

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

**2030 YILINDA TÜRKİYE’DE YEŞİL ENERJİ KULLANIM
ORANLARININ TAHMİN EDİLMESİ**

BURCU GÖKAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. DOĞAN ÖZGEN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

2030 YILINDA TÜRKİYE’DE YEŞİL ENERJİ KULLANIM
ORANLARININ TAHMİN EDİLMESİ

Burcu GÖKAY tarafından hazırlanan tez çalışması 23.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Doğan ÖZGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Doğan ÖZGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ceyda ŞEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Özlem ŞENVAR
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Nüfus artışı, ekonomik büyüme ve teknolojinin gelişmesi enerji ihtiyacını da giderek artırmaktadır. Enerji talebi birçok faktörden etkilendiğinden talebin doğru tahmin edilmesi önemli olmakla birlikte oldukça zor bir iştir. Bu nedenle enerji talep tahmini modellemesi araştırmacılar tarafından yaygın olarak üzerinde durulan bir çalışma konusu haline gelmiştir.

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de hızla artmaya devam eden enerji ihtiyacını karşılamada fosil yakıtlara büyük ölçüde bağılılık söz konusudur. Son yıllarda fosil yakıtların tükenme tehlikesi ve çevresel kaygılar nedeniyle enerji verimliliğinin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılmasına yönelik olarak çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında, Türkiye’nin birincil enerji talebi ile yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimleri tahmin edilmiştir. Sistem bileşenlerini ayrı ayrı ele almak yerine bu bileşenler arasındaki karşılıklı ilişkileri de değerlendirerek sistemi bir bütün olarak incelemeye imkan tanıyan sistem dinamiği yaklaşımıyla enerji talebinin gelecekteki durumunun anlaşılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmada farklı nüfus ve ekonomik büyüme senaryolarında sistemin değişen koşullara vereceği tepkiler araştırılmıştır.

Tez çalışmam süresince her aşamada yardımcı olan, değerli bilgi ve görüşleri ile beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Doğan ÖZGEN’e, öğrenim hayatım boyunca gelişimime katkı sağlayan tüm hocalarıma ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2019

Burcu GÖKAY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
ENERJİ TALEP TAHMİNİ ÇALIŞMALARI	4
2.1 Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	5
2.2 Dünya Geneline Yapılan Çalışmalar	21
BÖLÜM 3	
ENERJİ, ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’DE ENERJİ KULLANIMI.....	53
3.1 Enerji ve Enerji Kaynakları	53
3.1.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	55
3.1.1.1 Fosil Enerji Kaynakları	55
3.1.1.2 Nükleer Enerji	58
3.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	58
3.1.2.1 Güneş Enerjisi	59
3.1.2.2 Rüzgar Enerjisi.....	59
3.1.2.3 Jeotermal Enerji	60
3.1.2.4 Biyokütle Enerjisi	60
3.1.2.5 Hidroelektrik Enerji	61

3.1.2.6	Dalga Enerjisi.....	61
3.1.2.7	Hidrojen Enerjisi	62
3.1.3	Yenilenebilir Enerjinin Önemi	62
3.2	Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Kullanımı	63
3.2.1	Türkiye’de Yenilenebilir Enerji.....	65
BÖLÜM 4		
SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI.....		68
4.1	Sistem Tanımı ve Sistem Dinamiği	68
4.2	Sistem Dinamiğinin Gelişimi ve Uygulama Alanları	69
4.2.1	Sistem Dinamiğinin Enerji Modellemesinde Kullanılması	70
4.3	Sistem Dinamiği Modellemesinin Temel Yapısı.....	71
4.3.1	Geri Besleme Döngüleri	72
4.3.2	Stok-Akış Değişkenleri ve Gecikmeler	73
4.4	Sistem Dinamiği Modelleme Araçları	74
4.4.1	Nedensel Döngü Diyagramları	75
4.4.2	Stok ve Akış Diyagramları	76
BÖLÜM 5		
TÜRKİYE ENERJİ ARZ VE TALEBİNİN SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI KULLANILARAK MODELLENMESİ		78
5.1	Enerji Arz ve Talebinin Sistem Dinamiği Modeli	78
5.1.1	Nedensel Döngü Diyagramı	79
5.1.2	Akış Diyagramı	80
5.1.2.1	Birincil Enerji Talebi	82
5.1.2.2	Yenilenemeyen Kaynaklardan Enerji Üretimi	84
5.1.2.3	Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretimi	88
5.1.2.4	Enerji Açığı	90
5.1.3	Modelin Geçerliliği	91
5.2	Senaryo Analizi ve Simülasyon Sonuçları.....	92
5.2.1	Temel Senaryo	93
5.2.2	Senaryo Karşılaştırmaları	97
5.2.3	Sonuçların Önceki Çalışmalar ile Karşılaştırılması	99
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		102
KAYNAKLAR		104
EK-A		
SİSTEM DİNAMİĞİ MODELİ DENKLEMLERİ		118
ÖZGEÇMİŞ		122

SİMGE LİSTESİ

a	iç büyüme oranı
e_i	i. hata değeri
n	veri sayısı
P	yıllık üretim
Q	kümülatif üretim
R	elde edilebilir son rezervler
Y_i	i. gerçek değer

KISALTMA LİSTESİ

ANFIS	Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
AR	Otoregresif
ARIMA	Bütünlenen Otoregresif Hareketli Ortalama
ARMA	Otoregresif Hareketli Ortalama
ART	Uyarlanabilir Rezonans Teorisi
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
ELM	Uç Öğrenme Makinesi
ENTSO-E	Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşletmecileri Birliği
ETKB	Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FREE	Geri Beslemeli-Zengin Enerji Ekonomisi Modeli
GARCH	Genelleştirilmiş Otoregresif Koşullu Değişen Varyans
GSIM	Genel Simülasyon
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
IDEAS	Bütünleşik Dinamik Enerji Analizi Simülasyonu
LADES	En Küçük Mutlak Daralma ve Seçme Operatörü Tabanlı Uyarlanabilir Evrimsel Benzetimli Tavlama
LASSO	En Küçük Mutlak Daralma ve Seçme Operatörü
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MAED	Enerji Talebi Analiz Modeli
MAPE	Ortalama Mutlak Yüzde Hata
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
MLP	Çok Katmanlı Algılayıcı
MSE	Ortalama Karekök Hatası
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
RADES	Sırt Tabanlı Uyarlanabilir Evrimsel Benzetimli Tavlama
RBF	Radyal Tabanlı Fonksiyon
RELM	Tekrarlayan Uç Öğrenme Makinesi
RMSE	Kök Ortalama Kare Hatası
SAR-ARMA	Uzamsal Otoregresif Hareketli Ortalama
SARIMA	Mevsimsel Bütünlenen Otoregresif Hareketli Ortalama
SARIMAX	Dışsal Girdilerle Mevsimsel Bütünlenen Otoregresif Hareketli Ortalama
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TÜFE	Tüketici Fiyat Endeksi
VAR	Vektör Otoregresif
WEFuNN	Ağırlıklı Evrimleşen Bulanık Sinir Ağı
WLFLEF	Ağırlıklı En Büyük Lyapunov Üs Tahmin Yöntemi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3. 1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [168].....	55
Şekil 3. 2 Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [170].....	56
Şekil 3. 3 1980-2015 yılları Türkiye birincil enerjisinde yerli üretim, ithalat ve toplam enerji arzı [178].....	64
Şekil 3. 4 Enerji tüketimi büyüme oranları 2010-2015 [45].....	65
Şekil 3. 5 Türkiye’de yıllara göre birincil enerji tüketimi (milyon TEP) [170].....	65
Şekil 3. 6 Türkiye’de yıllara göre yenilenebilir enerji tüketimi (milyon TEP) [170]..	67
Şekil 4. 1 Davranış örnekleri [186].....	72
Şekil 4. 2 Dengeleyen döngünün zamana bağlı grafiği [181].....	73
Şekil 4. 3 Pekiştiren döngülerin zamana bağlı grafikleri [181]	73
Şekil 4. 4 Nüfus döngüsü	73
Şekil 4. 5 Faiz hesabı döngüsü	74
Şekil 4. 6 Sistem dinamiği modelleme süreci [191]	75
Şekil 4. 7 Nüfus dinamiği modelinin nedensel döngü diyagramı	76
Şekil 4. 8 Stok ve akış diyagramının temel elemanları	77
Şekil 4. 9 Nüfus dinamiği modelinin stok ve akış diyagramı	77
Şekil 5. 1 Nedensel döngü diyagramı	80
Şekil 5. 2 Akış diyagramı.....	81
Şekil 5. 3 Birincil enerji talebi akış diyagramı.....	82
Şekil 5. 4 Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi akış diyagramı.....	86
Şekil 5. 5 Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi akış diyagramı.....	89
Şekil 5. 6 Enerji açığı akış diyagramı	91
Şekil 5. 7 Temel senaryoda kömür, petrol ve doğal gaz için Hubbert üretimi	93
Şekil 5. 8 Temel senaryoda enerji yoğunluğu	94
Şekil 5. 9 Temel senaryoda nüfus	94
Şekil 5. 10 Temel senaryoda GSYİH	95
Şekil 5. 11 Temel senaryoda toplam birincil enerji talebi	95
Şekil 5. 12 Temel senaryoda yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi.....	96
Şekil 5. 13 Temel senaryoda enerji açığı	96
Şekil 5. 14 Nüfus senaryo karşılaştırma.....	97
Şekil 5. 15 GSYİH senaryo karşılaştırma	97
Şekil 5. 16 Toplam birincil enerji talebi senaryo karşılaştırma	98
Şekil 5. 17 Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi senaryo karşılaştırma	98
Şekil 5. 18 Enerji açığı senaryo karşılaştırma.....	99

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları 12
Çizelge 2. 2	Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları 34
Çizelge 3. 1	Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları [174]..... 59
Çizelge 3. 2	Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasiteleri (MW) [170] 66
Çizelge 5. 1	MAPE değerleri 92
Çizelge 5. 2	Senaryo analizi 92
Çizelge 5. 3	Birincil enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretimi sonuçları 100
Çizelge 5. 4	2025 yılı birincil enerji talebi için önceki çalışmaların sonuçları 101

2030 YILINDA TÜRKİYE’DE YEŞİL ENERJİ KULLANIM ORANLARININ TAHMİN EDİLMESİ

Burcu GÖKAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Doğan ÖZGEN

Enerji talebindeki hızlı artış ile birlikte enerji talebinin planlanması, mevcut enerji kaynaklarının etkili kullanımı ve enerji güvenliğinin sağlanması ülkeler için hayati önem taşıyan konular arasındadır. Ekonomik kalkınmanın bir ölçüsü olan enerji tüketimi için gelecekteki eğilimlerin doğru şekilde tahmin edilmesinde çeşitli tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan sistem dinamiği yaklaşımında sistemin dinamik davranışı dikkate alınmakta ve değişkenler arasındaki ilişkiler sistemin gelecekteki durumunu belirlemektedir.

Enerji sistemi ekonomi, nüfus, çevre ve teknolojiyle yakından ilişkili karmaşık bir sistemdir. Bu çalışmada, enerji talebini ve yenilenebilir enerji üretimini etkileyen temel faktörler analiz edilerek arz ve talebin sistem dinamiği yaklaşımıyla modellenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak enerji talep tahmini ile ilgili önceki çalışmaların kapsamlı bir incelemesi yapılmıştır. Daha sonra enerji, enerji kaynakları ve Türkiye’de enerji kullanımı ile sistem kavramı ve sistem dinamiği yaklaşımı açıklanmıştır. Son olarak 2030 yılına kadar Türkiye’nin enerji talebi ile yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimleri olası senaryolar altında sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak tahmin edilmiştir. Modelleme aşamasında nedensel döngü diyagramı ve akış diyagramları oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sistem dinamiği, enerji talep tahmini, enerji üretimi

ABSTRACT

FORECASTING OF TURKEY’S GREEN ENERGY CONSUMPTION BY 2030

Burcu GÖKAY

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Doğan ÖZGEN

Along with the rapid increase in energy demand, energy demand planning, effective utilization of existing energy resources and ensuring energy security are vital for countries. Various methods are used in forecasting future trends for energy consumption, a measure of economic development. One of these methods, the system dynamics approach, takes into account the dynamic behavior of the system and the relationship between the variables determine the future state of the system.

Energy system, which is highly complicated system, is closely related to economy, population, environment and technology. In this study, it was aimed to analyze the main factors influencing the energy demand and renewable energy production, and model the energy supply and demand using system dynamics approach. First, a comprehensive review of previous energy demand forecasting studies are given. Then focused on energy, energy sources and energy situation in Turkey, and the system concept and system dynamics approach are explained. Finally, Turkey's energy demand, energy production from renewable and non-renewable resources until 2030 were forecasted under possible scenarios using system dynamics approach. In the modeling phase, causal loop diagram and flow diagrams were established.

Keywords: System dynamics, energy demand forecasting, energy production

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsan ve insanlığın devamı için enerji son derece önemli bir unsurdur. Enerji; konutlarda, sanayide, tarımda, ulaşımda ve iletişimde kısacası hayatın her alanında kullanılmaktadır. Tarihte yaşanan birçok gelişmenin, savaşın ve krizin temelinde de enerji yer almaktadır. Kömürün yeni buhar makinelerini çalıştırmada kullanılmasıyla birlikte kömüre dayalı enerji üretimi Avrupa’da Sanayi Devrimi’ni başlatmıştır. Sanayileşmeyle birlikte dünya devletlerinin ekonomik anlamda birbirlerine karşı üstünlük sağlama yarışında enerji kaynaklarına sahip olma önemli hale gelmiştir. 1970’lerde petrol fiyatlarının artmasıyla yaşanan enerji krizi bunun bir göstergesidir.

Günümüzde nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle enerji ihtiyaçları da giderek artmaktadır. Enerji ihtiyaçlarının artması sınırlı olan fosil enerji kaynaklarının azalmasına neden olmaktadır. Mevcut kaynakların giderek artan enerji talebini karşılamada yetersiz kalacağı açık bir gerçektir. Bunun yanında fosil enerji kaynaklarının kullanımı tüm dünyayı yakından ilgilendiren küresel ısınma ve buna bağlı iklim değişiklikleri gibi büyük çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Çevre kirliliği ve ekolojik dengenin bozulması insan ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Tüm bu problemler ülkeleri alternatif enerji kaynakları olarak da adlandırılan yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yöneltmektedir.

