmektedir bu denklem Eşitlik 3.15'teki gibidir.

$$x^{(1)}(k) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}, k = 0, 1, 2$$

(3.15)

BÜİ ile tahmin ettiğimiz bu değerlere TBÜİ uygulanmalıdır. Bu işlem için bulunan tahmin değerlerinin farkları alınır ve hata oranları bulunur (Boltürk, 2013). TBÜİ denklemi eşitlik 3.16'da verilmiştir.

$$x^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) \quad (3.16)$$

### 3.10.1.1. Gri İteratif

Bu yöntemde tahmin sürelerinin sayısı her bir dönemde en az 4 veri olacak şekilde h'ye eşit alınır ve yinelemeli tahmin yaklaşımı uygulanır ( $h= 1, 2, 3, \dots, h$ )

- Bir sonraki ilk dönem tahmin edilir
- İlk tahmin değeri kullanılarak sonraki ikinci dönem değeri tahmin edilir
- H dönem tahmin değeri elde edilinceye kadar bu işlem tekrarlanır.

Bu yaklaşımın en büyük dezavantajlarından biri tahmin boyutu büyük olduğunda bir sonraki dönemin tahmin değerini elde etmek için sadece tahmin edilen değerleri kullanmasıdır.  $h > k$  olduğunda belirli bir dönem sonra gözlem değerlerini kullanarak elde edilen yeni tahmin değerleri olamaz (Hamzaçebi ve Es, 2013).

### 3.10.1.2. Gri Doğrudan

Gri doğrudan tahmin yaklaşımında h periyodun tahmin değerleri sadece k periyodun geçmiş gerçek gözlem değerleri kullanılarak tahmin edilir (Hamzaçebi ve Es, 2013).

Tahmin modelinin güvenilirliğini test etmek için c kontrol oranı ve p parametreleri değerlendirilir.

$$C = \frac{s_1}{s_2} \quad (3.17)$$

$$q^0(t) = (x^0(t) - \hat{x}^0(t)) \quad (3.18)$$

$$\hat{q}^0 = (\sum_{t=1}^n ((q)^0(t)) / n) \quad (3.19)$$

$$p = p\{|q^0(t) - \hat{q}^0| < 0.6745s_1\} \quad (3.20)$$

$s_1$  ve  $s_2$  sırasıyla tahmin edilen serinin standart sapması ve gözlemlenen serinin standart sapmasını göstermektedir.

Tahmin modellerinin doğruluğunun standart olarak belirlenmesi Tablo 13'te verilmiştir (Taşçı, 2017).

Tablo 13. Tahmin modellerinin doğruluk dereceleri

Doğruluk Derecesi	Parametreler	
	p	c
İyi	>0.95	<0.35
Yeterli	>0.80	<0.50
Sınırdaki	>0.70	<0.65
Yetersiz	≤0.70	≥0.65

Optimum gri tahmin modelini belirlerken tahmin performansını etkileyen a ve k parametrelerinden faydalanılır. Literatürde genelde a=0.5 ve k=4 olarak kullanılmaktadır.

Ancak bu parametreler farklı değerler alındığında da tahmin performansı artabilir. Bu nedenle parametrelerin en iyi değerleri denenerek bulunabilir (Hamzaçebi ve Es, 2013).

#### 4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada YSA, ARIMA ve Gri Tahmin yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler literatürde en çok kullanılan yöntemler olduğundan ve birçok metoda göre daha iyi sonuçlar verdiği için tercih edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle, hidroelektrik) Türkiye'deki geçmiş 25 yıla ait tüketim verileri Euorostat web sitesinden alınarak gelecek 14 yıllık yenilenebilir enerji talebi YSA ve ARIMA yöntemi ile tahmin edilmiş Gri yöntemi ile 12 yıllık talep tahmin edilmiştir. Verilerin birimleri Thousand TOE (tonnes of oil equivalent) yani petrol ton eşdeğeri.

Ysa modeli uygulanırken verilerden 18 yıllık veri eğitim seti, 4 yıllık veri ise test seti olacak şekilde veri setleri oluşturulmuştur. Değişik ağ yapılarına ve öğrenme parametrelerine sahip farklı modeller kurulmuş, denemeler yapılarak en hassas sonuçları elde etmek için eğitimler gerçekleştirilmiş ve test işlemi ile en uygun modeller kurulmaya çalışılmıştır.

Geçmiş veriler, çıktı verilerine göre belirli gecikme zamanları göz önüne alınarak, girdi olarak ağa verilmiştir.

Geçmiş 25 yıla ait yıllık verilerle bir, iki ve üç dönemli (yıllık) gecikmeler belirlenerek ağın eğitimi her bir enerji kaynağı için gerçekleştirilmiştir.

Zaman serisinde maksimum ileriye doğru yapabileceğimiz statik tahmin sayısı, en küçük gecikme değeri kadardır. Girdi katmanındaki nöronların sayısı gecikme sayısı kadar olup, gecikme sayısı arttıkça, toplam gecikme sayısı kadar gözlem sayısının azalmasına neden olur.

Problemin çözümünde ileri beslemeli ve geri yayımlı çok katmanlı YSA tercih edilmiş, ağların eğitimi ve denemesi MATLAB paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçları karşılaştırmak için yine MATLAB paket programı kullanılarak Gri Tahmin metodu ve SPSS paket programından yararlanılarak ARIMA modeli kullanılmıştır.

Geliştirilen modellerden test seti için bulunan tahmini değerler gerçek değerlerle karşılaştırılmış en küçük RMSE, MAPE ve MSE (Hata Kareleri Ortalaması) değerlerini veren modeller, tahmin modelleri olarak seçilmiştir. Bu kriterler yine literatürde sık kullanılan yöntemler olduğu için tercih edilmiştir.

Bu kavramların matematiksel denklemleri eşitlik 4.1, eşitlik 4.2 ve eşitlik 4.3'deki gibidir. Denklemlerde  $t_i$  gerçek çıktıları,  $td_i$  ağıın ürettiği çıktı ve  $N$  toplam veri sayısını göstermektedir.

$$\text{Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE)} = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N \left[ \left| \frac{t_i - td_i}{t_i} \right| \right] \right) \times 100 \quad (4.1)$$

$$\text{Karesel Ortalama Hata Karekökü (RMSE)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (4.2)$$

$$\text{Hata Kareleri Ortalaması (MSE)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (4.3)$$

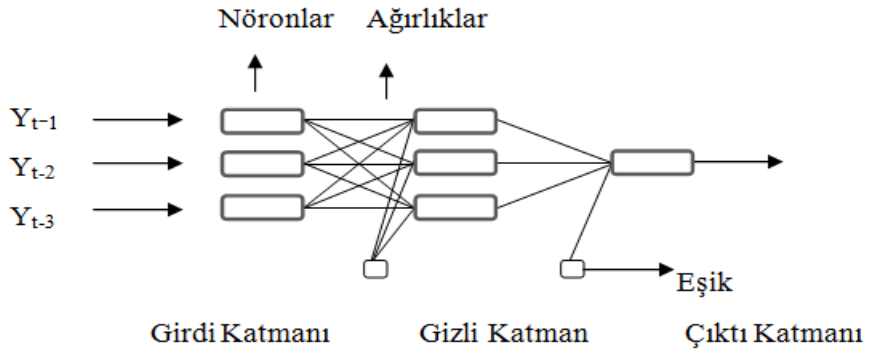
#### 4.1. Yapay Sinir Ağı Modellerinin Yapısı

Tahmin modelleri olarak seçilen ve gerçek değerlere en yakın sonuçları veren her bir enerji kaynağının YSA modeline göre eğitim ve test kümesi için MAPE ve RMSE değerleri Tablo 14'te verilmiştir. Değerler incelendiğinde hata oranı en küçük olan enerji kaynağının biyokütle enerjisi olduğu görülmüştür.