Enerji kaynaklarının etkili kullanımı ve enerji çeşitliliğinin sağlanmasının yanında enerji talebinin planlanması ülkeler için enerji politikalarının belirlenmesi açısından oldukça önemli bir konudur. Ancak enerji sisteminin nüfus, ekonomi, çevre ve teknoloji gibi birçok faktörden etkilenen dinamik karmaşık bir sistem olması talep tahminlerinin doğru bir şekilde yapılmasını zorlaştırmaktadır. Enerji talebinin yanlış tahmin edilmesi sonucunda da ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Enerji talebinde geleceğe

yönelik doğru tahminlerin yapılması için geçmişten günümüze çeşitli yöntemler geliştirilmektedir. Sistem dinamiği yaklaşımı karmaşık sistemlerde nedensel ilişkilerin ortaya çıkardığı geri besleme yapılarını anlamada güçlü bir modelleme tekniğidir. Bu yönüyle öne çıkan sistem dinamiği yaklaşımı 1970'li yıllardan bu yana enerji modellemesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sistem dinamiği yaklaşımı karmaşık sistemleri bütünsel bir bakış açısıyla ele alarak sistem bileşenlerinin birbiriyle etkileşimini de değerlendirmektedir. Sistem bileşenleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve analiz edilmesinde nedensel döngü diyagramları ile stok ve akış diyagramlarından yararlanılmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde enerji talep tahmini ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar kapsamlı olarak incelenmektedir. Üçüncü bölümde enerji ve enerji kaynakları açıklanmakta, Türkiye’de enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji potansiyeli üzerinde durulmaktadır. Dördüncü bölümde sistem kavramı ve sistem dinamiği yaklaşımı açıklanarak enerji alanında sistem dinamiği uygulamalarının bir incelemesi sunulmaktadır. Beşinci bölümde yer alan uygulama çalışmasında Türkiye’nin birincil enerji talebi ile enerji arzı sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak modellenmektedir. Modelleme aşamasında nedensel döngü diyagramı ve akış diyagramları oluşturulmaktadır. Bu uygulama çalışmasıyla Türkiye’nin 2030 yılına kadar toplam birincil enerji talebi, yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi tahmin edilmektedir. Son olarak farklı senaryolar altında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Fosil yakıtların gitgide azalması, çevresel kaygılar ve yenilenebilir enerji alanındaki gelişmelerle birlikte enerji talep tahmini çalışmaları da önem kazanmaktadır. Gelecekteki enerji talebi ve üretiminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmektedir. Enerji talep tahmini çalışmaları ve bu çalışmalarda uygulanan yöntemlerin kapsamı oldukça geniştir. Literatürde yaygın olarak toplam ve kaynak bazında birincil enerji talebi, elektrik enerjisi talebi, sektörel enerji talebi ve yenilenebilir enerji potansiyeli üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda esnek hesaplama yöntemlerinin yanında ekonometri ve zaman serileri gibi geleneksel yöntemler de kullanılmaktadır. Enerji talep tahmini ile ilgili yapılan çalışmalar Bölüm 2’de ayrıntılı olarak incelenecektir. Bu bölümde

Türkiye’de 2000’li yıllardan itibaren, dünya genelinde ise 1980 yılından günümüze kadar yapılan çalışmalar gözden geçirilerek kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

1.2 Tezin Amacı

Tez çalışmasında birincil enerji talebi ile yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak modellenecektir. Modelleme aşamasında enerji sistemini analiz etmek ve sistem bileşenleri arasındaki ilişkileri açıklamak için nedensel döngü diyagramı ve akış diyagramları oluşturulacaktır. Geliştirilen model 2030 yılına kadar Türkiye’nin birincil enerji talebi ile enerji üretimini olası senaryolar altında tahmin etmek için uygulanacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı;

- Enerji sistemi ile nüfus, ekonomi ve teknoloji arasındaki ilişkileri analiz etmek,
- 2030 yılına kadar Türkiye’de birincil enerji talebi, yenilenebilir enerji üretimi ile kömür, petrol ve doğal gaz üretimini tahmin etmek,
- Türkiye’de kömür, petrol ve doğal gaz üretimi için tepe noktalarını ve üretim miktarlarını hesaplamak,
- Türkiye’de nüfus, GSYİH, enerji yoğunluğu ve enerji açığının gelecek eğilimlerini göstermek,
- Farklı nüfus ve ekonomik büyüme senaryolarında sistemin göstereceği davranışları incelemektir.

1.3 Hipotez

Sistem dinamiği yaklaşımı diğer matematiksel ve istatistiksel modellerin aksine sistemlerin dinamik davranışlarını ve sistem yapısında ortaya çıkan geri besleme döngülerini de göz önünde bulundurmaktadır. Bu yönüyle güçlü bir modelleme yaklaşımı olan sistem dinamiği bu çalışmada Türkiye’nin enerji arz ve talebinin modellenmesi amacıyla kullanılacaktır. Bununla birlikte Türkiye’nin 2030 yılına kadar birincil enerji talebi ile yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji üretimi tahmin edilecektir.

ENERJİ TALEP TAHMİNİ ÇALIŞMALARI

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişiminde önemli bir rol oynamakta olup; stratejik enerji planlaması, enerji politikalarının saptanması ve oluşturulması için enerji modelleri geliştirilmiştir. Enerji modellemesiyle ilgili kapsamlı çalışmaların yapılmasında özellikle 70'li yıllarda yaşanan petrol krizleri etkili olmuştur. Enerji modelleri içerisinde literatürde çok sayıda çalışmanın odak noktası olan enerji talebinin modellenmesi de herhangi bir ülkenin sürdürülebilir ilerlemesi için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir [1].

Enerji talep tahmini çalışmaları tahmin periyoduna göre genel olarak uzun vadeli, orta vadeli ve kısa vadeli olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Uzun vadeli tahmin (5-20 yıl) çoğunlukla geliştirme yatırımlarının planlanması ve kaynak yönetiminde, orta vadeli tahmin (bir aydan 5 yıla kadar) enerji üretim kaynakları ve tarifelerin planlanmasında, kısa vadeli tahmin (bir saatten bir haftaya kadar) ise çoğunlukla dağıtım ağının çizelgelenmesi ve analizinde kullanılmaktadır. Enerji talebi farklı zaman, iklim değişkenleri, sosyo-ekonomik ve demografik parametreler tarafından değiştiğinden, tüketim değerini doğru bir şekilde tahmin etmek hem önemli hem de zor bir iştir [2]. Enerji tüketiminin eksik tahmin edilmesi ekonomiyi ve günlük yaşamı olumsuz etkileyen kesintilere; olduğundan fazla tahmin edilmesi ise kullanılmayan kapasite oluşumuna neden olur. Bu nedenle, hatalarla ilgili maliyetleri önlemek için enerji tüketimini iyi bir doğrulukla modellemek önemlidir [3].

Bu bölümde, enerji talep tahmini konusuyla ilgili Türkiye ve dünya genelindeki farklı ülkelerde yapılan çalışmalar gözden geçirilerek bu çalışmalarda kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar üzerinde durulmuştur.

2.1 Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de enerji talep ve tüketim tahmini çalışmaları 1984 yılına kadar Devlet Planlama Teşkilatı tarafından basit regresyon teknikleri kullanılarak yapılmaktaydı. 1984 yılından itibaren enerji talep ve tüketim tahmini için çeşitli ekonometrik modelleme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Enerji Talebi Analiz Modeli (MAED), Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından en yaygın kullanılan tekniktir. Ancak MAED ile hala gerçek tüketim değerlerinden daha yüksek değerler tahmin edilmektedir [4].

2000’li yılların başlarından itibaren Türkiye’de yapılan enerji tahmin çalışmaları incelenerek Çizelge 2.1’de özet halinde sunulmuştur. Günümüze kadar yapılan bu çalışmalarda Türkiye’nin toplam ve kaynak bazında birincil enerji talebi, elektrik enerjisi talebi, sektörel enerji talebi, yenilenebilir enerji potansiyeli ve hidroelektrik üretimi çeşitli yöntemler kullanılarak tahmin edilmiştir.

Gümrah vd. [5] derece-gün yöntemini kullanarak Ankara’nın 2005 yılına kadar doğal gaz talebini tahmin etmişlerdir. 1991-1997 yılları ölçüm verileri ile modelin sonuçlarını doğrulamak için geçmişe yönelik bir eşleştirme çalışması yapılmıştır. Ediger ve Tatlıdil [6] 2002’de Türkiye’de birincil enerji talebinin tahmin edilmesinde yıllık ek enerji taleplerinin geçmiş verilerinde herhangi bir döngüsellığı kullanan yarı istatistiksel bir teknik olan döngü analizini kullanarak enerji talebinin 2010’da 130 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) kadar olacağını öne sürmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar Winters’ın üstel düzeltme yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Topallı ve Erkmen [7] kısa vadeli elektrik yükü tahmini için sinir ağlarını kullanarak Türkiye’nin bir gün öncesinden toplam elektrik talebini tahmin etmişlerdir. Geçmiş verilerin offline kullanıldığı ve modelin online tahminler için hazırlandığı bu hibrit öğrenme yaklaşımı standart online öğrenmeden daha iyi sonuç vermiştir. Sarak ve Satman [8] ısıtma gün derecesi yöntemini kullanarak 2023’te Türkiye’deki doğal gaz tüketiminin konutların %100’ünün yerden ısıtma için doğal gazı kullanması durumunda 14,92 Gm³ olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ceylan ve Öztürk [9] genetik algoritma yaklaşımını kullanarak enerji talep tahmini çalışması gerçekleştirmişlerdir. Türkiye’nin 1970-2025 yılları arasındaki enerji talepleri, gayri safi milli hasıla (GSMH), nüfus, ithalat ve ihracata dayalı olarak üstel ve doğrusal formda ve farklı senaryolar altında analiz edilmiştir. Ceylan ve Öztürk [10] diğer çalışmasında zaman serileri ile genetik algoritma yaklaşımını kullanarak hidrolik ve termal kaynaklardan gelen elektrik üretimini tahmin etmişlerdir. Matematiksel

modellerin üstel ve polinom olmak üzere iki formu geliştirilmiştir. Hamzaçebi ve Kutay [11] yapay sinir ağlarını kullanarak Türkiye'nin 2010 yılına kadar elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar Box-Jenkins modelleri ve regresyon tekniği ile karşılaştırılmıştır. Öztürk vd. [12] petrol ekserji üretim ve tüketim tahminleri için genetik algoritma tabanlı model geliştirmiştir. Yumurtacı ve Asmaz [13] Türkiye'nin 2050 yılı için elektrik enerjisi talebini bulmada 1980-2050 döneminde kişi başına düşen nüfus artışı ve enerji tüketimi artış oranlarına dayanan istatistiksel bir teknik kullanmışlardır. Ayrıca, 2050 yılında enerji ihtiyacına göre hidroelektrik ve termal potansiyelinin kullanım durumunu değerlendirmişlerdir. Yalçınöz ve Eminoğlu [14] enerji dağıtım sistemlerinde kısa vadeli pik yük tahminleri, kısa vadeli toplam yük tahminleri ve orta vadeli aylık yük tahminleri için ileri beslemeli sinir ağı modeli sunmuşlardır. Türkiye Elektrik Dağıtım Kurumu'ndan alınan Niğde'de günlük ve aylık elektrik tüketimini temsil eden veriler eğitim verileri olarak kullanılmıştır. İki gizli katmana sahip, çok katmanlı algılayıcı (MLP) sinir ağı, aylık yük tahminleri, pik yük tahminleri ve günlük toplam yük tahmin modülleri için en iyi sonucu vermiştir. Öztürk ve Ceylan [15] Türkiye'nin 2004-2020 yılları arasında toplam ve endüstriyel elektrik talebini tahmin etmek için genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır. Toplam elektrik tüketiminin tahmininde GSMH, nüfus, ithalat ve ihracat miktarları; endüstrinin elektrik talebini tahmin etmek için ise GSMH, ithalat ve ihracat miktarları kullanılarak gelecekteki tüketim öngörülleri için yüksek ve düşük büyüme olarak iki senaryo önerilmiştir. Haldenbilen ve Ceylan [16] genetik algoritma yaklaşımına dayalı gelecek projeksiyonlar için ulaşım enerji talebi tahmininde enerji talep denklemlerinin üç formunu geliştirmişlerdir. Genetik algoritma tabanlı ulaşım enerjisi talep tahmin modelinde nüfus, gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve toplam yıllık araç-km verileri kullanılmıştır. Öztürk vd. [17] toplam ve endüstriyel elektrik tüketimini, GSMH, nüfus, ithalat ve ihracat rakamlarına dayanarak tahmin etmişlerdir. Genetik algoritma kullanarak iki farklı doğrusal olmayan tahmin modeli geliştirilmiştir. Tunç vd. [18] 2010-2020 yılları için Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketim oranlarını regresyon analiziyle öngörmüş ve gelecekteki elektrik arz yatırımlarının Türkiye'deki dağılımını tahmin etmek için doğrusal bir matematiksel optimizasyon modeli geliştirmiştir. Ayrıca Türkiye'nin enerji kaynakları, kurulu elektrik gücü kapasitesi, elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi araştırılmış ve Fransa, Almanya ve İsviçre ile karşılaştırılmıştır. Murat ve Ceylan [19] GSMH, nüfus ve araç-km göstergelerini kullanarak yapay sinir ağı tabanlı ulaşım enerjisi talep modeli geliştirmişlerdir. 1970-2001 verileriyle analiz edilen

modelde 2020 yılına kadar ulaşım enerjisi talebi tahmin edilmiştir. Sözen vd. [20] Türkiye'nin net enerji tüketimini tahmin etme denklemlerini geliştirmek amacıyla yapay sinir ağları tekniğini kullanmışlardır. Ağın giriş katmanında sinir ağını eğitmek için nüfus, brüt üretim, kurulu kapasite ve yıllar; yöntemi doğrulamak için test verileri olarak 1965, 1981 ve 1997'deki girdi değerleri kullanılmıştır. Canyurt ve Öztürk [21] gelecekteki petrol talebi tahminleri için genetik algoritma tabanlı model geliştirmiştir. Ediger vd. [22] Bütünlenen Otoregresif Hareketli Ortalama (ARIMA) ve Mevsimsel ARIMA (SARIMA) regresyon yöntemlerini uygulayarak fosil yakıt üretimini tahmin etmek için bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Sonuçlara göre 2019 yılında kömür, 2024 yılında doğal gaz, 2029 yılında petrol ve 2031 yılında asfaltit üretiminin son bulması bekleniyor. Hamzaçebi [23] Türkiye'de sektörel olarak net elektrik tüketiminin tahmin edilmesinde yapay sinir ağlarını kullanmıştır. 2020 yılına kadar yıllık ortalama net elektrik tüketimi artışı endüstride %45,67, konut sektöründe %49,90, tarım sektöründe %3,65 ve ulaştırma sektöründe %0,755 olarak tahmin edilmiştir. Ediger ve Akar [24] Türkiye'nin 2005-2020 yılları arasındaki birincil enerji talebini yakıt türleri için tahmin etmede ARIMA ve SARIMA yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuçlar, negatif büyüme oranlarına sahip olacak olan odun ve hayvan-bitki kalıntıları dışındaki her durumda her bir enerji kaynağının ve toplam birincil enerjinin yıllık ortalama büyüme oranlarının düşeceğini göstermiştir. Sözen ve Arcaklıoğlu [25] Türkiye'nin gelecekteki net enerji tüketimini tahmin etmek için yapay sinir ağları yaklaşımını kullanarak enerji indikatörleri, GSMH ve GSYİH'ya dayalı 3 farklı model kullanmışlardır. GSYİH ile daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edildiği için net enerji tüketimi tahmininde ekonomik göstergelerin kullanımının enerji göstergelerinin kullanımından daha uygun olduğunu sonucuna ulaşmışlardır. Akay ve Atak [26] yuvarlanma mekanizmalı gri tahmin yaklaşımını kullanarak 2006-2015 yıllarında Türkiye'nin toplam ve endüstriyel elektrik tüketimini tahmin etmişlerdir. Erdoğan [27] Türkiye'de elektrik talebinin kısa ve uzun vadeli fiyat ve gelir esnekliğini tahmin etmiştir. Talebin gelecekteki büyümesini öngörmede ko-integrasyon ve ARIMA modellemesi kullanılarak sonuçlar resmi projeksiyonlarla karşılaştırmıştır. Çınar ve Kayakutlu [28] nedensel haritalar ile belirlenen faktörlere dayalı hidroelektrik üretimi için yapay sinir ağı tahmin modelini geliştirmişlerdir. Tahmin modeli için girdi olarak elektrik tüketimi, kurulu güç, nüfus, enerji tüketimi, GSYİH ve GSMH kullanılmıştır. 2006-2025 yıllarında Türkiye'nin enerji talebini tahmin etmek için Toksarı [29] karınca kolonisi optimizasyonunu, Ünler [4] parçacık sürü optimizasyonunu kullanmıştır.