Tablo 14. YSA modeline göre MAPE ve RMSE değerleri

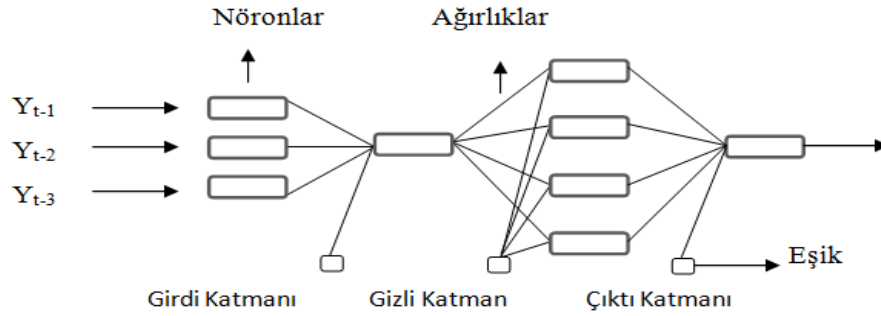
	Yenilenebilir Enerji	Hidroelektrik Enerjisi	Güneş Enerjisi	Biyokütle Enerjisi	Jeotermal Enerji
MAPE Eğitim Kümesi	1,190728	5,194155	3,356028	0,203117	1,920533
MAPE Test Kümesi	5,814759	17,5185	22,1792	14,02814	8,546774
RMSE Eğitim Kümesi	159,1431	208,3647	7,547678	14,94708	19,46826
RMSE Test Kümesi	884,1469	834,2347	173,1068	737,2464	269,8327

Seçilen bu modellerin ağ yapısı Şekil 21 ve 22'de görülmektedir Yenilenebilir enerji, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji ysa modelinin ağ yapısı; 1 giriş katmanı, 1 gizli katman, 1 çıkış katmanından oluşan YSA modelidir ve tek tabakadan oluşan gizli katmandaki işlem elemanı sayısı 3'tür ve ağ yapısı Şekil 21'de gösterildiği gibidir.



Şekil 21. YSA modeli-1

Hidroelektrik enerji ve güneş enerjisi ysa modelinin ağ yapısı ise 1 giriş katmanı, 2 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşan YSA modelidir. Gizli katmandaki işlem elemanı sayısı sırasıyla 1, 4'tür ve ağ yapısı Şekil 22'de gösterildiği gibidir.



Şekil 22. YSA Modeli-2

Tahmin modellerinde, aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu ile doğrusal transfer fonksiyonu, eğitim algoritması olarak da levenberg marquardt algoritması seçilmiş, öğrenme kuralı olarak momentumlu gradyan azaltım geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Tahmin için kullanılan gecikmeler Tablo 15'te gösterildiği gibidir.

Tablo 15. Tahmin için hesaplanan gecikmeler

<b>Gecikmeler</b>			
<b>t-3</b>	<b>t-2</b>	<b>t-1</b>	<b>t</b>
1990	1991	1992	1993
1991	1992	1993	1994
.	.	.	.
.	.	.	.
2011	2012	2013	2014
2012	2013	2014	2015
2013	2014	2015	2016
2014	2015	2016	2017
2015	2016	2017	2018
2016	2017	2018	2019
2017	2018	2019	2020
2018	2019	2020	2021
2019	2020	2021	2022
2020	2021	2022	2023
2021	2022	2023	2024
2022	2023	2024	2025
2023	2024	2025	2026
2024	2025	2026	2027
2025	2026	2027	2028

#### 4.2. Yapay Sinir Ağı Modellerinin Ağırlık Değerleri

Geliştirilen ysa tahmin modellerinin en uygun ağırlık değerleri bulunmuş ve bu bağlantı ağırlıkları her bir ağ yapısı için Tablo 16, 17, 18, 19 ve 20 ile gösterilmiştir.

Tablo 16. Yenilenebilir enerji YSA modelinin ağırlık değerleri

<b>Girdi Katmanı</b>				<b>Gizli Katman</b>	
<b>Nöron1</b>	<b>Nöron2</b>	<b>Nöron3</b>	<b>Eşik</b>	<b>Nöron1</b>	<b>Eşik</b>
-2,3104	7,3380	-1,5503	1,7226	1,3183	7,4626
2,7591	-8,4769	-1,2112	-3,6708	0,8911	
2,9142	-4,5689	-2,1204	-5,4566	7,9357	

Tablo 17. Hidroelektrik enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri

Girdi Katmanı		Gizli Katman					Gizli Katman	
Nöron1	Eşik	Nöron1	Nöron2	Nöron3	Nöron4	Eşik	Nöron1	Eşik
-0,3955	1,5119	4,2130	45,8712	21,9006	-44,6009	-5,1810	3,4746	2,9754
1,6763						-23,5109	-0,5743	
1,9159						-0,2573	0,6899	
						-25,8218	0,1988	

Tablo 18. Güneş enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri

Girdi Katmanı		Gizli Katman					Gizli Katman	
Nöron1	Eşik	Nöron1	Nöron2	Nöron3	Nöron4	Eşik	Nöron1	Eşik
-0,2037	-0,2917	4,0457	-4,3533	-5,2322	-6,2927	-7,1528	-0,2211	0,4992
0,1899						0,2592	0,3653	
-0,4206						-0,7838	0,2515	
						4,2953	-1,3176	

Tablo 19. Biyokütle enerjisi YSA modelinin ağırlık değerleri

Girdi Katmanı				Gizli Katman	
Nöron1	Nöron2	Nöron3	Eşik	Nöron1	Eşik
41,7957	-0,0308	13,0404	-12,7894	-0,0280	1,3711
20,4812	-0,0276	-1,4851	0,1170	-12,5078	
-58,4516	-0,0175	92,3281	-91,0263	0,1084	

Tablo 20. Jeotermal enerji YSA modelinin ağırlık değerleri

Girdi Katmanı				Gizli Katman	
Nöron1	Nöron2	Nöron3	Eşik	Nöron1	Eşik
-6,7494	-1,3567	-0,0365	-15,8492	-5,1567	-2,7023
-13,2874	-0,7936	0,0136	11,4145	-5,0414	
-22,8248	30,5486	-0,0664	-0,2965	-8,9457	



Ek Tablo 1’de enerji kaynaklarının yıllara göre gerçek değerleri, YSA, ARIMA ve Gri tahmin değerleri görülmektedir.

3 farklı yöntemle hesaplanan gelecek 14 yıla ait enerji tüketiminin tahmin değerleri de enerji kaynaklarına göre Ek Tablo 3’te verilmiştir.

### 4.3. Uygun Arıma Modelleri

Tahmin işlemi için en iyi sonucu veren ARIMA modelleri denenerek SPSS paket programı yardımıyla bulunmuştur ve Tablo 21’de ARIMA modeline göre enerji kaynaklarının MAPE ve RMSE değerleri ile seçilen modeller verilmiştir. Tablo incelendiğinde hata oranı en küçük olanın biyokütle enerjisi olduğu görülmüştür. Hidroelektrik enerjisi için Arıma modeli ile birçok kombinasyon denenmesine rağmen bütün parametrelerin anlamlı olduğu uygun bir çözüm bulunamamıştır. Biyokütle ve güneş enerjisi ile jeotermal enerji için veri dağılımında trend etkisi gözlemlendiği için logaritmik dönüşüm uygulanarak optimum sonuca ulaşılırken yenilenebilir enerji için dönüşüm uygulanmamıştır.

Deneme işlemi yapılırken ACF ve PACF grafikleri incelemiş ve seçilen modellerde dağılımın  $\mp 0,5$  değerleri arasında yayıldığı gözlemlenmiştir. Anlamlı modeller arasından MAPE değeri küçük olan uygun model olarak seçilmiştir. Tablo 22’de de parametrelerin anlamlılık seviyeleri verilmiştir. %95 güven aralığında ( $< 0,05$ ) anlamlı olan parametreler tercih edilmiştir.

Tablo 21. Seçilen ARIMA modelleri

Enerji Türü	Model	MAPE	RMSE
Yenilenebilir Enerji	ARIMA(1,0,0)	5,400	810,971
Hidroelektrik Enerjisi	Uygun çözüm bulunamadı		
Güneş Enerjisi	ARIMA Log (1,1,0)	7,714	53,491
Biyokütle Enerjisi	ARIMA Log (1,1,0)	4,912	384,860
Jeotermal Enerji	ARIMA Log (0,1,2)	6,101	127,688

Tablo 22. Anlamlılık değerleri

	Yenilenebilir Enerji	Hidroelektrik Enerjisi	Güneş Enerjisi	Biyokütle Enerjisi	Jeotermal Enerji
AR	0,000		0,000	0,034	
MA					0,000-0,003
Constant	0,000		0,023	0,044	0,027

#### 4.4. Gri Tahmin Yöntemi İçin Optimum Modellerin Seçimi

Türkiye'nin yenilenebilir enerjiye olan talebini gri yöntemle tahmin ederken öncelikle 25 yıllık verilerin son 25-k kadar olan dönemini en iyi tahmin edebilecek parametreler gri iteratif yöntem için Matlab paket programı yardımı ile belirlenmiştir. Alternatif modeller arasından en küçük MAPE değerini veren  $k$  ve  $\alpha$  değerleri uygun model olarak seçilmiş ve gelecek 14 dönem tahmin edilmiştir. İteratif yöntem için seçilen parametreler Tablo 23'te verilmiştir. Tabloya göre yenilenebilir enerji ve hidroelektrik enerjisi için her dönemde 4 yıllık veri, güneş enerjisi ve jeotermal enerji için 3 yıllık veri, biyokütle enerjisi içinde 6 yıllık veri kullanılarak dönemlere ayrılmıştır.