Nüfus, GSYİH, ithalat ve ihracat iki çalışmada da enerji talebinin temel enerji göstergelerini oluşturmaktadır. Aras [30] konutlarda kısa vadeli doğal gaz talebini tahmin etmek için genetik algoritmaların bir uygulamasını sunmuştur. Eskişehir’de konutlarda doğal gaz tüketiminin tahmini için ısıtma gün derecesi değeri ve tüketici fiyat endeksini içeren doğrusal olmayan regresyon modeli oluşturulmuştur. Toksarı [31] önceki çalışmasıyla benzer olarak karınca kolonisi optimizasyonunu bu kez Türkiye’nin net elektrik enerjisi üretimi ve talebini tahmin etmek için kullanmıştır. Kavaklıoğlu vd. [32] yapay sinir ağları yaklaşımıyla 1975-2006 verilerini kullanarak 2027’ye kadar Türkiye’nin elektrik tüketimini tahmin etmişlerdir. Elektrik tüketimi, ekonomik göstergelerin (nüfus, GSMH, ithalat ve ihracat) ve yalnızca ithalat-ihracat oranının bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Sümer vd. [33] 1997-2005 yılları Kayseri ve Civarı Elektrik Anonim Şirketi’ne ait satılan enerji miktarı verilerini kullanarak elektrik talebini ARIMA, SARIMA ve gizli değişkenli regresyon modeliyle tahmin etmiştir. Küçükdeniz [34] yapay sinir ağı ve literatürde o yıla kadar Türkiye’nin elektrik talebi tahmini için kullanılmayan bir yöntem olan destek vektör makineleri tabanlı uzun vadeli elektrik enerjisini tahmin etmeye yönelik modeller geliştirmiştir. Bu çalışmada, şebekeye verilen enerji ve şebeke kayıpları ayrı ayrı tahmin edilerek sonuçları elektrik talebi tahmininde kullanılmıştır. Küçükali ve Barış [35] Türkiye’nin 2010-2014 yılları arası yıllık brüt elektrik talebini tahmin etmek için bulanık mantık metodolojisini uygulamışlardır. Satın alma gücü paritesine dayalı GSYİH önerilen modelde kullanılan tek parametredir. Model, regresyon modeline kıyasla 1970-2014 yıllarını kapsayan belirsizlikleri içeren dinamik sistem davranışını yakalayarak daha iyi tahminlerde bulunmuştur. Çunkaş ve Altun [36] üç katmanlı geri yayımlı ve tekrarlayan sinir ağını Türkiye’nin uzun vadeli elektrik talebi tahmin etmek için tasarlamıştır. Sinir ağlarına girdi olarak GSMH, GSYİH, nüfus, hane halkı sayısı, sanayi üretimi endeksi, petrol fiyatı, kişi başına elektrik tüketimi ve elektrik fiyatı seçilmiştir. Tekrarlayan sinir ağı modelinin daha iyi tahmin sonuçları elde ettiği gösterilmiştir. Akkurt vd. [37] Türkiye’nin farklı zaman dilimlerinde aylık ve yıllık doğal gaz tüketimlerini, üstel düzeltme, Winters’ tahmini ve Box-Jenkins yöntemleri gibi çeşitli zaman serileri yöntemlerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Erdoğan [38] daha önce elektrik talep tahmini için yaptığı çalışmayla benzer olarak bu çalışmada Türkiye’de sektörel doğal gaz talebinin kısa ve uzun vadeli fiyat ve gelir esnekliklerini tahmin etmiştir. Doğal gaz talebinin gelecekteki büyümesini tahmin etmek için bir ARIMA modellemesi kullanılmış ve sonuçlar resmi projeksiyonlarla karşılaştırılmıştır. Demirel vd. [39] 1970-

2007 yıllarında GSMH, üretilen enerji, tüketilen enerji, nüfus ve kurulu güç verilerini kullanarak elektrik enerjisi talep tahmini için Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Otoregresif Hareketli Ortalama (ARMA) modelleri oluşturmuşlardır. 2006-2010 yılları elektrik enerjisi talepleri tahmin edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toksarı [40] GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat gibi ekonomik göstergeleri kullanarak benzetimli tavlama dayalı bir yaklaşımla Türkiye'nin 2025 yılına kadar doğal gaz talebini tahmin etmiştir. Benzetimli tavlama doğal gaz talebi tahmin modelinin doğrusal ve kuadratik biçimleri önerilmiştir. Çınar vd. [41] tarafından geliştirilen genetik algoritma ve ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağıları hibrit modeli hidroelektrik enerji üretim tahmini için uygulanmıştır. Bu çalışmada, yapay sinir ağıları tahmin modelinde girdi olarak elektrik tüketimi, kurulu güç, nüfus, birincil enerji tüketimi ve GSMH kullanılmıştır. Kankal vd. [42] yapay sinir ağı ve regresyon analizlerini kullanarak sosyo-ekonomik ve demografik değişkenlere (GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat miktarları ve istihdam) dayalı Türkiye'de enerji tüketiminin modellenmesi konusuyla ilgilenmişlerdir. Kavaklıoğlu [43] Türkiye'nin 2026 yılına kadar elektrik tüketimini modellemek ve tahmin etmek için destek vektör regresyonu metodolojisini kullanmıştır. Dilaver ve Hunt [44] endüstriyel elektrik talebini öngörmek için, Türkiye'deki endüstriyel elektrik tüketiminin endüstriyel katma değer ve elektrik fiyatlarıyla ilişkisini araştırmıştır. 1960 ile 2008 yılları arasındaki yıllık verilere yapısal zaman serisi tekniği uygulanmıştır. Kıran vd. [45] parçacık sürü optimizasyonu ve karınca kolonisi optimizasyonunu kullanarak Türkiye'nin enerji talebini tahmin etmek için yeni bir hibrid yöntem önermişlerdir. Doğrusal ve kuadratik olarak iki biçimde geliştirilen bu modelde gelecekteki enerji talebi farklı senaryolarda tahmin edilmiştir. Melikoğlu [46] Türkiye'nin 2013-2030 yılları arasındaki doğal gaz talebi için kişi başına satın alma gücü paritesinde GSYİH ve nüfus değişimine dayalı iki yarı deneysel model geliştirmiştir. Lojistik modelin uzun vadeli talep tahmininde, doğrusal modelin de orta vadeli talep tahmininde daha doğru sonuçlar elde edeceği sonucuna ulaşılmıştır. Taşpınar vd. [47] Türkiye'nin Sakarya ilinde kısa vadeli doğal gaz tüketiminin tahmini için Dışsal Girdilerle Mevsimsel Bütünlenen Otoregresif Hareketli Ortalama (SARIMAX), MLP ve Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) yapay sinir ağıları ve çok değişkenli en küçük kareler yöntemi modellerini önermişlerdir. Önerilen modellerde 2007-2011 yılları hava sıcaklığı, ortalama bulut örtüsü, bağıl nem, atmosferik basınç ve rüzgar hızı gibi meteorolojik veriler kullanılmıştır. Gürbüz vd. [48] elektrik enerjisi tüketiminin tahmininde yapay arı kolonisi algoritması yaklaşımıyla doğrusal, kuadratik

ve üç katmanlı ileri besleme sinir ağı modellerini geliştirmişlerdir. 1979-2009 verileri kullanılarak 2010-2022 yıllarında Türkiye'nin enerji talebi tahmin edilmiştir. Hamzaçebi ve Es [49] 2013-2025 döneminde Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için optimize edilmiş gri tahmin modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada iteratif ve doğrudan olmak üzere iki tahmin yaklaşımı uygulanmıştır. Aydın [3] Türkiye'nin birincil enerji tüketimini nüfus ve GSYİH'yi temel alarak regresyon analizi ile tahmin etmiştir. 2010-2025 yıllarını kapsayan bu çalışmada nüfus ve GSYİH için farklı büyüme oranlarına göre üç farklı senaryo uygulanmıştır. Es vd. [50] yapay sinir ağları yaklaşımını kullanarak 2011-2025 yılları arasında Türkiye'nin net enerji talebini tahmin etmişlerdir. Yapay sinir ağı modelinin girdileri olarak GSYİH, nüfus, ithalat, ihracat ve literatürden farklı olarak bina yüz ölçümü ve taşıt sayısı kullanılmıştır. Uzlu vd. [51] Türkiye'de 2012-2021 yılları arasında hidroelektrik enerji üretimini tahmin etmek için yapay arı kolonisi algoritması ile yapay sinir ağı modelini uygulamışlardır. Modelde bağımsız değişkenler olarak brüt elektrik enerjisi talebi, nüfus, ortalama yıllık sıcaklık ve enerji tüketimi seçilmiştir. Hidroelektrik üretiminin 2021 yılında 69,1-76,5 TWh arasında değişeceği öngörülmüştür. Yükseltan vd. [52] 2012-2014 yıllarında Türkiye'nin saatlik elektrik talep verilerini analiz ederek mevsimsel etkilerle modüle edilen, haftalık ve günlük periyodik varyasyonları dikkate alan doğrusal bir model geliştirmişlerdir. Kaytez vd. [53] Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmek için en küçük kareler-destek vektör makineleri, regresyon analizi ve yapay sinir ağlarını kullanarak tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Brüt elektrik enerjisi üretimi, kurulu kapasite, toplam abone sayısı ve nüfus bağımsız değişken olarak seçilmiştir. 1970-2009 yılları arasındaki geçmiş veriler kullanılarak modellerin karşılaştırması yapılmıştır. Tutun vd. [54] SARIMA ve Doğrusal Olmayan Otoregresif Yapay Sinir Ağı yöntemlerini kullanarak gelecekteki bağımsız faktörleri tahmin etmek için yeni bir yapı önermişlerdir. Buna bağlı olarak gelecekteki net elektrik tüketimini tahmin etmek için bir En Küçük Mutlak Daralma ve Seçme Operatörü (LASSO) Tabanlı Uyarlanabilir Evrimsel Benzetimli Tavlama (LADES) modeli ve bir Sırt Tabanlı Uyarlanabilir Evrimsel Benzetimli Tavlama (RADES) modeli uygulanmıştır. Önerilen model, %1,59 Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) oranı ile 34 yıl içinde Türkiye'de yapılan elektrik tüketim tahmini çalışmaları içinde en düşük MAPE değerini elde etmiştir. Ertuğrul [55] elektrik yükünün tahmini için yeni bir Tekrarlayan Uç Öğrenme Makinesi (RELM) yaklaşımını önermiştir. RELM'de Uç Öğrenme Makinesi (ELM), tek gizli katmanlı Jordan tekrarlayan sinir ağını eğitmek için uyarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar

geleneksel ELM, doğrusal regresyon, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı ve diğer popüler makine öğrenme yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen model için 1990-2012 verileri kullanılmıştır. Günay [56] elektrik enerjisi talebini tahmin etmede istatistiksel olarak anlamlı bulunan nüfus, kişi başına GSYİH, enflasyon oranı ve ortalama yaz sıcaklığı değişkenlerinin gelecekteki değerlerini zaman serileri yapay sinir ağları modelleri ile tahmin etmiştir. Bunlar da gelecekteki yıllık brüt elektrik talebini tahmin etmek için MLP yapay sinir ağı modelinde simüle edilmiştir. Ervural vd. [57] İstanbul'un doğal gaz tüketiminin tahmin doğruluğunu artırmak için genetik algoritma ve ARMA modellerine dayanan bir entegre tahmin modeli önermişlerdir. Özdemir vd. [58] doğal gaz talebini tahmin etmek için nüfus, GSMH ve büyüme oranı değişkenleriyle doğrusal regresyona dayalı hibrid bir genetik algoritma-benzetimli tavlama algoritması geliştirmişlerdir. Modeller, Türkiye'nin doğal gaz talebini 2010-2030 yıllarında iki farklı senaryo altında tahmin etmek için kullanılmıştır. Gülcü ve Kodaz [59] 2030 yılına kadar Türkiye'de elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için parçacık sürü optimizasyon algoritmasına dayanan bir yöntem sunmuşlardır. Modelde girdi olarak GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verileri kullanılmış olup, model 2004-2013 yılları arasında gözlenen verilerle doğrulanmıştır. Karadede vd. [60] doğal gaz talebini daha düşük bir hata oranı ile tahmin etmek için doğrusal olmayan regresyon tabanlı üretken genetik algoritma ve benzetimli tavlama olmadan oluşan üretken hibrit algoritma önermişlerdir. 2015-2030 yılları için yapılan tahminlerde üretken hibrit modelin diğer modellerden daha üstün olduğu gösterilmiştir. Sönmez vd. [61] yapay arı kolonisi algoritmasını kullanarak Türkiye'nin ulaşım enerjisini tahmin etmek için doğrusal, üstel ve kuadratik formlarda üç farklı matematiksel model önermişlerdir. Modellerin eğitim ve test aşamaları için 1970-2013 geçmiş verileri kullanılarak 2034 yılına kadar ulaşım enerjisi talebi iki olası senaryoda tahmin edilmiştir. Yükseltan vd. [62] yıllık, haftalık ve günlük periyotlarda elektrik talebinin tahmini için saatlik bir talep tahmini metodu geliştirmişlerdir. Mevsimsel değişimlere göre gün içi periyodik varyasyonların modülasyonunu ve bu varyasyonların harmoniklerini dikkate alan bir doğrusal model kullanılmıştır. Model sadece sinüs eğrisi şeklinde varyasyonlara dayanır ve herhangi bir iklimsel veya ekonometrik bilgi kullanmadan saatlik varyasyonları öngörmüştür. Karaaslan ve Gezen [63] Türkiye'nin toplam enerji talebini tahmin etmek ve bu talebin sektörler arasında dağılımını ve kullanılmayan enerji miktarını belirlemek amacıyla bulanık gri regresyon modeli önermişlerdir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Gümrah vd. (2001)	Derece-gün yöntemi	Yıllık doğal gaz talebi	Hava koşulları ve tüketici sayısına bağlı olarak 2005 yılına kadar Ankara için doğal gaz talebi tahmin edilerek havaya duyarlı gaz kullanımının yıllık gaz kullanımına oranı yaklaşık olarak 0,93 olarak bulunmuştur.
Ediger ve Tatlıdil (2002)	Döngü analizi	Yıllık birincil enerji talebi	2010'da Türkiye birincil enerji talebinin 130 milyon TEP kadar olacağı tahmin edilmiştir.
Topallı ve Erkmen (2003)	Yapay sinir ağları	Elektrik yükü	Model, 2000 yılı verileri ile test edildikten sonra ortalama yüzde hatası %2,3153 ve gerçek zamanlı yüzde hatası % 2,4528'dir.
Sarak ve Satman (2003)	Isıtma gün derecesi yöntemi	Yıllık doğal gaz tüketimi	2023'te Türkiye'deki konutların %100'ünün yerden ısıtma olarak doğal gazı kullanması durumunda doğal gaz tüketiminin 14,92 Gm ³ olacağı tahmin edilmiştir.
Ceylan ve Öztürk (2004)	Genetik algoritma	Yıllık enerji talebi	2001 yılı için MAED bağlı hata değeri %30,31 iken üstel formda önerilen modelinin bağlı hata değeri %10,04 olarak bulunmuştur.
Ceylan ve Öztürk (2004)	Genetik algoritma-Zaman serileri	Hidrolik ve termal elektrik üretimi	Elektrik üretiminin hidroelektrikten aldığı payın 2020'de %25'den %16'ya düşeceği, termal elektrik üretimi payının ise %74,7'den %84'e yükseleceği öngörülmüştür.
Hamzaçebi ve Kutay (2004)	Yapay sinir ağları	Yıllık elektrik tüketimi	1999-2002 yılları test kümesi için MAPE değerleri, geri yayılım ağlarında %2,7743 ve RBF ağlarında %3,4280 olarak bulunmuştur.
Öztürk vd. (2004)	Genetik algoritma	Petrol ekserji üretim ve tüketimi	Ekserji üretimi için kullanılan model ETKB projeksiyonundan iki kat daha yüksek değerler, ekserji tüketimi için ise önerilen modelin kuadratik formu ETKB projeksiyonlarına çok yakın değerler tahmin etmiştir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Yumurtacı ve Asmaz (2004)	İstatistiksel bir teknik	Yıllık elektrik talebi	2050 yılında, toplam enerji üretiminin %58’inin termik santrallerden, %10’u hidroelektrik santrallerden, geri kalanının ise diğer enerji kaynakları tarafından üretileceği beklenmektedir.
Yalçınöz ve Eminoğlu (2005)	Yapay sinir ağları	Günlük pik yük, günlük toplam yük ve aylık toplam yük	Niğde ili için yapılan sonuçlara göre ortalama hata değerleri; aylık toplam yük; %6,84 günlük pik yük; Bor %2,21, Misliova %2,94, şehir merkezi %1,36 günlük toplam yük; %3,12’dir.
Öztürk ve Ceylan (2005)	Genetik algoritma	Toplam ve endüstriyel elektrik talebi	Toplam elektrik tüketimi için %7,304 ortalama bağıl hata ile kuadratik form, endüstriyel elektrik tüketimi için %16,045 ortalama bağıl hata ile kuadratik ve üstel formun birleşimi en iyi sonucu vermiştir.
Haldenbilen ve Ceylan (2005)	Genetik algoritma	Ulaşım sektörü enerji talebi	Önerilen modelin üstel formu, ulaşım enerjisi talebi için alternatif bir çözüm ve tahmin tekniği olarak kullanılabilir. Lineer formu ile ulaşım enerjisi talebi olduğundan daha az, kuadratik formu ile olduğundan daha fazla olarak tahmin edilmiştir.
Öztürk vd. (2005)	Genetik algoritma	Toplam ve endüstriyel elektrik talebi	Ortalama bağıl hata değerleri; toplam elektrik talebinde üstel formun %3,75, kuadratik formun %2,99 ve endüstriyel elektrik talebinde üstel formun %3,35, kuadratik formun %1,42’dir.
Tunç vd. (2006)	Regresyon analizi	Yıllık elektrik tüketimi	2020 yılı için akaryakıt ve kömür, doğal gaz, nükleer, hidroelektrik ve yenilenebilir olmak üzere 4 kaynaktan elektrik talebinin karşılanması için üretim maliyetleri hesaplandığında Türkiye’nin nükleer santralleri de inşa etmesinin gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Murat ve Ceylan (2006)	Yapay sinir ağları	Ulaşım sektörü enerji talebi	Toplam ortalama minimum bağıl hata değeri yaklaşık %13 olarak bulunmuştur. Herhangi bir önlem alınmadığı takdirde gelecek ulaşım enerjisi talebinin 2020’de 33 ile 40 milyon TEP arasında değişeceği öngörülmüştür.
Sözen vd. (2006)	Yapay sinir ağları	Net enerji tüketimi	Belirlilik katsayısının (R^2 değeri) sırasıyla eğitim ve test verileri için %99,99 ve %100 bulunması net enerji tüketiminin yapay sinir ağları ile kabul edilebilir hatalar içinde tahmin edilebileceğini göstermektedir.
Canyurt ve Öztürk (2006)	Genetik algoritma	Petrol talebi	Nüfus, GSMH, petrol ithalatı, kamyon satışları ve ithalatın gösterge olarak kullanıldığı model en iyi çözümü sağlamıştır.
Ediger vd. (2006)	Basit regresyon, ARIMA ve SARIMA	Fosil yakıt üretimi	Türkiye’de 2019 yılında taş kömürü, 2024 yılında doğal gaz, 2029 yılında petrol ve 2030 da asfaltit üretiminin son bulacağı öngörülmüştür.
Hamzaçebi (2007)	Yapay sinir ağları	Sektörel net elektrik tüketimi	2020 yılına kadar yıllık ortalama net elektrik tüketimi artışı endüstride %45,67, konut sektöründe %49,90, tarım sektöründe %3,65 ve ulaştırma sektöründe %0,755 olarak tahmin edilmiştir.
Ediger ve Akar (2007)	ARIMA ve SARIMA	Yakıt türleri bazında birincil enerji talebi	Sonuçlar, negatif büyüme oranlarına sahip olacak olan odun ve hayvan-bitki kalıntıları dışındaki her durumda her bir enerji kaynağının ve toplam birincil enerjinin yıllık ortalama büyüme oranlarının düşeceğini göstermiştir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Sözen ve Arcaklıoğlu (2007)	Yapay sinir ağları	Net enerji tüketimi	Modeller için maksimum MAPE değerleri 2,322732, 1,110525 ve 1,122048 olarak bulunmuştur. Buna göre net enerji tüketimi tahmininde ekonomik göstergelerin kullanımının enerji göstergelerinin kullanımından daha uygun olduğunu sonucuna ulaşılmıştır.
Akay ve Atak (2007)	Yuvarlanma mekanizmalı gri sistem teorisi	Toplam ve endüstriyel elektrik tüketimi	1994-2004 verileri için ortalama MAPE toplam elektrik tüketiminde %3,43, endüstriyel elektrik tüketiminde %4,36 olarak bulunmuştur.
Erdoğan (2007)	Ko-integrasyon analizi ve ARIMA	Elektirik talebi	ARIMA modellemesine göre, 2005-2014 yılları için talebin yıllık ortalama %3,3 oranında artmaya devam edeceği, 2014 yılında 160090 GWh'ye yükseleceği ve bunun 2004 talep seviyesine göre %37'lik bir artışa eşit olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Çınar ve Kayakutlu (2007)	Yapay sinir ağları	Hidroelektrik üretimi	Önerilen model için kök ortalama kare hatası (RMSE) 11909,285 ve bağıl hata 0,117 olarak bulunmuştur.
Toksarı (2007)	Karınca kolonisi optimizasyonu	Enerji talebi	Ekonomik göstergelerin dalgalanmaları nedeniyle modelin daha iyi bir çözüm öneren kuadratik formunda en büyük sapma %2,83; lineer formunda ise % -3,87’dir.
Ünler (2008)	Parçacık sürü optimizasyonu	Enerji talebi	Modelin lineer formu için en büyük bağıl hata %3,31 ve kuadratik formu için % -2,22 olarak bulunmuştur.
Aras (2008)	Genetik algoritma	Aylık konut doğal gaz talebi	Tüketici fiyat endeksinin ortalama büyüme oranının %4 olacağı varsayılarak Eskişehir’in 2009-2013 yılı aylık doğal gaz talebi tahmin edilmiştir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Toksarı (2009)	Karınca kolonisi optimizasyonu	Net elektrik üretimi ve talebi	Elektrik enerjisi üretimi modelinin en büyük mutlak bağıl hatalar lineer ve kuadratik formlar için %3, elektrik enerjisi talebi modelinin ise sırasıyla %5 ve %3 olarak bulunmuştur.
Kavaklıoğlu vd. (2009)	Yapay sinir ağları	Elektrik tüketimi	Toplam elektrik tüketimi için mutlak ve bağıl RMSE sırasıyla 0,67 milyar kWh ve %1,15 olarak bulunmuştur.
Sümer vd. (2009)	ARIMA, SARIMA ve gizli değişkenli regresyon modeli	Aylık elektrik talebi	Kayseri’de satılan elektrik verileri kullanılarak gizli değişkenli regresyon modellerinin mevsimsel zaman serileri için SARIMA modellerinin alternatifleri olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.
Küçükdeniz (2010)	Yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri	Elektrik talebi	Önerilen yapay sinir ağları ve destek vektör makineleri modellerinin MAPE değerleri sırasıyla %4 ve %3,2 olarak bulunmuştur.
Küçükali ve Barış (2010)	Bulanık mantık	Brüt elektrik talebi	Önerilen model için ortalama mutlak bağıl hata %3,9 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, model 2009 yılında Türkiye’nin elektrik talebinde %4,5’lik bir düşüş olacağını tahmin ederek 2010-2014 yılları arasında elektrik talebi artış oranlarının yaklaşık %4 olacağını öngörmektedir.
Çunkaş ve Altun (2010)	Yapay sinir ağları	Elektrik talebi	MAPE değerleri; geri yayımlı sinir ağı modeli için 1,53 ve tekrarlayan sinir ağı modeli için 0,77 olarak hesaplanmıştır.
Akkurt vd. (2010)	Üstel düzeltme, Winters’ tahmini ve Box-Jenkins yöntemleri	Aylık ve yıllık doğal gaz tüketimleri	Aylık veri setinde SARIMA modeli ve yıllık veri setinde çift üstel düzeltme modeli uygulanan diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Erdoğan (2010)	ARIMA	Doğal gaz talebi	Türkiye’de doğal gaz talebinin 2008-2030 yılları arasında yıllık ortalama %4 oranında artmaya devam edeceği ve 2007 yılına göre %146,6’lık artışla 2030 yılında 864 milyar m ³ olacağı öngörülmüştür.
Demirel vd. (2010)	ANFIS ve ARMA	Yıllık net elektrik talebi	MAPE değerleri; ANFIS modeli için 0,474 ve ARMA modeli için 5,315 olarak hesaplanmıştır.
Toksarı (2010)	Benzetimli Tavlama	Doğal gaz talebi	Önerilen modelin doğrusal formu için en büyük sapma değeri %13 iken kuadratik formu için %6 olarak hesaplanmıştır.
Çınar vd. (2010)	Genetik algoritma-Yapay sinir ağları	Hidroelektrik üretimi	Klasik sinir ağı modelinden daha iyi bir tahmin performansı sağlayan önerilen hibrit modelin test veri seti için bağıl hatası 0,0576’dır. Model Türkiye’de hidroelektrik üretiminin 2010-2012 arasında düşüş eğilimi içine gireceğini öngörmüştür.
Kankal vd. (2011)	Yapay sinir ağları ve regresyon analizleri	Enerji tüketimi	Test setleri için ortalama bağıl hatası %1,222 olarak hesaplanan yapay sinir ağı modeliyle diğer regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
Kavaklıoğlu (2011)	Destek vektör regresyonu	Elektrik tüketimi	Önerilen modelin RMSE değeri %1,51 olarak hesaplanmıştır. Model, 20 yıl içinde Türkiye’nin elektrik tüketiminin 284,9 TWh’ye ulaşacağını ve bunun da 2006 değerinin yaklaşık iki katı olduğunu öngörmüştür.
Dilaver ve Hunt (2011)	Yapısal zaman serisi tekniği	Endüstriyel elektrik talebi	Endüstriyel katma değer (çıktı) esnekliği 0,15 ve endüstriyel enerji fiyat esnekliği -0,16 olarak tahmin edilmiştir. Türkiye elektrik enerjisinin talebinin 2020 yılına kadar 97 ile 148 TWh arasında olacağı beklenmektedir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Kıran vd. (2012)	Parçacık sürü optimizasyonu- Karınca kolonisi optimizasyonu	Enerji talebi	Önerilen hibrit modelin lineer formu için en büyük sapma %3,37 iken kuadratik formu için %2,77’dir. Önerilen hibrit model parçacık sürü optimizasyonu ve karınca kolonisi optimizasyon modellerinden daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur.
Melikoğlu (2013)	Zaman serileri analizi	Yıllık doğal gaz talebi	MAPE değerleri; lojistik model için %31,335 iken lineer model için %36,341’dir. Lojistik model uzun vadeli talep tahmininde, doğrusal model de orta vadeli talep tahmininde daha doğru sonuçlar elde edebilir.
Taşpınar vd. (2013)	SARIMAX, yapay sinir ağları ve çok değişkenli en küçük kareler yöntemi	Konutlarda günlük doğal gaz tüketimi	Sakarya ilinde doğal gaz tüketimi tahmini için önerilen SARIMAX modeli 0,792 MAPE değeriyle, MLP ve RBF sinir ağı ile çok değişkenli en küçük kareler modellerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir.
Gülbüz vd. (2013)	Yapay arı kolonisi algoritması	Net elektrik tüketimi	Yapay arı kolonisi algoritmasının sinir ağı modeli, lineer ve kuadratik regresyon modelleri için R^2 değerleri sırasıyla 0,984954, 0,983273 ve 0,986239 olarak bulunmuştur.
Hamzaçebi ve Es (2014)	Gri sistem teorisi	Yıllık elektrik tüketimi	Doğrudan ve iteratif gri tahmin modelleri için MAPE değerleri 3,28 ve 5,36 olarak hesaplanmıştır.
Aydın (2014)	Regresyon analizi	Birincil enerji tüketimi	Regresyon modeli için MAPE değeri %3,08’dir. 2010-2025 döneminde Türkiye'nin birincil enerji tüketimi ortalama büyüme oranının %3,08 ile %4,12 arasında değişeceği öngörülmüştür.
Es vd. (2014)	Yapay sinir ağları	Net enerji talebi	MAPE değerleri; sebep sonuç ilişkisine dayalı yapay sinir ağı modeli için %4,21 ve çoklu doğrusal regresyon modeli için %6,89’dur.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Uzlu vd. (2014)	Yapay arı kolonisi algoritması- Yapay sinir ağları	Hidroelektrik enerji üretimi	Önerilen modelin ortalama bağıl hatası 0,2319’dur. Hidroelektrik üretiminin 2021 yılında 69,1-76,5 TWh ve hidroelektrik arz oranları tarafından temsil edilen yıllık toplam elektrik talebinin de %14,8-%18,0 arasında değişeceği öngörülmüştür.
Yükseltan vd. (2015)	Zaman serileri analizi	Saatlik elektrik talebi	Uzun vadeli tahmin için 2013 ve 2014 yıllarının elektrik talebi kullanılarak oluşturulan modelde 2014 yılına ait talebin modelleme hatası %4,37 ve tahmin hatası %9,8 olarak hesaplanmıştır.
Kaytez vd. (2015)	En küçük kareler-Destek vektör makineleri, regresyon analizi ve yapay sinir ağları	Elektrik tüketimi	MAPE değerleri; En küçük kareler-Destek vektör makineleri modeli için %1,004, çoklu lineer regresyon modeli için %3,34 ve yapay sinir ağı modeli için %1,19 olarak hesaplanmıştır.
Tutun vd. (2015)	Benzetimli Tavlama	Net elektrik tüketimi	Önerilen model, %1,59 MAPE değeri ile 34 yıl içinde Türkiye’de yapılan elektrik tüketim tahmini çalışmaları içinde en iyi modeldir.
Ertuğrul (2016)	Yapay sinir ağları	Günlük elektrik yükü	Ortalama RMSE değeri 0,0264 olan tekrarlayan uç öğrenme makinesiyle geleneksel uç öğrenme makinesi, doğrusal regresyon, genelleştirilmiş regresyon sinir ağı ve diğer popüler makine öğrenme yöntemlerine göre daha doğru sonuçlar elde edilmiştir
Günay (2016)	Yapay sinir ağları	Yıllık brüt elektrik talebi	Önerilen MLP sinir ağı modeli için RMSE değeri 5,7 olarak hesaplanmıştır. Talebin 2028 yılında yaklaşık olarak 460 TWh'ye ulaşması beklenmektedir.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Ervural vd. (2016)	Genetik algoritma-ARMA	Aylık doğal gaz tüketimi	İstanbul'da konut ve ticari alanlarda aylık doğal gaz tüketimini tahmin etmek için geliştirilen genetik algoritma-ARMA ve ARMA modellerinin MAPE değerleri sırasıyla 0,1356 ve 0,1991 olarak hesaplanmıştır.
Özdemir vd. (2016)	Genetik algoritma-Benzetimli tavlama algoritması	Doğal gaz talebi	Geliştirilen model için MAPE değeri %4,97 olarak hesaplanmıştır.
Gülcü ve Kodaz (2016)	Parçacık sürü optimizasyon algoritması	Elektrik talebi	Önerilen modelin R^2 değeri %99,11 olarak bulunmuştur. 2030'daki elektrik talebinin farklı senaryolar altında 519 TWh, 256 TWh ve 351 TWh olacağı öngörülmektedir.
Karadede vd. (2017)	Genetik algoritma-Benzetimli tavlama	Doğal gaz talebi	Önerilen hibrit model 2010-2014 yılları için 0,0143 MAPE değeriyle doğrusal olmayan regresyon ve genetik algoritma modellerinden daha üstündür.
Sönmez vd. (2017)	Yapay arı kolonisi algoritması	Ulaşım sektörü enerji talebi	Önerilen modelin lineer formu 0,11 MAPE değeriyle üstel ve kuadratik modellerden daha iyi performans göstermiştir. 2034 yılı tahminleri lineer ve üstel modellerde yakın değerlerdeyken kuadratik modelde çok daha yüksektir.
Yükseltan vd. (2017)	Regresyon analizi	Saatlik elektrik talebi	Saatlik elektrik talebi 1 haftalık ve 1 günlük periyotlar için %3'lük MAPE ile tahmin edilmiştir. Dini bayram gibi özel günleri kullanarak toplam elektrik talebinde sanayi elektrik talebi için 2012-2013-2014 verileri kullanılarak sanayi talebinin yaklaşık %33 olacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 2. 1 Türkiye’de yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Karaaslan ve Gezen (2017)	Bulanık Gri tahmin	Toplam ve sektörel enerji talebi	2023 yılında Türkiye'nin toplam enerji talebinin 2013'e göre %49 oranında artması beklenmektedir. Sanayi sektörü talebinin %37, nakliye sektörü talebinin %43, konut sektörü talebinin %26, ticari ve kamu hizmetleri sektörü talebinin %90 ve diğer sektörlerin talebinin %53 oranında artacağı tahmin edilmiştir.