Tablo 23. İteratif yöntem için parametre değerleri

Enerji Türü	$k$	$\alpha$
Yenilenebilir Enerji	4	0,01
Hidroelektrik Enerji	4	0,03
Güneş Enerjisi	3	0,32
Biyokütle Enerjisi	6	0,62
Jeotermal Enerji	3	0,27

Bu tahmin işleminde ilk 25 yıllık dönem ve sonraki ilk  $k$  dönemin tahmininde gerçek değerler kullanıldığı için verilerin tahmini değerleri gerçek değerlere yakındır. Ancak sonrasında sadece tahmin edilen değerler kullanılarak işleme devam edildiği için son dönemlerde elde edilen değerler diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çok sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle ikinci alternatif olarak gri doğrudan modeli denenerek gelecek yılların sonuçları elde edilmiştir. Gri doğrudan model gerçek verilerle tahmin yaptığı için

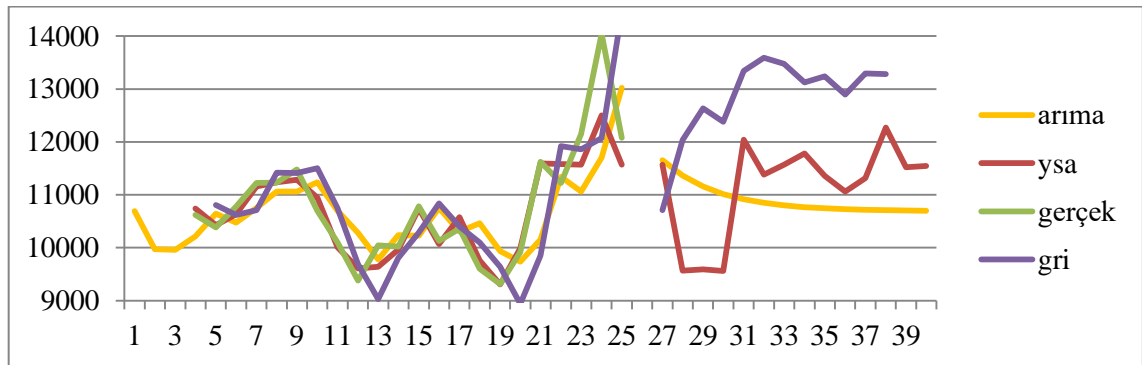
25. veriden sonrasını tahmin ederken önceki dönemlerin de etkisini yansıtabilmektedir. En iyi tahmini yapabilecek dönem  $k=3$  olarak alınmış ve böylece elimizdeki veri sayısı ile gelecek 12 dönem doğrudan yöntemle tahmin edilebilmiştir.  $k=3$  için en iyi alfa değeri bulunurken, jeotermal enerji hariç diğerleri için 25 verinin ilk 17 verisi ile son 8 dönemini, jeotermal enerji içinse son 5 dönemini en düşük MAPE ile tahmin edebilen parametreler seçilmiştir. Seçilen bu parametreler Tablo 24’te gösterilmiştir. Her bir enerji türü için en küçük hata oranını veren optimum  $\alpha$  değeri 0-1 arasındaki bütün olasılıklar denenerek bulunmuştur.

Tablo 24. Gri Doğrudan parametreleri ve MAPE değerleri

Enerji Türü	k	$\alpha$	MAPE Eğitim	MAPE Direct	C Eğitim	C Direct
Yenilenebilir Enerji	3	0,17	5,3842	12,1864	0,608403	0,759888
Hidroelektrik Enerji	3	0,22	18,7293	17,5306	0,692161	0,469313
Güneş Enerjisi	3	0,57	4,856	8,78	0,126778	0,250089
Biyokütle Enerjisi	3	0,47	0,6648	7,4498	0,059635	0,554789
Jeotermal Enerji	3	0,37	5,3719	12,4156	0,312888	0,784645

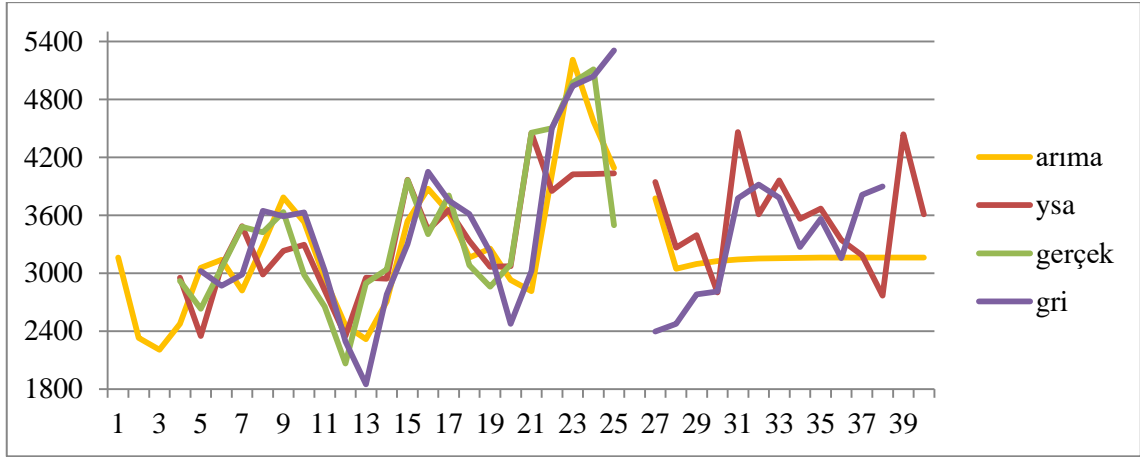
#### 4.5. Tahmin Sonuçlarının Grafiksel Olarak Karşılaştırılması

Tahmin sonuçlarının YSA, ARIMA ve Gri Tahmin yöntemlerine göre grafiksel karşılaştırmaları Şekil 23, 24, 25, 26 ve 27 ile gösterilmiştir. İlk 25 veri var olan veriler 25-39 arası veriler gelecek yılların tahmin değerleridir.



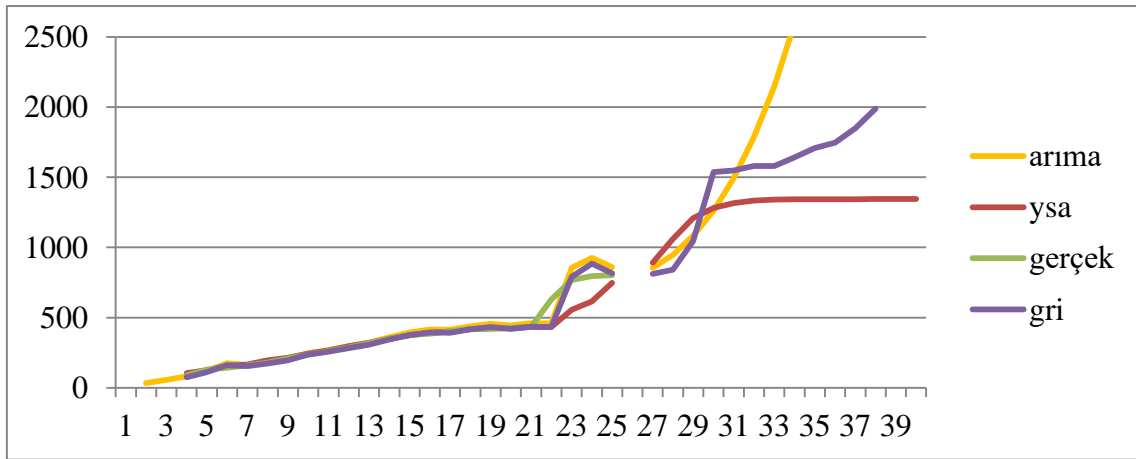
Şekil 23. Yenilenebilir enerji tahmininin grafiksel gösterimi

Grafik değerlendirildiğinde mevcut verilerin tahmini değerleri tüm yöntemler için birbirine yakinken gelecek dönem tahminlerinde gri tahmin ve ysa yöntemleri daha yakın sonuçlar üretmiştir.