2.2 Dünya Geneline Yapılan Çalışmalar

Dünya genelinde 1980 yılından günümüze kadar yapılan hem ülke hem de şehir düzeyinde toplam ve sektörel enerji tüketim tahmini çalışmalarının genel bir incelemesi aşağıda yer almaktadır. İncelenen çalışmalar Çizelge 2.2’de özet halinde sunulmuştur. Son yıllarda birçok ülkede çevresel kaygılar nedeniyle ülkelerin emisyon azaltma hedeflerine bağlı olarak yenilenebilir enerji potansiyeli ve üretimiyle ilgili yapılan tahmin çalışmaları da artmaktadır.

Mitropoulos vd. [64] enerji tahmini için ekonometrik bir modeli Kalman Filtresi ile ilişkilendirmiştir. Model formüle edilirken Cobb Douglas fonksiyonu kullanılmıştır. Enerji fiyatı, GSMH ve bir önceki döneme ait enerji talebi bağımsız değişkenler olup fiyat ve gelir esnekliklerinin, birinci dereceden özyineli ilişkilere göre zamanla değişimine izin verilmiştir. 1958-1975 dönemi gözlem serisiyle, 1976-1985 yılları için Yunan ekonomisindeki enerji talebi tahmin edilmiştir. Bokor vd. [65] Macaristan’da aylık elektrik enerjisi talebini tahmin etmek için SARIMA zaman serileri modellerini kullanmışlardır. Tschang ve Dowlatabadi [66] Edmonds-Reilly küresel enerji modelindeki belirsizliği gidermek için Monte Carlo yöntemlerini Bayes güncelleme teknikleriyle birleştirmişlerdir. Bayes güncelleme tekniğinde enerji tüketimi ve karbon emisyonu çıktılarına dayanan olasılık tabanlı pencereler kullanılmıştır. İlişkili olmayan girdi parametreleri ve ilişkili girdi parametrelerinin ele alındığı iki alternatif model yapısı incelenmiştir. Nizami ve Al-Garni [67] Suudi Arabistan'ın Doğu Bölgesi'ndeki elektrik enerjisi tüketimini hava durumu verileri (sıcaklık ve nem), küresel güneş radyasyonu ve nüfusla ilişkilendirerek bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir.

Modelleme için iki katmanlı bir ileri beslemeli sinir ağı kullanılmıştır. Gelecek tahminler için yapay sinir ağı ve regresyon modelleri karşılaştırılmıştır. El-Keib vd. [68] kısa vadeli yük tahminleri için istatistiksel tabanlı hibrit modeller geliştirmişlerdir. Bu çalışmada geliştirilen modeller uyarlanabilir genel üstel düzeltme modeli, doğrusal olmayan havaya duyarlı yük bileşeni modeli ve uyarlanabilir otoregresif modeli içeren hibrit modelleme teknikleridir. Huang ve Huang [69] kısa vadeli yük tahmini problemlerini çözmek için genetik algoritma tabanlı çok katmanlı algılayıcı kullanan yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Sinir ağı öğrenme performansının iyileşmesi için genetik algoritmaların optimizasyon yeteneklerinin kullanıldığı yöntem Tayvan Elektrik Şirketi'nden alınan yük verileri üzerinde test edilmiştir. Rahman ve Hazim [70] kısa vadeli yük tahmini için bölgeden bağımsız uzman sistem tabanlı bir teknik kullanmıştır. Yük, parametrelendirilmiş bir kural tabanı ve bir parametre veri tabanı kullanılarak modellenmiştir. Bu teknik ABD'deki 6 farklı bölgeden gelen veriler kullanılarak test edilmiştir. Lee vd. [71] elektrik talebinin uzun vadeli tahmini için yeni bir metodoloji olarak genetik programlama modeli önermişlerdir. Nüfus ve GSYİH değişkenleri bağımsız değişkenler olarak kullanılmıştır. Modeli değerlendirmek için, Kore'de elektrik enerjisi talebinin tahmini üzerine bir vaka incelemesi yoluyla önerilen model regresyon modeli ile karşılaştırılmıştır. Kiartzis vd. [72] kısa vadeli yük tahmini için yapay sinir ağı ve iki doğrusal regresyonun kombinasyonu ile koşullu olasılık kavramlarına dayanan Bayes kombine yöntemini geliştirmişlerdir. 1994 yılı boyunca Girit adasının Yunan Kamu Kuruluşları sevk merkezi için elde edilen tahmin sonuçlarına göre önerilen yöntemin hem yapay sinir ağı hem de doğrusal regresyon tahminlerinden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Mohamed vd. [73] Mısır'da saatlik yük tahmini için yapay sinir ağı yaklaşımını uygulamışlardır. Çok katmanlı yapay sinir ağı yapısı geri yayılım öğrenme tekniği kullanılarak tasarlanmıştır. Hobbs vd. [74] ABD'de 19 elektrik ve 5 doğal gaz kuruluşu tarafından kısa vadeli enerji tahmini için kullanılan yapay sinir ağları yaklaşımının doğruluk ve ekonomik değer açısından değerlendirmesini yapmışlardır. Chavez vd. [75] İspanya'nın Asturias bölgesinde gelecekteki elektrik tüketimi, endüstriyel elektrik tüketimi, siyah kömür üretimi, antrasit üretimi ve kömür enerji santrallerinde elektrik üretimini tahmin etmek için tek değişkenli ARIMA modellerini kullanmışlardır. Kodogiannis ve Anagnostakis [76] Girit adasının güç sistemi için RBF ağları, dinamik sinir ağları ve bulanık tipli sinir ağlarının dahil olduğu sinir ağı tabanlı kısa vadeli elektrik yükü tahmin modelleri geliştirilmişlerdir. Geleneksel geri yayılım ağ tahmin modelleriyle karşılaştırıldığında

geliştirilen modellerin daha doğru tahminler sağladığı görülmüştür. Darbellay ve Slama [77] 1994-1995 yıllarında saatlik aralıklarla ölçülen Çek Cumhuriyeti elektrik yükü zaman serisinin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan bağımlılık yapısını analiz ederek doğrusal olmayan modellerin (yapay sinir ağları) öngörülerini lineer modellerle (ARMA tipinde) karşılaştırmışlardır. Yao vd. [78] dalgacık dönüşümü ve sinir ağlarını birleştirerek kısa vadeli elektrik yükü öngörümü için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Yükü analiz etmek, ayrıştırmak ve birleştirmek için dalgacık dönüşümü; yükü yaklaşık olarak tahmin etmek için de RBF sinir ağı kullanılmıştır. Tamimi ve Egbert [79] daha kısa sürede daha kesin bir yük tahmini için yapay sinir ağı ile bulanık mantık uzman sistemini entegre etmişlerdir. Bulanık mantık modülü ile hava durumu parametreleri arasındaki günlük doğrusal olmayan ilişki ve günlük pik elektrik yükü üzerindeki etkileri haritalandırılmıştır. Jia vd. [80] yeni bir dinamik teori olan Genel Simülasyon (GSIM) teorisine dayanan esnek uzun vadeli bir yük tahmin yöntemi sunmuşlardır. Yük talebini etkileyen faktörlerin ilişkileri fonksiyonel formüller tarafından tanımlanan fonksiyonel ilişkilere ve etki matrisi tarafından tanımlanan etki ilişkilerine bölünmüştür. Böylece iki tür mantıksal ve sezgisel bilginin aynı anda ve bütün olarak ele alınabilmesi sağlanmıştır. Tokyo’da 20 yılın maksimum gün yükü ve ortalama geçmiş yük verilerinin kullanıldığı uygulama çoklu doğrusal regresyon sonuçları ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha üstün olduğu gösterilmiştir. Persaud ve Kumar [81] Kanada’nın petrol ve gaz üretimini etkileyen değişkenler ve bu değişkenler arasındaki ilişkilere odaklanarak 2020 yılı petrol ve gaz arzı için ulusal enerji görünümüne yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Kanada doğal kaynaklarda kullanılan petrol ve gaz tahmin metodolojisi açıklanarak bu yaklaşımın güçlü ve zayıf yanları değerlendirilmiştir. Saab vd. [82] Lübnan’da aylık elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmek için otoregresif (AR), ARIMA ve AR ile üst geçim filtresini birleştiren yeni bir yapılandırma kullanmışlardır. Bu tek değişkenli modellerin oluşturulmasında Ocak 1990 ile Mayıs 1998 arasındaki veriler kullanılmıştır. Zhang ve Dong [83] kısa vadeli yük tahmini için MLP sinir ağı-dalgacık modeli önermişlerdir. MLP’nin boyutu Otomatik Uygunluk Belirleme tabanlı Bayes tekniği ile seçilmiştir. Önerilen hibrit tahmin modeli Avustralya elektrik piyasası veri serileri ile test edilmiştir. Liang ve Cheng [84] Tayvan’da kısa vadeli yük tahmini için bulanık sistem ile birleştirilmiş yapay sinir ağı yaklaşımı önermişlerdir. Öngörülen yük modeline benzer iki geçmiş yük modelini seçmek için Pearson analiz yöntemi uygulanmıştır. Kermanshahi ve Iwamiya [85] 2020 yılına kadar Japonya’nın uzun vadeli elektrik yük