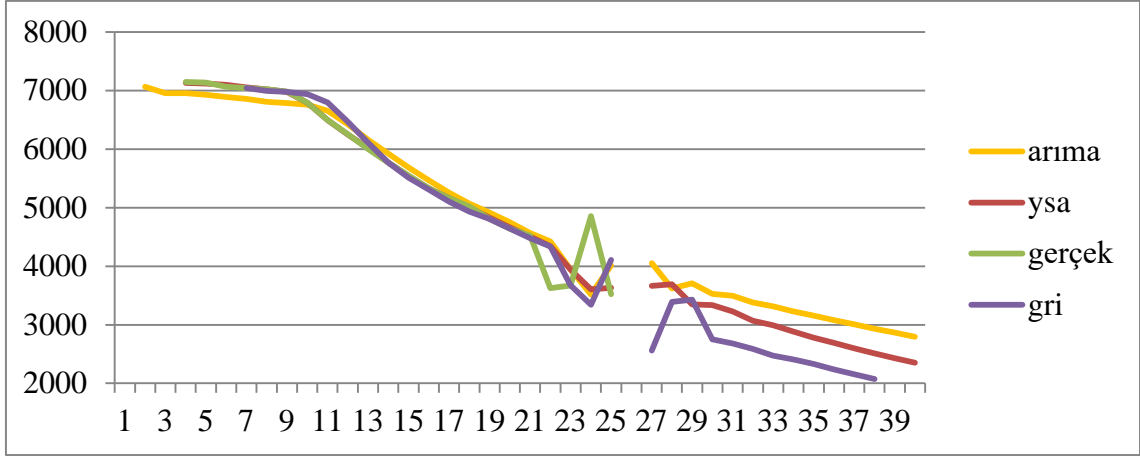
Şekil 24. Hidroelektrik enerjisi tahmininin grafiksel gösterimi

Hidroelektrik enerjisi tahmin sonuçlarının performansına bakıldığında Arıma yönteminin çok hassas farklarla sabit değerler üretmeye başladığı görülmüştür.



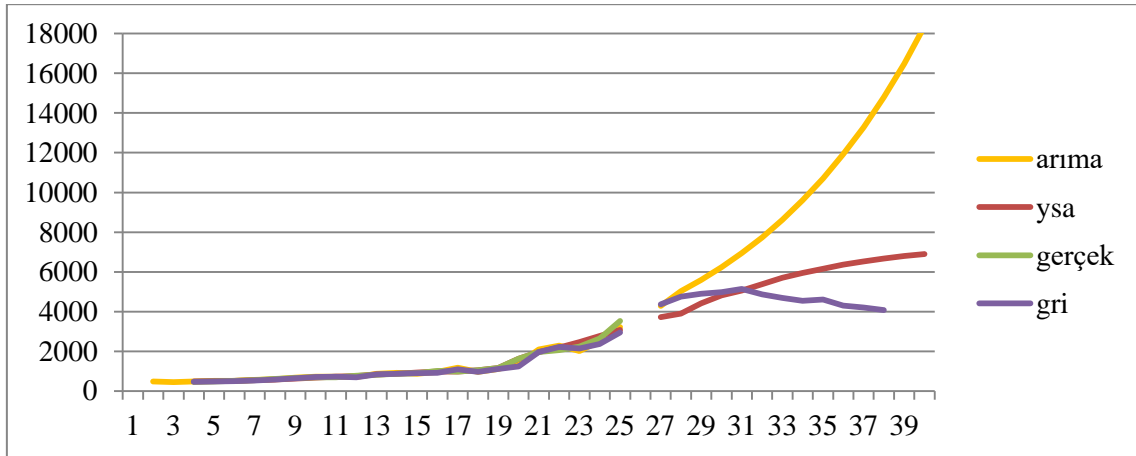
Şekil 25. Güneş enerjisi tahmininin grafiksel gösterimi

Şekil 25'te de görüldüğü gibi güneş enerjisi için gelecek dönem tahminlerinde ilk yıllarda her 3 yöntemde yakın değerler üretirken daha sonraki yıllarda sapmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 26. Biyokütle enerjisi tahmininin grafiksel gösterimi

Biyokütle enerjisi tahminleri değerlendirildiğinde Gri Tahmin ve Arıma yöntemleri ilk dönemler için diğer enerji kaynaklarına göre karşılaştırıldığında tam olarak örtüşmemiş ve gelecek dönem tahminlerinde 3 yöntemde birbirlerinde farklı sonuçlar üretmişlerdir.



Şekil 27. Jeotermal enerji tahmininin grafiksel gösterimi

Jeotermal enerji için ilk 25 dönem verileri grafik üzerinde bire bir örtüşürken gelecek dönem tahminleri birbirinden uzaklaşmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından, YSA, ARIMA ve Gri Tahmin yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu enerji kaynaklarının Türkiye ve Dünya'daki potansiyelleri ve maliyetleri gelecek yıllarda kaynaklara yönelme kararını verirken önemli rol oynamaktadır.

Enerji kaynaklarına yatırım yapılırken arz ve talep paralellik göstermeli, arz talebi karşılayabilmelidir. Bu nedenle ileriye dönük enerji yatırımları bu bağlamda yapılmalıdır.

Fosil yakıtların rezervlerinin gün geçtikçe tükenmesi, dışa bağımlılık ve bunun sonucunda ithalat giderleri, çevreye olan zararları gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim artış göstermektedir.

Tez kapsamında tüketim miktarları göz önüne alınarak farklı 3 yöntemle gelecek yıllara ait tahminler yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Ysa yönteminin diğer iki yöntemle üstün geldiği hata oranları ile belirlenmiştir. Tahmin doğruluğu, doğru modeli seçmek ve verilerdeki hata miktarıyla ilgilidir. YSA zaman serisi modelleri verilerin tutarlı olması ve veri setinin fazla olması durumunda daha doğru tahminlerde bulunabilmektedir. Ancak eğer verilerde olağan dışı bir değişim gözlenmişse bu diğer dış etkenlere bağlı olabileceği için bu değişkenlik YSA zaman serisi modellerinin tahmin doğruluğunu azaltmaktadır.

Grafiklerden de gözleneceği üzere ARIMA yöntemi verilere uygun doğruyu bulmada YSA kadar başarı gösterememiştir.

Enerji kaynaklarının MAPE değerleri YSA, ARIMA ve Gri Tahmin yöntemlerine göre karşılaştırılmış ve sonuçlar Ek Tablo 2'de verilmiştir, YSA'nın hata yüzdelerinin herbir enerji kaynağı için daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Enerji kaynaklarının önümüzdeki yıllarda aynı şartlar altında değişimine bakıldığında; güneş enerjisinin giderek artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle güneş panelleri sayısı arttırılmalı, deniz üzerine veya açık kırsal arazilere güneşin geliş açısına göre yönelimli paneller konularak güneşten daha fazla yararlanılıp daha fazla enerji elde etme imkanı sağlanmalıdır. Hidroelektrik enerjisindeki değişim dalgalanma göstermektedir.

Biyokütle enerjisi talebi giderek azalmaktadır. Türkiye için öncelikli olarak yapılması gereken mevcut atıklarımızı değerlendirilmek amacıyla projeler oluşturmak, üniversitelerin ilgili fakültelerinde ilgili anabilim dallarını, araştırma topluluklarını

arttırmak ve toplumu bilinçlendirmektir. Bu projeler kapsamında kullanılacak biyokütle enerjisinin coğrafi bölgelere göre kaynakları ve yıllık miktarları belirlenmelidir. Atıklardan enerji elde etmek için miktarların fazla olduğu bölgelerde tesisler kurulmalıdır. Ayrıca organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere dönüşmesi işlemi olan piroliz yönteminden daha yaygın olarak faydalanılabilir. Bu yöntem sayesinde atıklar oksijensiz ortamda 500–1000 °C'de yakılır, ürün olarak biyoçar elde edilir ve bu ürün gübre olarak satılabilir. Örneğin fıncığın talaşı yakılarak bir gaz çıkışı sağlanabilir ve kalan katı atıklardan tekrar faydalanılabilir. Pirolizi yakma işleminden ayıran en önemli özellik oksijensiz ortamda gerçekleşmesi ve endotermik bir olay olmasıdır.

Jeotermal enerjiden ise absorpsiyonlu veya adsorpsiyonlu soğutma teknikleri kullanılarak faydalanmak mümkündür. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde düşük sıcaklık ve basınçta suyun kaynaması sağlanmaktadır. Absorpsiyonlu sistemler soğutma etkisi yaratmak için ısı enerjisi kullanır. Bunun için kaynayan suyun enerjisinden faydalanılır. Tek etkili ve çift etkilileri mevcuttur. Tek etkilileri sadece soğutma sağlarken çift etkilileri hem ısıtma hem soğutma gerçekleştirebilir. Bu sayede seraları ısıtmak veya soğutmak için kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., 2003. Modern Biyokütle-Biyomotorin Üretimine Geçişte Yasal Sorunlar ve Öneriler, Türkiye 9. Enerji Kongresi, Enerji Sektöründe Serbestleme, Yeni Politika, Stratejiler ve Sosyo-Ekonomik Etkileri, Dünya Enerji Konseyi-Türk Milli Komitesi, Eylül, İstanbul.
- Akay, D. ve Atak, M., 2007. Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey, Energy, 32, 9, 1670-1675.
- Akdağ, Y., 2010. Vadeli İşlem ve Opsiyon Borsası'nda TL Dolar Vadeli İşlem Sözleşmelerinin Gün Sonu Uzlaşma Fiyatının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, İstanbul.
- Alan, E., 2013. Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Curuflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altaş, İ. H., 1998. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye'deki Potansiyeli, Bileşim Yayıncılık A. Ş., İstanbul, 45, 58-63.
- Altınay, G., 2010. Aylık Elektrik Talebinin Mevsimsel Model ile Orta Dönem Öngörüsü, Enerji, Piyasa ve Düzenleme, 1, 1, 1-23.
- Altınışik, A., 2012. Toprak İşlemede Traktör Çeki Performansının Yapay Sinir Ağları ile Analizi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Altun, H., Yalçınöz, T., ve Tezekici, B.S., 1999. MLP Tipi Yapay Sinir Ağlarında Eğitim Setinin Geri Yayılım Algoritması ve Öğrenme Sürecine Etkisi, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, Eylül, Gaziantep, Bildiriler Kitabı: 667-671.
- Anderson, D. ve McNeill, G., 1992. Artificial Neural Networks Technology, Kaman Sciences Corporation, 258, 6, 1-83.
- Arslan, S., Darıcı, M. ve Karahan, Ç., 2012. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 21-28.
- Aslan, Y., Yaşar, C. ve Nalbant, A., 2006. Electrical Peak Load Forecasting İn Kütahya With Artificial Neural Networks, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü Dergisi, 11, 63-74.
- Aşker, M., 2015. Yenilenebilir Enerji Mevzuatı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.



- Ataman, A. R., 2007. Türkiyede Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Atasoy, S., 2010. Yapay Sinir Ağları ve Sinirsel Bulanık Ağlar ile İnsan Kaynaklarında Performans Yönetimi Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Atik, K., 2004. Direkt Genleşmeli Evaporatörün Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, Teknoloji, 7, 4, 649-658.
- Ayan, T. Y. ve Pabuçcu, H., 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Dergisi, 18, 3, 89-110.
- Azadeh, A., Babazadeh, R ve Asadzadeh, S. M., 2013. Optimum Estimation and Forecasting of Renewable Energy Consumption By Artificial Neural Networks, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27, 605-612.
- Bacanlı, Ü. G., 2006. Türkiye'de Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Enerjinin Önemi, Türkiye 10. Enerji Kongresi ve 5. Enerji Fuarı, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Kasım, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 27-30.
- Bahadır, M., 2010. Rüzgar Enerjisi Santralleri Üretim Tahmininin Bilinmesinin Önemi, TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi), İstanbul.
- Baran, B., Mamis, M. S. ve Alagöz, B. B., 2016. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Atık Potansiyelinden Enerji Kullanımı, Renewable Energy, 90, 493-500.
- Barak, S. ve Sadegh, S. S., 2016. Forecasting Energy Consumption Using Ensemble ARIMA-ANFIS Hybrid Algorithm, Electrical Power and Energy Systems, 82, 92-104.
- Baş, N., 2006. Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Başol, K., 1994. Doğal Kaynaklar Ekonomisi, Doğal Kaynaklar, Enerji ve Çevre Sorunları, Anadolu Matbaası, İzmir, 114 s.
- Bayındır, M. S., 2010. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Avrupa Birliği ve Türkiye Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bayır, F., 2006. Yapay Sinir Ağları ve Tahmin Modellemesi Üzerine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Bayram, A. ve Bayar, S. B., 2010. Türkiye için Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İTÜ Temiz Enerji Vakfı, Kasım, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 2.

- Benli, Y., 2002. Finansal Başarısızlığın Tahmininde Yapay Sinir Ağı Kullanımı ve İMKB’de Bir Uygulama, Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi, 4, 4, 17-30.
- Berberoğlu, C., 1982. Türkiyenin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu, Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Dergisi, 9, 245-165.
- Boltürk, E., 2013. Elektrik Talebi Tahmininde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bockris, O. J., Veziroğlu, T. N. ve Smith, D., 1998. Güneş Enerjisi, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, İletişim Yayınları, 6.
- Cebeci, M., 2005. Bölgemizin Enerji Kaynakları ve Enerji Projeksiyonu, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Enerji Forumu, 74, 2-3.
- Ceylan, E., Enerji Kaynakları.  
<http://makale.eceylan.com/enerji-kaynaklari/> 20 Nisan 2015.
- Civalek, Ö. ve Calayır, Y., 2007. İnce Dikdörtgen Plakların Titreşim Frekanslarının Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Tahmini, İMO Teknik Dergi, 4161-4176.
- Çağlar, M., 2006. Türkiye’de Biyodizel Konusunda Yasal Altyapı, Yatırım ve Dünya Perspektifi, PAL (Petrol Araştırma Merkezi) Danışma Kurulu Toplantısı, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara.
- Çınar, D., 2007. Hidroelektrik Enerji Üretiminin Hibrid Bir Model İle Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çimen, B., 2007. Fosil Çıkmazından Güneş Enerjisi ile Kurtulmak, Enerji Dünyası, 51-52.
- Çoban, O. ve Özcan, C. C., 2011. Sektörel Açından Enerjinin Artan Önemi: Konya İli İçin Bir Doğalgaz Talep Tahmini Denemesi, Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 22, 85-106.
- Çukurçayır, M. A. ve Sağır, H., 2008. Enerji Sorunu, Çevre ve Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20, 257-278.
- Demirkol, Z., 2013. Afyonkarahisar ili Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Demuth, H., Beale, M., ve Hagan, M., 2008. Neural Network. Toolbox 6 User's Guide, Natick, MA: The Math Works, 37-55.
- Doğaka., 2014. Enerji Sektör Raporu, Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, Hatay.
- Doğancı, Ö., Ertürk, M., Özsunar, A. ve Arcaklıoğlu, E., 2016. Orta Ve Batı Karadeniz Bölgesi Rüzgâr Enerjisi Tahmin Çalışması, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5, 1, 153-163.

- Dolun, L., 2002. Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretimi ve Kullanılan Kaynaklar, Türkiye Kalkınma Bakanlığı Araştırma Müdürlüğü, 56.
- Dong, L., Wang, L. ve Gao, S., 2016. Wind Power Day-Ahead Prediction With Cluster Analysis of NWP, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 1206-1212.
- Çetin, E., 2003. Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Ediger, V. Ş., 2006. Türkiye'nin Sürdürülebilir Enerji Gelişimi, TÜBA, Günce, 39.
- Ediger, V. Ş. ve Akar, S., 2006. ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by Fuel in Turkey, Energy Policy, 35, 1701–1708.
- Ediger, V.Ş. ve Tatlıdil, H., 2002. Forecasting The Primary Energy Demand in Turkey and Analysis of Cyclic Patterns, Energy Conversion and Management, 43, 473-487.
- Eğrioğlu, E., 2005. Yapay Sinir Ağları ve Arıma Modellerinin Melez Yaklaşımı ile Zaman Serilerinde Öngörü, VIII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, Mayıs, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 26-27.
- Ekmekçi, H., 2016. Türkiye'deki Doğalgaz Kullanımının ARIMA Metodu ile İstatistiksel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Erdal, L., 2012. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırımları ve İstihdam Yaratma Potansiyeli. Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 4, 1.
- Erdil, A. ve Erbyık, H., 2015. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 207, 669-679.
- Erdoğan, E., 2006. Zaman Serilerinde ARIMA Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Erdoğan, M., 2014. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Termodinamik Analiz Yöntemi ile İncelenerek, Yenilenebilir Enerji Kullanımının Gelecek Projeksiyonlarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ermis, K., Midilli, A., Dinçer, I. ve Rosen, M. A., 2006. Artificial Neural Network Analysis of World Green Energy Use, Energy Policy, 35, 1731-1743.
- Eroğlu, V., 2003. Ülkemizin Hidroelektrik Potansiyeli ve Yakın Gelecekteki Önemi, Türkiye 9. Enerji Kongresi, Eylül, İstanbul, Bildiriler Kitabı II: 95-115.
- Ertuğrul, Ö. F. ve Kurt, M. B., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Maliyet Analizi ve Sürdürülebilir Yek Uygulamaları, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Haziran, Diyarbakır, Bildiriler Kitabı: 37-41.