tahmini için üç katmanlı geri yayımlı ve tekrarlayan sinir ağını tasarlayarak test etmişlerdir. Önerilen yapay sinir ağı yaklaşımında girdi olarak GSMH, GSYİH, nüfus, hane halkı sayısı, klima sayısı, CO₂ kirliliği miktarı, sanayi üretimi endeksi, petrol fiyatı, enerji tüketimi, elektrik fiyatı seçilmiştir. Kalaitzakis vd. [86] kısa vadeli elektrik yükü tahmini için Gauss kodlama geri yayılımı, pencere rasgele aktivasyonu, RBF ağları, gerçek zamanlı tekrarlayan sinir ağları ve bunların yenilikçi varyasyonları gibi çeşitli yaklaşımlar önermişlerdir. Ayrıca 24 saat önceden öngörme için paralel bir işleme yaklaşımı önerilmiş ve uygulanmıştır. Bu prosedüre göre, her bir saat için istenen yük, yalnızca önceki günlerden bu belirli saat için yük zaman serisini kullanarak değil, aynı gün için önceki daha yakın zaman adımlarının tahmin edilen yük verilerini kullanarak öngörülür. Böylece, kabul edilebilir doğrulukta yük tahminleri hava durumu verilerine ihtiyaç duymadan elde edilmiştir. Hsu ve Chen [87] Tayvan'ın bölgesel pik yükünü tahmin etmek için yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Önerilen modelin girdilerini GSYİH, bölgesel nüfus ve bölgesel en yüksek sıcaklık oluşturmaktadır. Hsu ve Chen [88] gri tahmin modelinin doğruluğunu artırmak için yapay sinir ağı işaret tahminleri ile artık modifikasyonu birleştiren bir teknik kullanmışlardır. Geliştirilen gri model Tayvan'ın enerji talebini tahmin etmek için uygulanmıştır. Yao vd. [89] çok kısa vadeli bir elektrik talebini tahmin etmek için gri tabanlı bir tahmin algoritması sunmuşlardır. Dönüştürülmüş gri modeli ve ortalama sistem eğimi kavramı uygulanarak genel gri modelinde meydana gelen enerji kaybı ikilemleri ve hedefi aşma durumları ortadan kaldırılmış ve tahmin önemli ölçüde geliştirilmiştir. Fu ve Nguyen [90] enerji talebinin uzun vadeli tahmini için bir dizi matematiksel modelin doğruluğunu değerlendirmiş ve bu modelleri geliştirmişlerdir. Araştırma sonuçları, regresyon analizine dayanan klasik bir ekonometrik modele dalgacık fonksiyonları eklenmesi ve sıcaklık değişkenlerinin dahil edilmesiyle tahminlerin doğruluğunda önemli gelişmelere ulaşıldığını göstermiştir. Vellasco vd. [91] kısa vadeli yük tahmini için üç sistem tasarlamış ve test etmişlerdir. Bunlar; hibrit yöntemlerle karşılaştırma yapmak amacıyla basit sinir ağlarına dayanan bir sistem, hiyerarşik bir nöro-bulanık sistem ve nöro-bulanık bir sistemin sinir ağı tarafından sağlanan sonucu iyileştirmesinin mümkün olup olmadığını değerlendirmek amacıyla bir hibrit sinir ağı/nöro-bulanık sistemdir. Brezilya'da yapılan vaka çalışmasına bağlı olarak, sinir ağları ile karşılaştırıldığında, yük tahmini için önerilen nöro-bulanık ve sinir ağı/nöro-bulanık modellerin MAPE oranları %0,44 ile %1,95 arasında değişmiştir. Al-Kandari vd. [92] kısa vadeli elektrik yükü tahmininde yaz ve kış mevsimleri için bulanık doğrusal regresyon modeli

geliştirmişlerdir. Model Kanada’da 1994-1995 yılları saatlik yük ve saatlik kuru termometre sıcaklıkları, rüzgar hızı, nem oranı verileri kullanılarak test edilmiştir. Birinci testte, yükün berrak ve yük modeli parametrelerinin bulanık olduğunu; ikinci testte, yükün yanı sıra yük modeli parametrelerinin de bulanık olduğunu varsayılmıştır. Carpinteiro vd. [93] kısa vadeli yük tahmini problemi için yeni bir hiyerarşik sinir ağı modeli önermişlerdir. Sinir ağı modeli iki öz düzenleyici harita ağından oluşmuştur. Brezilya’da bir elektrik şirketinden alınan yük verileri üzerinde eğitilen model MLP yük tahmincisi ile karşılaştırılmıştır. Liao ve Tsao [94] Tayvan’da kısa vadeli günlük yük tahmini için evrimsel programlama ve benzetimli tavlama ile iki katmanlı bir bulanık sinir ağı önermişlerdir. Bulanık hiperdörtgen kompozit sinir ağlarıyla yapılan ilk yük tahmininde parametrelerin optimal çözümünü bulmak için evrimsel programlama ve benzetimli tavlama kullanılmıştır. Pai ve Hong [95] yıllık elektrik yükü tahmininde destek vektör makinelerinin benzetimli tavlama algoritması ile kullanıldığı yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Benzetimli tavlama algoritmaları, destek vektör makineleri modelinin parametrelerini seçmek için kullanılmıştır. Tayvan'dan gelen elektrik yük verileriyle test edilen modelin ARIMA ve genel regresyon sinir ağları modellerinden daha iyi performans sergilediği gösterilmiştir. Dong vd. [96] destek vektör makinelerini tropik bölgede bina enerji tüketimini tahmin etmek için kullanmışlardır. Girdi olarak aylık ortalama bina dışındaki kuru hava sıcaklığı, bağıl nem ve küresel güneş radyasyonu verileri alınmıştır. Ayrıntılı vaka incelemeleri için Singapur’da merkezi iş alanında bulunan ofis binalarından rastgele dört ticari bina seçilmiştir. Gonzalez ve Zamarreno [97] binalarda kısa vadeli yük tahmini için çıktıların bir kısmında geribildirim olduğu ve hibrit bir algoritma ile eğitilen yapay sinir ağına dayalı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Hem güncel hem de öngörülen sıcaklık değerleri, yük ve zaman girdi olarak kullanılmıştır. Pai ve Hong [98] elektrik yükünü tahmin etmek için genetik algoritmalarla tekrarlayan bir destek vektör makineleri modeli önermişlerdir. Genetik algoritmalar, destek vektör makinelerinin serbest parametrelerini belirlemek için kullanılmıştır. Tayvan elektrik yük verileriyle test edilen modelin yapay sinir ağı ve regresyon modellerinden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Lopes vd. [99] Brezilya’da elektrik yük tahmini problemine Uyarlanabilir Rezonans Teorisi (ART) tabanlı bulanık ART ve bulanık ARTMAP modüllerinden oluşan bulanık ART&ARTMAP sinir ağını uygulamışlardır. ART&ARTMAP sinir ağı geri yayımlı sinir ağıyla karşılaştırıldığında, sonuçların kalitesinde iyileşme ve işlem süresinde kısalma olduğu görülmüştür. Zhou vd. [100] geleneksel gri modeli ile Çin’in elektrik

talebini tahmin etmek için trigonometrik artık modifikasyon tekniğini birleştiren bir trigonometrik gri tahmin yaklaşımı sunmuşlardır. Önerilen yaklaşım, gri modelinin tahmin doğruluğunun iyileştirilmesine yardımcı olur ve uygun bir gri tahmini aralığının elde edilmesini sağlar. Tsekouras vd. [101] Yunan enerji sistemi ve çeşitli müşteri kategorileri için orta vadeli yıllık enerji talebinin tahmininde parametrelerin optimizasyon işlemi ile seçildiği uyarlanabilir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Yang ve Li [102] Çin'in elektrik talebini etkileyen faktörleri analiz ederek enerji talep tahmini için optimize edilmiş sinir ağını genetik algoritma ile kullanmıştır. Önerilen yöntemin, optimal çözümü elde etme hızı yavaşlığı ve yerel optimal çözüme kolayca yakalanması gibi eksiklikleri önlediği görülmüştür. Kareem ve Majeed [103] SARIMA modelini Irak'taki Süleymaniye Valiliği için aylık pik-yük talebini tahmin etmek için kullanmıştır. Hor vd. [104] İngiltere'de günlük yük ve maksimum talep tahmini için ARIMA ve Genelleştirilmiş Otoresresif Koşullu Değişen Varyans (GARCH) modellerini kullanmışlardır. Çalışmanın odak noktası, iklim değişikliğinin ve şiddetli hava olaylarının elektrik talebi modelleri ve elektrik şebekesi üzerindeki etkileridir. Gonzalez-Romera vd. [105] İspanya'da aylık elektrik talebi değişkenliklerinin, ekonomik ve teknolojik gelişmelerin etkisi ile artan bir eğilim gösterdiğini ve aydan aya değişen talebin neden olduğu dalgalanmanın bu eğilimin içine yerleştirilmiş olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada sinir ağları ile hem elektrik talebi eğiliminin hem de dalgalanmanın ayrı ayrı tahminleri gerçekleştirilmiştir. Fong vd. [106] sistem dinamiği modelini kullanarak, 50 yıllık bir periyot boyunca Asya kenti Johor Bahru'nun kentsel enerji tüketimi eğilimlerini entegre bir yaklaşıma dayalı olarak 7 farklı senaryo altında incelemişlerdir. Kentsel enerji tüketiminin itici gücü ve temel unsurlarını kavrayarak kentsel enerji tasarrufu araştırmalarında gelecekteki yönergeler önceliklendirilmiştir. Kentin en büyük enerji tüketen konut, ticaret, sanayi ve ulaştırma sektörleri kentsel enerji tüketimi modelinin dört alt modeli olarak alınmıştır. Gonzalez-Romera vd. [107] tarafından yapılan bu çalışmada İspanyol aylık elektrik talebi serisinin periyodik davranışı incelenmiştir. Eğilim bir sinir ağı ile tahmin edilirken periyodik davranış Fourier serisi ile tahmin edilmiştir. Önerilen bu yeni hibrit yaklaşım sonuçlarının aynı amaç için yalnızca sinir ağları veya ARIMA kullanıldığında elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu görülmüştür. Zhang ve Wang [108] Çin'in Liaoning şehrindeki yıllık elektrik talebini tahmin etmek için geri yayımlı sinir ağlarına ve parçacık sürü optimizasyonuna dayanan tahmin modelleri önermişlerdir. Wang ve Meng [109] gri tahmin yöntemi ve Markov zinciri tahmin yönteminin avantajlarını birleştirerek rasgele

dalgalanma verisinin tahmin hassasiyeti üzerindeki etkisini gidermeye çalışmışlardır. Çin'in Şanghai şehrinde yapılan bir uygulama örneğinde Gri-Markov modelinin hassasiyetinin elektrik enerjisi talep tahmininde gri modelden daha iyi olduğu gösterilmiştir. Hongyan vd. [110] Çin'in uzun vadeli elektrik talebini tahmin etmek için RBF sinir ağı-gri tabanlı bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Zhao ve Magoules [111] Paris-Orly'de bulunan ofis kullanımlı birden çok binanın enerji tüketimini tahmin etmek için Gauss çekirdeği ile destek vektör makineleri yöntemini uygulamışlardır. Model eğitim sürecini hızlandırmak için destek vektör makinelerinin paralel bir uygulaması kullanılmıştır. Elias ve Hatziaargyriou [112] Yunan enerji sisteminde ve altı müşteri kategorisinde orta vadeli enerji tahmini için yeni bir bulanık mantık yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem aday girdi değişkenlerini uygun olarak fark veya göreceli farklara dönüştürmüş ve değişkenler korelasyon analizi yoluyla seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, standart regresyon yöntemlerinin ve yapay sinir ağlarının uygulanmasından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Tsekouras vd. tarafından yapılan çalışma ile yakın sonuçlar elde edilmiştir. Wang [113] Çin'in Wenzhou şehrinde elektrik enerjisi tüketim trendini tahmin etmek için gri tahmin modelleri ve çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kombinasyonu olan bir yöntem sunmuştur. Bu çalışmada farklı yıllarda Wenzhou'nun elektrik enerjisi tüketim fazı özelliklerini anlamak için küme analizi ve diskriminant analizi gibi çok değişkenli istatistiksel teknikler uygulanmıştır. Setiawan vd. [114] vektör regresyonunu kullanarak Avustralyalı bir elektrik operatörü için çok kısa vadeli elektrik yükü talebini tahmin etmişlerdir. Önerilen bu yeni yaklaşımın geri yayımlı sinir ağlarından daha umut verici bir yaklaşım olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ohtsuka vd. [115] Japonya'da bölgesel elektrik talebi ve bölgeler arasında uzamsal etkileşimi bir Bayes yaklaşımını kullanarak incelemişlerdir. Uzamsal otoregresif bir ARMA (SAR-ARMA) modeli önerilmiş ve modelin parametrelerini tahmin etmek için Markov zinciri Monte Carlo yöntemleri stratejisi oluşturulmuştur. SAR-ARMA modelinin avantajı, uzamsal heterojenliği ve uzamsal korelasyonu aynı anda elde etmek için kullanılabilmesidir. Garcia-Ascanio ve Mate [116] İspanya'da aylık elektrik talebini 2 yıl boyunca her saat tahmin edebilmek için aralık verilerini zaman serilerine dahil eden yeni bir tahmin yaklaşımı önermişlerdir. Aralık Zaman Serilerine uygulanan Vektör Otoregresif (VAR) tahmin modelleri ile aralık verisine uyarlanmış MLP modeli karşılaştırıldığında VAR modelinin daha iyi sonuçlar verdiğini görülmüştür. Pappas vd. [117] ARMA modelini kullanarak Yunan enerji sisteminde elektrik talep tahmin problemini incelemişlerdir.

Problemi yeniden formüle etmede çoklu model bölümlene filtresi kullanılmıştır. Önerilen yöntemin performansı Düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriteri, Akaike'nin Bilgi Kriteri ve Schwarz'ın Bayes Bilgi Kriteri gibi üç farklı zaman serisi analiz tekniğiyle karşılaştırılmıştır. Wang ve Li [118] Çin'in birincil enerji tüketimini tahmin etmek için yeni bir tahmin modeli olan en küçük kareler-destek vektör makineleri regresyon modelini önermişlerdir. Reel GSYİH, nüfus, sanayi yapısı, ithalat ve ihracat ve devlet harcamaları gibi ekonomik göstergeler enerji tüketimini etkileyen faktörler olarak seçilmiştir. Antoch vd. [119] fonksiyonel doğrusal regresyon yöntemiyle İtalya'nın Sardinya adasında elektrik tüketimini tahmin etmişlerdir. Fonksiyonel parametrenin bir B-spline (eğrisel çizgi) tahmincisi kullanılmıştır. Sigauke ve Chikobvu [120] Güney Afrika'da günlük pik elektrik talebi tahminleri için SARIMA, SARIMA-GARCH ve regresyon-SARIMA-GARCH modellerini geliştirmişlerdir. SARIMA-GARCH modeli, SARIMA modelinin hata teriminin varyansının bir GARCH sürecini takip ettiği modeldir. Regresyon-SARIMA-GARCH modeli ise haftanın günü, tatili ve aylık mevsimsellik etkilerini yakalayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu üç model arasında Regresyon-SARIMA-GARCH %1,42 MAPE değeriyle en iyi tahmin doğruluğunu veren model olmuştur. Chang vd. [121] Tayvan'da aylık elektrik talebi tahmininde Ağırlıklı Evrimleşen Bulanık Sinir Ağı (WEFuNN) geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, Evrimleşen Bulanık Sinir Ağı, Kasabov'un bulanık uzaklık fonksiyonunun farklı kurallara uygulanması yerine, her faktörün önemini hesaplamak için ağırlıklandırılmış faktörü benimseyerek WEFuNN'a modifiye edilmiştir. DeneySEL sonuçlara göre WEFuNN modeli için MAPE değeri %6,43 olarak bulunmuştur. Wadud vd. [122] kişi başına ve toplam enerji kullanımının çok düşük olduğu Bangladeş'te 2025 yılına kadar doğal gaz talebinin nasıl gelişeceğini anlamaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Hem ulusal düzeyde hem de birkaç alt sektörde doğal gaz talebini anlamak için toplam GSYİH ve kişi başına düşen GSYİH-nüfusun dahil edildiği iki dinamik ekonometrik model geliştirilmiştir. Wang vd. [123] Avustralya'nın Yeni Güney Galler eyaletinde elektrik yük talebinin tahmini için kaotik zaman serileri yöntemini parçacık sürü optimizasyonu ve eğilim ayarlama ile birleştiren yeni bir yöntem uygulamışlardır. Bu çalışmada, doğrusal olmayan özellikleri hesaba katmak için Ağırlıklı En Büyük Lyapunov Üs Tahmin Yöntemi (WLLEF) önerilmiştir. Parçacık sürü optimizasyon algoritması, WLLEF'in optimal ağırlık parametrelerinin belirlenmesinde ve eğilim ayarlaması, WLLEF'in tahmin hassasiyetini iyileştirmek için mevsimsel etkilerinin hesaba katılmasında kullanılmıştır. Yang vd. [124] Çin'in enerji talep tahmin problemi

için kaba küme veri önışlemlerine dayanan bir destek vektör makineleri modeli geliştirmişlerdir. Kaba küme, koşul niteliklerini azaltmak ve daha sonra tahmin için gereksiz nitelikleri ortadan kaldırmak için kullanılmıştır. Zhao vd. [125] Çin’de demir ve çelik endüstrisinin enerji tüketimi için dalgacık sinir ağı-genetik algoritmaya dayanan tahmin modeli oluşturmuşlardır. Vaudreuil vd. [126] sistem dinamiğı modeliyle ABD’nin Montachusett bölgesi enerji talebini inceleyerek nüfus, bölgesel hizmetler, bölgesel çekicilik ve kullanılan alan gibi farklı değışkenlerin enerji talebi üzerindeki etkisini göstermişlerdir. Wang vd. [127] elektrik talebi tahmininde SARIMA tahmin hassasiyetini artırmak amacıyla SARIMA’nın artık hatalarını modifiye etmek için parçacık sürü optimizasyonu-optimize edilmiş Fourier yaklaşımını uygulamışlardır. Geliştirilen modelin tahmin yeterliliğini ölçmek için Çin’de kuzeybatı elektrik şebekesinin 2006-2010 elektrik verileri ile yapılan çalışmada MAPE değıeri %2,19 olarak bulunmuştur. Ansari ve Seifi [128] İran’da en enerji yoğun endüstri sektörü olan demir-çelik endüstrisinde çelik talebi, üretimi ve enerji tüketimini entegre bir çerçevede analiz etmek için bir sistem dinamiğı modeli sunmuşlardır. Çelik endüstrisindeki petrol, gaz ve elektrik tüketimleri 2030 yılına kadar yeni enerji fiyatları dikkate alınarak farklı çelik üretimi ve ihracat senaryoları altında tahmin edilmiştir. Aranda vd. [129] tarafından yapılan çalışmada İspanyol bankacılık sektöründe enerji tüketiminin regresyon analizi sunulmuştur. Modeller, 55 bankadan alınan test verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada bir banka şubesinin enerji tüketimini yapı özellikleri, iklim alanı ve enerji performansının bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için üç regresyon modeli kullanılmıştır. Kazemi vd. [130] sosyo-ekonomik göstergeler kullanarak 2011-2020 yıllarında İran’da sanayi sektöründe enerji talebi tahmini için çok seviyeli bulanık lineer regresyon modelini uygulamışlardır. Akhwanzada ve Tahar [131] elektrik talebi tahmini için kişi başına nüfus ve elektrik tüketimi değışkenlerini kullanarak sistem dinamiğı metodolojisine dayanan bir simülasyon geliştirmişlerdir. Geliştirilen simülasyon modeliyle mevcut tüketim hızında ve nüfus artışında 2011-2022 yıllarında Malezya’nın yıllık toplam elektrik enerjisi ihtiyacı tahmin edilmiştir. Saravanan vd. [132] 2011-2020 yıllarında Hindistan’da yıllık elektrik tüketimini tahmin etmek için yapay sinir ağı yaklaşımını uygulamışlardır. Nüfus ve kişi başı GSYİH girdi değışkenleri olarak alınmıştır. Adika ve Wang [133] konutlarda kısa vadeli yük tahmini için parçacık sürü optimizasyonuna dayalı bulanık çıkarım yaklaşımı sunmuşlardır. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması bulanık sistemin üyelik fonksiyonlarını optimize etmek için kullanılmıştır. Bu araştırmada kullanılan simülasyon verileri, 2010

yılı haziran ayı boyunca ABD'nin Kaliforniya eyaletinde saatlik hane halkı yükü tüketimi verileridir. Feng vd. [134] 1998-2006 yılları gerçek enerji tüketimi istatistiklerine dayanarak Çin'in toplam enerji, kömür enerjisi ve temiz enerji tüketimleri için gri tahmin modeli oluşturmuşlardır. Wu ve Xu [1] Çin'in Sichuan eyaletinde doğal ve kültürel bir miras alanı olan Leshan şehrinin enerji tüketimi ve CO₂ emisyonlarının tahmini için entegre bir sistem dinamiği ve bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı sunmuşlardır. Ekonomi, nüfus, enerji ve çevre alt sistemleri arasındaki ilişkileri analiz etmek için genel bir sistem dinamiği modeli, belirsizlikleri gidermek ve sistemdeki parametreleri optimize etmek için de bulanık çok amaçlı bir programlama modeli kullanılmıştır. Ansari ve Seifi [135] İran endüstrisinde toplam enerji tüketiminin %15'ini oluşturan altı enerji yoğun endüstriden biri olan çimento endüstrisinde enerji tüketimi ve CO₂ emisyonunu analiz eden bir sistem dinamiği modeli sunmuşlardır. Çimento endüstrisinde tüketilen doğal gaz, akaryakıt ve elektrik, yeni enerji fiyat rejimi dikkate alınarak çeşitli üretim ve ihracat senaryoları altında 2030 yılına kadar öngörülmüştür. An vd. [136] elektrik talep tahmini için çok çıktılı ileri beslemeli bir sinir ağı ile deneysel mod ayrıştırması tabanlı sinyal filtreleme ve mevsimsel ayarlamayı birleştiren yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu çalışmada Avustralya Yeni Güney Galler'de sekiz hafta boyunca yarım saatlik elektrik talebi verileri kullanılarak sonraki haftanın elektrik talebi tahmin edilmiştir. Avila vd. [137] bulanık tahmin yöntemlerini Şili Huatacondo'daki yenilenebilir enerji tabanlı mikro şebekenin talebini tahmin etmek için kullanmışlardır. Huatacondo'daki neredeyse değişken olmayan hava koşullarından dolayı modelde girdi olarak sadece geçmiş talep kullanılmıştır. Önerilen kararlı Takagi&Sugeno bulanık modeli uyarlanabilir sinir ağı ile karşılaştırıldığında bulanık modelin daha iyi tahmin yeteneğine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. El-Qahtani ve Crone [138], İngiltere'de 24 saatlik elektrik talebini tahmin etmek için çok değişkenli k-en yakın komşu regresyonunu kullanmışlardır. Ayrıca bu çalışmada tahmin edilen günün iş veya iş dışı bir gün olarak kategorize edilmesi için ikinci bir özellik olarak ikili kukla değişkenleri kullanılmıştır. Shang [139] Güney Avustralya'da çok kısa vadeli elektrik talebini tahmin etmek için bir takım fonksiyonel modelleme ve tahmin yöntemleri sunmuştur. Önerilen yaklaşımda mevsimsel tek değişkenli zaman serileri eğrilerin zaman serisine ayrılmıştır. Regresyon teknikleri ve tek değişkenli zaman serileri tahmin yöntemi kullanılmadan önce fonksiyonel temel bileşen analizi uygulanmıştır. Najjar [140] ABD'nin Colorado eyaletinde yer alan Pueblo ilçesinde enerji talebini tahmin etmek için demografik, konut, arazi kullanımı, bölgesel çekicilik,

bölgesel iş çekiciliği, işletmeler ve enerji bölümlerini kapsayan bir sistem dinamiği modeli geliştirmiştir. Feng vd. [141] 2005-2030 yılları arasında Çin'in başkenti Pekin'in enerji tüketimi ve CO₂ emisyonu eğilimlerini modellemek için bir sistem dinamiği modeli geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlarla Pekin'in gelecekteki enerji planlaması ve politika oluşturma yönergeleri için önemli bilgiler sağlanmıştır. Ayrıca kentsel enerji tasarrufu ve karbon emisyon azaltımı için olası öneriler sunulmuştur. Rodger [142] kamu binalarında enerji maliyet tasarrufunu gerçekleştirmek amacıyla doğal gaz talep tahmini problemini ele almıştır. Bulanık bir en yakın komşu sinir ağı istatistiksel modeli regresyon, bulanık mantık, en yakın komşu ve sinir ağlarıyla karşılaştırılarak uygulanmıştır. Xiong vd. [143] Pennsylvania-New Jersey-Maryland ara bağlantı birimindeki aylık aralık değerli elektrik talebini saat başı tahmin etmek için iki değişkenli deneysel mod ayrıştırması tabanlı destek vektör regresyonunu uygulamıştır. Önerilen yaklaşımla hem alt hem de üst sınır zaman serileri aynı anda ayrıştırılabilmektedir. Braun vd. [144] kuzey İngiltere'deki bir süpermarketin 2030-2059 yıllarında gaz ve elektrik tüketimini tahmin etmek için çoklu regresyon analizini kullanmışlardır. Bu analizde elde edilen denklemlerin oluşturulmasında kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemden elde edilen nem oranı, gerçek kuru hava sıcaklığı ile bağlantılı olarak kullanılmıştır. Robalino-López vd. [145] enerji matrisindeki ve GSYİH'daki değişikliklerin CO₂ emisyonlarını nasıl etkileyeceğini ayrıntılı olarak incelemek amacıyla Kaya kimliğinin varyasyonu olan bir ilişkiye dayalı sistem dinamiği modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Ekvator'da 2020 yılına kadar enerji tüketimi, GSYİH ve CO₂ emisyonları tahmin edilmiştir. Hassani vd. [146] ABD'nin Yeni İngiltere bölgesinde kısa vadeli elektrik talebi tahminleri için karşılıklı bilgi temelli girdi seçim algoritmasına sahip özbenzeş bir yerel nöro-bulanık model önermişlerdir. Önerilen model, her biri yerel doğrusal nöro-bulanık bir model olan bazı yerel modellerden ve bunların ilgili geçerlilik fonksiyonlarından oluşmuştur. Mtembo vd. [147] Zimbabve'de elektrik talebini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon ekonometrik modeli önermişlerdir. GSYİH, Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE), sıcaklık ve nüfus pik talep için etkili faktörler olarak değerlendirilmiştir. Talep ve fiyat tahminlerinin ayrı ayrı yapıldığı çoğu çalışmanın aksine Voronin ve Partanen [148] elektrik talep ve fiyatını aynı anda öngören bir model sunmuşlardır. Dalgacık dönüşümleri, ARIMA modelleri ve sinir ağlarının birleşimi hibrit model Finlandiya enerji piyasasında saatlik verilerle elektrik talebini ve fiyatını tahmin etmek için uygulanmıştır. Vu vd. [149] aylık elektrik talep tahmini için en uygun değişkenleri

seçmek ve çoklu regresyon modeli geliştirmek için çoklu doğrusal bağlantı ve geri eleme süreçlerini kullanmışlardır. Avustralya'da Yeni Güney Galler eyaletinden elde edilen verilerle yapılan çalışmada sıcaklık, nem ve yağışlı gün gibi iklim değişkenlerinin ağırlıklı olarak elektrik talebini etkilediği ve önerilen modelin çok düşük tahmin hatasıyla elektrik talebini öngörebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Liu vd. [150] 2020 yılına kadar Çin'de enerji tüketimi, brüt CO₂ emisyonu ve CO₂ emisyon yoğunluğunu tahmin etmek için sistem dinamiği yaklaşımını kullanmışlardır. Enerji sistemi ve yenilenebilir enerji politika faktörleri ile birlikte, farklı ekonomik büyüme oranları ve politika faktörlerinin enerji tüketimi üzerindeki etkileri tahmin edilmiştir. Sonuçlar, Çin'in farklı senaryolarda 2020 CO₂ emisyon azaltma hedefine ulaşma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermiştir. Efendi vd. [151] Malezya'daki günlük elektrik talebini öngörmek için bulanık bir zaman serisinin dilbilimsel örneklem dışı yaklaşımını önermişlerdir. Bulanık mantıksal ilişkilerin ağırlıkları, öngörmedeki sapmayı gidermek için belirlenmiştir. Nazari vd. [152] İran'ın konut ve ticaret sektörlerinde enerji talebini tahmin etmek için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını ve genetik algoritmayı karşılaştırmışlardır. Doğrusal ve üstel formda geliştirilen enerji talep tahmini modellerinden parçacık sürü optimizasyonu üstel modelinin en düşük MAPE değerini elde ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Xiao vd. [153] Çin hükümetinin 2020'de karbon yoğunluğunu 2005'e oranla %40-45 azaltmaya yönelik belirlediği hedefi dikkate alarak Çin'de enerji tüketimi, CO₂ emisyonu ve azaltma seçeneklerini araştırmışlardır. Bu amaçla oluşturdukları sistem dinamiği modeliyle dört farklı senaryoda CO₂ emisyonları ve karbon yoğunluğu incelenmiştir. Barak ve Sadegh [154] İran'da yıllık enerji tüketimini 3 farklı yapıdaki ARIMA-ANFIS hibrit modellerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Liu vd. [155] gri sinir ağı ve girdi-çıktı analizinin birleşimi olan bir tahmin modeli geliştirerek İspanya'nın 36 alt sektörü tarafından tüketilen kömür, ham petrol, doğal gaz, yenilenebilir ve nükleer enerji miktarlarını üç farklı GSYİH büyüme senaryosuna göre tahmin etmişlerdir. Sisodia vd. [156] Hindistan'da enerji talebinin yerine getirilmesiyle ilgili yaptıkları ön çalışmada güneş enerjisinin sürdürülebilir kullanımı için politik çıkarıma sahip sistem dinamiği temelli varsayimli bir yapı önermişlerdir. Çalışmada yer alan nedensel döngü diyagramında yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi, yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretildiğinde oluşan enerji açığı, enerji açığının tamamlanmasında güneş enerjisi üretimi için birçok faktörün bağımlılığı gösterilmiştir. Galvan vd. [157] güneş enerjisi tahmin aralıkları için MLP sinir ağı ile çok amaçlı bir evrimsel yaklaşım önermişlerdir. En iyi