- Ertürk, F., 2006. Türkiye'de Alternatif Enerji Üretim İmkanları ve Fırsatları, Türkiye'de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 26.
- Es, H. A. ve Hamzaçebi, C., 2014. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talep Tahmini, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29, 3, 495-504.
- Gençoğlu, M. T., 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 57-64.
- Gedik, Ö. T., 2015. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gezer, E. H., 2013. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Gök, E., 2013. Renewable Energy Planning In Turkey With A Focus on Hydropower, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Göktepe, A.B., Açar, E. ve Lav, A. H., 2005. Esnek Üst yapılarda Mekanik Özelliklerin Yapay Sinir Ağların Kullanılarak Geri Hesaplanması, İTÜ dergisi, 4, 2, 31-42,
- Gülây, A. N., 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Geleceği ve Avrupa Birliği ile Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Gürsoy, U., 2004. Enerjide Toplumsal Maliyet ve Temiz ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Türk Tabipleri Birliği Yayınları, Ankara, 193 s.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., 2004. Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini, Ankara, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19, 227-233.
- Hamzaçebi, C., 2005. Geleceği Tahminde Yapay Sinir Ağları İçin Sezgisel Öğrenme Algoritması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hamzaçebi, C., 2007. Forecasting of Turkey's Net Electricity Energy Consumption on Sectoral Bases, Energy Policy, 35, 2009-2016.
- Hamzaçebi, C., 2011. Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı, Ekin Yayınevi, Trabzon.
- Hamzaçebi, C. ve Es, H. A., 2014. Forecasting The Annual Electricity Consumption Of Turkey Using An Optimized Grey Model, Energy, 70, 165-171.
- Hatunoğlu, H. ve Karakaya, E., 2011. Forecasting Turkey's Energy Demand Using Artificial Neural Networks: Three Scenario Applications, Ege Akademik Bakış, 11, 87-94.

- Haykin, S., 1994. Neural Networks, A Comprehensive Foundation, MacMillan College Publishing Comp. Inc., New York.
- Hsu, C. C. ve Chen, C. Y., 2003. Applications of Improved Grey Prediction Model For Power Demand Forecasting, Energy Conversion and Management, 44, 2241-2249.
- Kapluhan, E., 2014. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, Marmara Coğrafya Dergisi, 30, 97-125.
- Karataş, S., 2009. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Rüzgar ve Güneş Enerjilerinin Yeri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kasapoğlu, İ., 1996. Enerji Tüketiminde İthalatın Yeri ve Etkileri, Türkiye Enerji Sempozyumu, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 1-8.
- Kayakutlu, Ö., 2011. 2050 Yılında %100 Yenilenebilir Enerji, WWF-Türkiye, Ofset Yapımevi, 1-20.
- Kaynar, O. ve Taştan, S., 2009. Zaman Serisi Analizinde MLP Yapay Sinir Ağları ve Arıma Modelinin Karşılaştırılması, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 33, 161-172.
- Kendirli, B. ve Çakmak, B., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 95-103.
- Kialashaki, A., 2014. Evaluation and Forecast of Energy Consumption in Different Sectors of The United States Using Artificial Neural Networks, Doktora Tezi, Wisconsin Milwaukee Üniversitesi, Wisconsin.
- Koca, Z., 2006. Üç Fazlı Asenkron Motorların Yapay Sinir Ağları ile Vektör Esaslı Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Korkmaz, Ö. ve Develi, A., 2012. Türkiye'de Birincil Enerji Kullanımı, Üretimi ve Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) Arasındaki İlişki, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1-25.
- Köklükaya, E., 2016. Şehir İçin Günlük Aktif ve Reaktif Enerji Tüketimi Tahmini, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 2, 111-114.
- Kösem, L. ve Yılmaz, Ö., 2011. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Kullanımı Ve Dışa Bağımlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, İzmir.

- Kulözü, N., 2004. Yenilenebilir Enerji Politikaları: Fransa Örneği, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Ekim, Mersin, Bildiriler Kitabı: 1-6.
- Kum, H., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 33, 207-223.
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D. ve Avcı, E. D., 2005. Türkiye'de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, TMMOB, Tübitak, Mersin, 19-21.
- Küleççi, Ö. C., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 83-91.
- Lee, C. Y. ve Huh, S. Y., 2016. Forecasting New and Renewable Energy Supply Through A Bottom-up Approach: The Case of South Korea, Renewable and Sustainable Energy, 207-217.
- Lee, Y.S. ve Tong, L.I., 2011. Forecasting Energy Consumption Using A Grey Model Improved By Incorporating Genetic Programming, Energy Conversion and Management, 52, 1, 147-152.
- Leva, S., Dolara, A. ve Griccimai, F., 2015. Analysis and Validation of 24 Hours Ahead Neural Network Forecasting of Photovoltaic Output Power, Mathematics and Computers in Simulation, 131, 88-100.
- Mahmutoğlu, M. ve Öztürk, F., 2015. Türkiye Elektrik Tüketimi Öngörüsü ve Bu Kapsamda Geliştirilebilecek Politika Önerileri, EY International Congress on Economics II, Europe and Global Economic Rebalancing, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 239.
- Makas, Y. ve Karaatlı, M., 2016. Yapay Sinir Ağlarıyla Hidroelektrik Enerji Üretiminin Çok Dönemli Tahmini, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21, 3, 757-772.
- Martin, L., 2010. Prediction of Global Solar Irradiance Based on Time Series Analysis: Application to Solar Thermal Power Plants Energy Production Planning, Solar Energy, 84, 1772-1781.
- Mehrotra, K., Mohan, C., K. ve Ranka, S., 1997. Elements of Artificial Neural Networks, , MIT Press, A Bradford Book, London.
- Melikoğlu, M., 2014. Demand Forecast for Road Transportation Fuels Including Gasoline, Diesel, LPG, Bioethanol and Biodiesel for Turkey Between 2013 and 2023, Renewable Energy, 164-171.

- Melikoğlu, M., 2016. Modelling and Forecasting the Demand for Jet Fuel and Bio-Based Jet Fuel in Turkey Till 2023, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 19, 17-23.
- Murat, S. Y. ve Ceylan, H., 2006. Use of Artificial Neural Networks for Transport Energy Demand Modeling, Energy Policy, 34, 3165-3172.
- Orhunbilge, N., 1996. Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, Avcıol Basım Yayın, No. 267, İstanbul.
- Oruç, K. O. ve Eroğlu, Ş. Ç., 2017. Isparta İli İçin Doğal Gaz Talep Tahmini, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 22, 1, 31-42
- Önal, E. ve Yarbay, R. Z., 2010. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18, 77-96.
- Özertan, G., 2007. Biyoyakıtlar Türkiye için Ne İfade Ediyor, Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Raporu, Eylül, İstanbul, 23, 1-26.
- Özkara, Y., 2009. Mevsimsel Ayırıştırma Temelli Gri Tahmin Yöntemi İle Aylık Elektrik Yük Tahini, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özpınar, M. A., 2007. Yenilenebilir Enerji Santrallerinde Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Enerji Tüketiminin Modellenmesi ve Planlanması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özşahin, Ş., 2013. Optimization of Process Parameters in Oriented Strand Board Manufacturing with Artificial Neural Network Analysis, European Journal of Wood and Wood Products, 71, 6, 769-777.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık Eğitim Bilgisayar Sis. San ve Tic. A.Ş., İstanbul, 232 s.
- Özyurt, M. ve Dönmez, G., 2005. Alternatif Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Değerlendirilmesi, Yeksem, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim, Mersin, 40, 19-21.
- Pamir, A. N., 2003. Dünya'da ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları, Metalurji Dergisi, 134-174.
- Rathnayaka, R.M., Kapila, T. ve Seneviratna, D.M., 2014. GM (1,1) Analysis and Forecasting for Efficient Energy Production and Consumption, International Journal of Business, Economics and Management Works, 1, 1, 6-11.
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1:Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., Kayseri, 426 s.
- Saraç, T., 2004. Yapay Sinir Ağları, Basılmamış Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Ankara.

- Sarıkaya, U., 2010. Niğde İli Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Satman, A., 2008. Dünyada Enerji Kaynakları, Türkiye'de Kalkınma ve Enerji Sempozyumu, 26, 47-57.
- Selvi, Ç., 2015. AB 2020 Stratejisi ve 2050 Vizyonu Bağlamında Belirlenen Yenilenebilir Enerji Hedeflerine Ulaşabilirliğin Mali Açından Analiz Edilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Sen, P., Roy, M. ve Pal, P., 2016. Application of ARIMA for Forecasting Energy Consumption and GHG Emission: A Case Study of an Indian Pig Iron Manufacturing Organization, Energy, 116, 1031-1038.
- Solak, A. O., 2013. Türkiye'nin Toplam Petrol Talebi ve Ulaştırma Sektörü Petrol Talebinin Arıma Modeli ile Tahmin Edilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 18, 3, 131-142.
- Sheehri, A., 1999. Artificial Neural Network for Forecasting Residential Electrical Energy, International Journal of Energy Research, 23, 649-661.
- Soylu, A. ve Türkay, M., 2005. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Geçiş Sürecinin Planlanmasında Doğrusal En İyileme Tekniğinin Kullanılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 1-5.
- Sözen, A., Gülseven, Z. ve Arcaklıoğlu E., 2007. Prediction of Net Energy Consumption Based on Economic Indicators (GNP and GDP) in Turkey, Energy Policy, 35, 10, 4981-4992.
- Sözen, A., 2009. Future Projection of the Energy Dependency of Turkey Using Artificial Neural Network, Energy Policy, 37, 4827-4833.
- Sözen, A., Arcaklıoğlu, E., Özalp, M. ve Çağlar, N., 2005. Forecasting Based on Neural Network Approach of Solar Potential in Turkey, Renewable Energy, 30, 1075-1090.
- Subaşı, D. B., 2005. Enflasyonun ARIMA Modelleri ile Tahminlenmesi:1994-2005 Türkiye Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- Suganthi, L. ve Samuel, A., A., 2005. Energy Models for Demand Forecasting A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 1223-1240.
- Şahinküçük, N., 2010. Türkiye Kalkınma Bankası Yayını, No. 54, Ankara, 72.
- Şen, A., 2010. Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: İspanya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Şenel, M. C. ve Koç, E., 2016. Dünya'da ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Durumu Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 56, 663, 46-56.



- Tamzok, D. N., Enerjide Yerli Kaynak Sorunu  
<http://www.enerjigunlugu.net/icerik/11123/> 18 Mart 2016.
- Taşçı, L., 2017. Çok Değişkenli Gri Sistem Teorisi ile Deformasyon Tahmini, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29, 1, 277-283.
- Topal, M. ve Arslan, E. I., 2008. Biyokütle Enerjisi ve Türkiye, VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES, Aralık, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 241-248.
- Topcu, C. ve Yünel, D. T., 2012. Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu, Mart, Çukurova Kalkınma Ajansı, Çukurova, 1-25.
- Türkyılmaz, O., 2015. Ocak 2015 İtibariyle Türkiyenin Enerji Görünümü Raporu, Şubat, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 1-20.
- Urgun, N., 2015. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bakımından Türkiye'nin Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Harekete Geçirilmesine Yönelik Stratejiler, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kütahya.
- URL-1, <http://IEA Electricity/Heat in Brazil in 2008, Statics, Electricity, Heat Data for Brazil> 4 Nisan 2016.
- URL-2, [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes\\_tekno.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/gunes_tekno.aspx), 2 Nisan 2016.
- URL-3, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 22 Nisan 2016.
- URL-4, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 22 Nisan 2016.
- URL-5, <http://www.ilbank.gov.tr/>, Rüzgar Enerjisi, 22 Nisan 2016.
- URL-6, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 22 Nisan 2016.
- URL-7, <http://www.ilbank.gov.tr/>, Jeotermal Enerji, 22 Nisan 2016.
- URL-8, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyoyakit>, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 22 Nisan 2016
- URL-9, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle.aspx>, 9 Nisan 2016.
- URL-10, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/hidrolik.aspx>, 9 Nisan 2016.
- URL-11, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 22 Nisan 2016.

- URL-12, <http://enerjimaden.com/son-haberler/hidroelektrik-enerji-ve-turkiyede-hidroelektrik-enerji-potansiyeli.html>, 25 Nisan 2017.
- URL-13, [http://www.nrel.gov/analysis/tech\\_lcoe\\_re\\_cost\\_est.html](http://www.nrel.gov/analysis/tech_lcoe_re_cost_est.html), National Renewable Energy Laboratory, ABD, 13 Nisan 2016.
- URL-14, [https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de\\_yenilenebilir\\_enerji](https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_yenilenebilir_enerji), 25 Nisan 2017.
- URL-15, [https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de\\_hidroelektrik\\_enerjisi](https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_hidroelektrik_enerjisi), 25 Nisan 2017.
- URL-16, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Haberleri>, Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 20 Nisan 2016.
- URL-17, [www.dektmk.org.tr](http://www.dektmk.org.tr), 20 Nisan 2015.
- Ünler, A., 2008. Improvement of Energy Demand Forecasts Using Swarm Intelligence: the Case of Turkey With Projections to 2025, Energy Policy, 36, 1937-1944.
- Ünsal, İ., 2004. Enerji Gündemi ve Sorunlarımız, TMMOB, EMO Yayını, Ankara, 2, 36.
- Varınca, K. B. ve Varank, G., 2006. Güneş Kaynaklı Farklı Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Haziran, İstanbul, Bildiriler Kitabı 4: 1-10.
- Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T., 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ, Haziran, Eskişehir, Bildiriler Kitabı: 270-275.
- Yamak, T., 2006. Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları Potansiyel ve Ekonomik Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yazıcı, A. C., Ögüş, E., Ankaralı, S., Canan, S., Ankaralı, H., ve Akkuş, Z., 2007. Yapay Sinir Ağlarına Genele Bakış, Türkiye Klinikleri, J Med Sci, 27, 65-71.
- Yıldız, S. A., 2015. Doğalgaz Tüketim Tahmini, Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 5, 1, 440-452.
- Yılmaz, M., 2012. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4, 2, 33-54.
- Yılmaz, H., 2013. Türkiye'deki Seragazi Emisyon Envanterinin Geliştirilen Gri Tahmin Yöntemi İle İncelenmesi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Yılmaz, H. ve Yılmaz, M., 2013. Forecasting CO<sub>2</sub> Emissions For Turkey By Using The Grey Prediction Method, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31, 141-148.

Yorkan, A., 2009. Avrupa Birliği'nin Enerji Politikaları ve Türkiye'ye Etkileri, Bilge Strateji, 1, 1, 24-39.

Yüksel, D., 2015. Arap Baharı'ndan Etkilenen Yakın ve Orta Doğu Ülkeleri ile Türkiye Arasındaki İthalat ve İhracat Miktarlarının ARIMA Modelleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Zeray, C., 2010. Renewable Energy Sources, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

## 7. EKLER

Ek Tablo 1. Geçmiş yıllara ait yenilenebilir enerji kullanımının gerçek ve tahmin değerleri

Türkiye																				
	YE	YE YSA	YE ARIMA	YE Gri	HE	HE YSA	HE ARIMA	HE Gri	GE	GE YSA	GE ARIMA	GE Gri	BE	BE YSA	BE ARIMA	BE Gri	JE	JE YSA	JE ARIMA	JE Gri
1990	9.658		10.691		1.990		3.162		28				7.206		7.063		433,20		476,91	
1991	9.637		9.974		1.950		2.328		41		32		7.210		6.953		434,90		452,06	
1992	10.000		9.959		2.284		2.206		60		55		7.207		6.954		448,60		478,21	
1993	10.621	10.742	10.211		2.919	2.953	2.473		88	105	81	75	7.146	7.133	6.926		467,10	482,56	504,56	459
1994	10.380	10.426	10.642	10.809	2.629	2.348	3.054	3.022	129	124	119	111	7.138	7.120	6.890		483,00	495,55	508,61	481
1995	10.776	10.632	10.475	10.618	3.056	3.070	3.139	2.868	143	155	175	162	7.066	7.095	6.855		510,70	512,58	551,08	495
1996	11.226	11.157	10.750	10.712	3.480	3.486	2.819	2.986	159	165	161	154	7.044	7.053	6.807	7.043	542,90	542,28	593,04	532
1997	11.227	11.235	11.062	11.417	3.423	2.986	3.289	3.644	179	194	180	172	7.023	7.020	6.786	6.994	602,30	571,68	666,01	567
1998	11.478	11.285	11.063	11.412	3.631	3.230	3.784	3.589	210	214	204	195	6.981	6.977	6.757	6.977	655,50	628,60	720,32	647
1999	10.701	10.948	11.238	11.501	2.981	3.293	3.528	3.628	236	243	246	236	6.793	6.793	6.652	6.940	687,90	677,80	723,96	696
2000	10.102	10.009	10.698	10.745	2.655	2.824	2.947	3.027	261	265	269	257	6.498	6.497	6.423	6.795	683,60	727,58	699,65	712
2001	9.377	9.610	10.282	9.685	2.064	2.348	2.457	2.293	286	295	296	283	6.256	6.250	6.162	6.471	764,50	748,83	872,38	680
2002	10.042	9.636	9.779	9.031	2.896	2.953	2.314	1.847	317	320	322	307	6.004	6.021	5.924	6.112	819,80	832,19	909,22	826
2003	10.020	9.967	10.241	9.807	3.037	2.942	2.708	2.780	349	349	359	343	5.767	5.768	5.688	5.771	860,00	857,32	872,3	862
2004	10.782	10.738	10.226	10.286	3.962	3.967	3.538	3.301	374	373	394	376	5.549	5.536	5.468	5.513	890,80	924,90	964,19	890

Ek Tablo 1'in devamı

2005	10.130	10.067	10.755	10.838	3.401	3.447	3.874	4.048	384	391	414	395	5.332	5.334	5.257	5.311	1.007	973	1.164	914
2006	10.359	10.576	10.302	10.403	3.804	3.653	3.629	3.752	402	401	413	392	5.162	5.162	5.069	5.102	978	978	965	1.096
2007	9.603	9.758	10.460	10.100	3.082	3.334	3.160	3.611	419	415	438	416	5.023	4.998	4.919	4.935	1.047	1.047	1.105	956
2008	9.311	9.305	9.936	9.640	2.860	3.063	3.253	3.216	420	423	456	434	4.807	4.827	4.750	4.808	1.150	1.150	1.378	1.101
2009	9.916	9.990	9.733	8.940	3.091	3.070	2.930	2.476	428	424	444	420	4.642	4.667	4.565	4.642	1.624	1.624	2.092	1.229
2010	11.627	11.595	10.153	9.852	4.453	4.451	2.814	3.023	432	432	459	436	4.524	4.504	4.426	4.479	1.966	1.966	2.286	1.960
2011	11.222	11.584	11.341	11.920	4.500	3.852	4.023	4.504	630	432	458	434	3.626	4.340	3.949	4.338	2.059	2.193	2.009	2.224
2012	12.151	11.569	11.060	11.863	4.975	4.024	5.209	4.939	768	555	855	792	3.667	3.941	3.516	3.675	2.236	2.461	2.513	2.132
2013	14.047	12.499	11.704	12.073	5.109	4.027	4.571	5.036	795	615	925	884	4.857	3.601	4.016	3.340	2.636	2.760	3.226	2.372
2014	12.080	11.570	13.021	14.456	3.494	4.032	4.088	5.306	803	746	859	817	3.525	3.633	4.053	4.108	3.523	3.068	4.291	2.940

Ek Tablo 2. Seçilen modellerin MAPE değerleri

MAPE	Yenilenebilir Enerji			Hidroelektrik Enerjisi			Güneş Enerjisi			Biyokütle Enerjisi			Jeotermal Enerji		
	YSA	ARIMA	Gri	YSA	ARIMA	Gri	YSA	ARIMA	Gri	YSA	ARIMA	Gri	YSA	ARIMA	Gri
	2,031	5,400	12,186	7,434	17,530	6,778	7,714	8,78	2,716	4,912	7,449	3,125	6,101	12,415	

Ek Tablo 3. Gelecek yıllara ait YSA, Arıma ve Gri Tahmin değerleri

Türkiye															
	YE YSA Tahmin	YE ARIMA Tahmin	YE Gri Tahmin	HE YSA Tahmin	HE ARIMA Tahmin	HE Gri Tahmin	GE YSA Tahmin	GE ARIMA Tahmin	GE Gri Tahmin	BE YSA Tahmin	BE ARIMA Tahmin	BE Gri Tahmin	JE YSA Tahmin	JE ARIMA Tahmin	JE Gri Tahmin
2015	11.569,98	11.655,87	10.707,54	3.944,32	3.775,11	2.394,12	891,13	947,37	811,65	3.667,13	3.618,68	2.558,59	3.713,78	5.021,23	4.369,17
2016	9.564,81	11.361,09	12.033,15	3.262,97	3.045,77	2.474,41	1.060,23	1.082,13	842,36	3.693,04	3.710,35	3.391,54	3.894,29	5.594,62	4.753,47
2017	9.591,86	11.156,45	12.633,42	3.393,95	3.095,91	2.779,36	1.208,28	1.262,28	1.043,80	3.346,20	3.525,69	3.429,11	4.417,89	6.233,48	4.902,98
2018	9.558,34	11.014,39	12.378,75	2.800,07	3.124,52	2.810,80	1.280,84	1.493,85	1.538,31	3.334,22	3.492,76	2.748,70	4.812,84	6.945,29	4.972,52
2019	12.044,18	10.915,77	13.343,96	4.459,04	3.140,84	3.774,62	1.315,26	1.785,32	1.549,15	3.224,93	3.381,98	2.678,21	5.059,13	7.738,39	5.130,42
2020	11.384,54	10.847,31	13.589,23	3.608,79	3.150,15	3.917,84	1.333,35	2.147,79	1.579,49	3.068,05	3.315,98	2.585,30	5.380,57	8.622,06	4.871,56
2021	11.571,48	10.799,79	13.478,9	3.959,79	3.155,46	3.780,64	1.340,09	2.595,27	1.579,84	2.993,77	3.229,02	2.473,80	5.700,75	9.606,63	4.692,36
2022	11.782,08	10.766,79	13.126,43	3.563,82	3.158,49	3.270,15	1.342,52	3.145,23	1.642,64	2.885,01	3.156,19	2.406,66	5.937,67	10.703,64	4.538,39
2023	11.358,97	10.743,89	13.242,16	3.669,08	3.160,22	3.561,54	1.343,73	3.819,2	1.709,07	2.779,01	3.078,66	2.330,47	6.152,96	11.925,91	4.605,04
2024	11.060,72	10.727,99	12.894,29	3.344,15	3.161,21	3.155,54	1.344,21	4.643,64	1.747,87	2.692,97	3.006,42	2.239,91	6.361,24	13.287,76	4.299,98
2025	11.316,09	10.716,95	13.295,14	3.184,10	3.161,77	3.809,63	1.344,37	5.650,93	1.850,33	2.599,44	2.934,06	2.156,69	6.531,46	14.805,12	4.204,16
2026	12.271,36	10.709,29	13.284,77	2.765,47	3.162,09	3.897,08	1.344,45	6.880,65	1.989,84	2.512,14	2.864,41	2.074,11	6.671,44	16.495,75	4.069,11
2027	11.520,36	10.703,97		4.438,77	3.162,27		1.344,48	8.381,16		2.431,19	2.795,9		6.795,78	18.379,44	
2028	11.548,46	10.700,28		3.609,65	3.162,38		1.344,49	10.211,4		2.351,01	2.729,3		6.900,30	20.478,23	

## ÖZGEÇMİŞ

Neslihan KAYA 1989 yılında Giresun'da doğdu. İlköğretimini tamamladıktan sonra liseyi Giresun Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesinde okudu. 2009 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2013'te mezun olduktan sonra aynı yıl İş Sağlığı ve Güvenliği eğitimi alarak C sınıfı İSG uzmanı oldu. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. İngilizce bilmektedir.