tahmin aralıkları için aralığın kapsama olasılığının belirli bir hedef değere olabildiğince yakın olması ve belirsizliği sınırlamak için aralıkların dar olması gerektiğinden önerilen model ile iki amacın da aynı anda optimize edilmesi sağlanmıştır. Zeng vd. [158] uyarlanabilir diferansiyel gelişim algoritması ile tahmin performansı desteklenen geri yayımlı sinir ağı hibrit modelini elektrik enerjisi tüketim tahmini için geliştirmişlerdir. Girdi olarak GSYİH, nüfus, ithalat ve ihracat verilerini içeren hibrit modelin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu test etmek için veri setlerinin Türkiye’den alındığı karşılaştırmalı bir örnek ile Amerika ve Çin’den veri setleriyle iki geniş çaplı örnek uygulama yapılmıştır. He vd. [159] yeni ekonomik normali dikkate alarak elektrik talebini etkileyen faktörlerin kantitatif olarak analizini yapmış ve sistem dinamiğine dayanan uzun vadeli bir elektrik talep tahmin modeli önermişlerdir. Önerilen model Çin’in Tientsin şehrinde elektrik talebini tahmin etmek için kullanılmıştır. Yuan vd. [160] Çin’in 2030’a kadar enerji talebinin eyalet ve ulusal düzeylerdeki olasılık tahminleri için hiyerarşik bir Bayes yaklaşımını kullanmışlardır. Bu çalışmada bölgesel heterojenlik ve kesitsel bağımlılık göz önüne alınarak enerji tahmini için yapısal ilişkilerin belirsizlikleri modellenmiş ve enerji talebinin tahmini bir dağılımı belirlenmiştir. Tsai vd. [161] Çin’de yenilenebilir enerji tüketiminde büyüme trendlerini tahmin etmek için geçmiş verilerin küçük bir örneklem içermesi ve normal bir dağılım göstermemesi nedeniyle gri tahmin modellerini kullanmışlardır. Önerilen gri, doğrusal olmayan gri Bernoulli ve gri Verhulst modelleri karşılaştırıldığında doğrusal olmayan gri Bernoulli modelinin en yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğu görülmüştür. Mohanty vd. [162] güneş termal ve fotovoltaiklerin tasarımı için hayati bir önem taşıyan güneş radyasyonu tahmininin Hindistan’da uygulanması üzerine bir inceleme çalışması yapmışlardır. Ruiz vd. [163] kamu binalarındaki enerji tüketiminin tahmini için Elman sinir ağı ve yapay sinir ağının tahmin doğruluğunu iyileştirmek için bir genetik algoritma yaklaşımı önermişlerdir. Bu çalışmada İspanya’da Granada Üniversitesi’ndeki birkaç binanın günlük enerji tüketim verileri kullanılmıştır. Bugala vd. [164] Polonya’nın Poznan şehrinde fotovoltaik sistemlerde belirli bağımsız değişkenlerin üretilen elektrik enerjisi miktarı üzerindeki korelasyon ve etkisini analiz etmek için Pearson korelasyon katsayısı ve elektrik enerjisi üretiminin kısa vadeli tahmini için sinirsel modelleme yaklaşımını uygulamışlardır. Önerilen yapay sinir ağı modelinde girdi parametrelerini güneşli saat sayısı, günün uzunluğu, hava basıncı, maksimum hava sıcaklığı, günlük güneşlenme ve bulutluluk oluşturmuştur.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Nizami ve Al-Garni (1995)	Suudi Arabistan doğu bölgesi	Yapay sinir ağları	Aylık elektrik tüketimi	Önerilen model için ortalama karekök hatası (MSE) değeri 0,002 ve R^2 değeri 0,75'dir.
Huang ve Huang (1996)	Tayvan	Genetik algoritma-Yapay sinir ağları	Elektrik yükü	Önerilen modelde test ayları için ortalama hata yüzdesi %1,83 olarak hesaplanmıştır.
Rahman ve Hazim (1996)	ABD	Uzman sistemler	Elektrik yükü	Altı farklı bölgeden oluşan bir küme üzerinde test edilen modelin MAPE değerleri bir yıllık dönemde %1,23 ile %3,35 arasında değişmiştir.
Lee vd. (1997)	Kore	Genetik programlama yaklaşımı	Yıllık elektrik talebi	Önerilen modelin ortalama yüzde hata ve standart sapma değerleri %2,287 ve %1,964'tür.
Kiartzis vd. (1997)	Girit adası	Yapay sinir ağları-Doğrusal regresyona dayalı Bayes kombine yöntemi	Elektrik yükü	1994 Nisan-Haziran test periyodunda günün 24 saati için önerilen modelin toplam hata değeri %2,07'dir.
Mohamed vd. (1998)	Mısır	Yapay sinir ağları	Elektrik yükü	Eğitim ve değerlendirme için ortalama hatalar %0,18 ve %0,49 ve standart sapmalar da sırasıyla %2,32 ve %2,92'dir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Hobbs vd. (1998)	ABD	Yapay sinir ağları	Günlük elektrik yükü ve günlük gaz talebi	5 gaz kuruluşu için yapay sinir ağı tabanlı tahminlerde MAPE değeri %1,9'luk bir iyileşmeyle %6,4 olarak hesaplanmıştır. 19 elektrik kuruluşu için yapay sinir ağı tabanlı tahminlerin kullanımıyla yılda ortalama 800000 \$ tasarruf edilecektir.
Chavez vd. (1999)	İspanya Asturias bölgesi	ARIMA	Aylık ve yıllık elektrik tüketimi, endüstriyel elektrik tüketimi, siyah kömür üretimi, antrasit üretimi ve elektrik üretimi	Elektrik tüketimi, endüstriyel elektrik tüketimi, siyah kömür üretimi, antrasit üretimi ve kömür enerji santrallerinde elektrik üretimi için ARIMA modeli ortalama yüzde hata değerleri sırasıyla %1,57, %0,52, %2,76, %1,12 ve %2,71 olarak hesaplanmıştır.
Kodogiannis ve Anagnostakis (1999)	Girit adası	Yapay sinir ağları	Elektrik yükü	Nöro bulanık sinir ağı modelinin ortalama bağıl hata yüzdesi beş yıllık eğitim dönemi sonrası optimum değere yaklaşmaktadır.
Darbellay ve Slama (2000)	Çek Cumhuriyeti	Yapay sinir ağları ve ARMA	Elektrik yükü	Korelasyon analizi, Çek Cumhuriyeti için elektrik yükünün kısa vadeli gelişimini tahmin etmenin esas olarak doğrusal bir problem olduğunu önermektedir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Tamimi ve Egbert (2000)	ABD'nin Kansas eyaleti Wichita şehri	Yapay sinir ağları-Bulanık mantık	Elektrik yükü	Önerilen model yıllık ortalama %2,277 MAPE değeriyle yapay sinir ağları ve ARMA modellerinden daha üstün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Jia vd. (2001)	Tokyo	GSIM	Elektrik yükü	Önerilen modelin yıllık ortalama talep ve yıllık maksimum gün talebi tahmini için ortalama mutlak hata değerleri sırasıyla %0,89 ve %2,83'tür. Çoklu lineer regresyon modeli için sırasıyla %2,89 ve %4,52'dir.
Saab vd. (2001)	Lübnan	AR ile üst geçim filtresini birleştiren yeni bir yapılandırma	Aylık elektrik tüketimi	AR ile üst geçim filtresini birleştiren yeni bir yapılandırma modeli %4,64 ortalama mutlak hata değeriyle AR ve ARIMA modellerinden daha iyi sonuçlar sağlamıştır.
Kermanshahi ve Iwamiya (2002)	Japonya	Yapay sinir ağları	Yıllık pik elektrik yükü	Uzun vadeli yük tahmininde sonuç olarak, statünün korunması durumunda 2010 ve 2020 yılları için talepler sırasıyla 225,779 ve 249,617 GW olarak tahmin edilmektedir. Yapısal reformda ise 2010 ve 2020 yıllarındaki taleplerin 219,259 ve 244,508 GW olacağı öngörülmüştür.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Hsu ve Chen (2003)	Tayvan	Yapay sinir ağları	Yıllık elektrik pik yükü	Önerilen modelde MAPE değerleri kuzey, orta, güney ve doğu bölgelerinde sırasıyla %1,06, %1,73, %2,48, %3,62 olarak hesaplanmıştır.
Hsu ve Chen (2003)	Tayvan	Gri tahmin modeli	Yıllık enerji talebi	Gri modeli, ARIMA ve geliştirilmiş gri modelinin 1999'dan 2000 yılına kadar MAPE değerleri sırasıyla %3,88, %2,27 ve %1,29 olarak hesaplanmıştır.
Fu ve Nguyen (2003)	Avustralya	Geliştirilmiş ekonometrik model	Yıllık enerji talebi	Regresyon analizine dayanan klasik bir ekonometrik modele dalgacık fonksiyonları eklenmesiyle %1,86 MAPE değeri ve sıcaklık değişkenleri eklenmesiyle %0,59 MAPE değeri ile tahmin doğruluğunda önemli iyileşmeler görülmüştür.
Vellasco vd. (2004)	Brezilya	Nöro-bulanık sistem	Elektrik yükü	Yük tahmini için önerilen nöro-bulanık ve sinir ağı/nöro-bulanık modellerin MAPE değerleri %0,44 ile %1,95 arasında değişmiştir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Carpinteiro vd. (2004)	Brezilya	Yapay sinir ağları	Elektrik yükü	Kısa vadeli yük tahmini için önerilen yeni hiyerarşik sinir ağı modelinin belirli iki gün için MAPE değerleri %2,33 ve %2,03'tür. MLP modeline göre daha iyi tahmin sonuçları elde edilmiştir.
Liao ve Tsao (2004)	Tayvan	Bulanık sinir ağları- Evrimsel programlama- Benzetimli tavlama	Günlük elektrik yükü	MAPE iyileşme oranları; yapay sinir ağları-bulanık sistem %2,94, yapay sinir ağları-evrimsel programlama-bulanık mantık %7,11, yapay sinir ağları-evrimsel programlama-benzetimli tavlama %7,74, yapay sinir ağları-evrimsel programlama-bulanık sistem-benzetimli tavlama %16,8'dir.
Pai ve Hong (2005)	Tayvan	Destek vektör makineleri- Benzetimli tavlama algoritması	Yıllık elektrik yükü	MAPE değerleri; ARIMA %10,31 Genel regresyon sinir ağları %5,18 Destek vektör makineleri-Benzetimli tavlama algoritması %1,76'dır.
Dong vd. (2005)	Singapur	Destek vektör makineleri	Bina aylık enerji tüketimi	Dört farklı ticari binanın enerji tüketimi tahmin sonuçlarına göre varyans katsayısı %3'ten daha az ve yüzde hataları %4'ün içindedir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Pai ve Hong (2005)	Tayvan	Genetik algoritma-Tekrarlayan destek vektör makineleri	Elektrik yükü	Önerilen modelde MAPE değerleri kuzey, orta, güney ve doğu bölgeleri için sırasıyla %0,7498, %1,3026, %1,7530 ve %1,8955'dir.
Lopes vd. (2005)	Brezilya	ART tabanlı bulanık ART& ARTMAP sinir ağı	Elektrik yükü	Geleneksel geri yayımlı sinir ağı modeli MAPE değeri %1,80 iken önerilen bulanık sinir ağı modeli için bu değer %1,62'dir.
Zhou vd. (2006)	Çin	Gri modeli-Trigonometrik artık modifikasyon tekniği	Yıllık elektrik talebi	MAPE değerleri; Gri modeli %7,24 ARIMA %2,64 Trigonometrik gri modeli %2,37'dir.
Tsekouras vd. (2006)	Yunanistan	Uyarlanabilir yapay sinir ağı modeli	Yıllık enerji talebi	Üç tahmin yılı için ilgili MAPE değeri %0,72'dir. Aynı yıllar için müşteri kategorilerinden endüstri kategorisinde en yakın tahminler yapılmıştır.
Yang ve Li (2006)	Çin	Yapay sinir ağları-Genetik algoritma	Elektrik talebi	Geri yayımlı sinir ağları için hata kareleri toplamı 0,0254 iken önerilen model için bu değer 0,0037'dir.
Kareem ve Majeed (2006)	Irak	SARIMA	Aylık pik yük talebi	Önerilen model için MAPE değeri %1,235 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Hor vd. (2006)	İngiltere	ARIMA ve GARCH modelleri	Günlük elektrik yükü ve maksimum elektrik talebi	1999-2003 yılları her ay için MAPE değeri genellikle %1 ve %3 arasında değişmektedir.
Gonzalez-Romera vd. (2007)	İspanya	Yapay sinir ağları-Düzeltilme algoritması	Aylık elektrik talebi	Aylık talep ve dalgalanma tahminlerinde MAPE değeri yaklaşık %2 olarak hesaplanmıştır.
Fong vd. (2007)	Malezya'nın Johor Bahru şehri	Sistem dinamiği	Enerji tüketimi	Ekonomik büyüme oranı ve endüstriyel enerji tüketim oranının sürdürülebilirlik doğrultusunda kentsel enerji tüketimini minimize etmede temel unsurlar olduğu bulunmuştur.
Gonzalez-Romera vd. (2008)	İspanya	Yapay sinir ağları-Fourier serisi	Aylık elektrik talebi	Önerilen bu yeni hibrit model %2'den daha düşük MAPE değeriyle yalnız sinir ağları veya ARIMA kullanıldığında elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde etmiştir.
Zhang ve Wang (2008)	Liaoning, Çin	Yapay sinir ağları-Parçacık sürü optimizasyonu	Yıllık elektrik talebi	2000-2001 yılları hata oranları sırasıyla %1 ve %7'dir.
Wang ve Meng (2008)	Şanghai, Çin	Gri tahmin yöntemi-Markov zincirleri	Yıllık elektrik talebi	Gri modelinde 2005-2006 yıllarında tahmin doğruluğu yaklaşık %92 iken Gri-Markov modelinde bu oran %99'a çıkmıştır.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Hongyan vd. (2008)	Çin	Gri tahmin yöntemi- Yapay sinir ağları	Yıllık elektrik talebi	Gri tahmin modeli ile mutlak ortalama hata %10,73 iken Gri-RBF sinir ağı modeli ile bu oran %2,43'e düşürülmüştür.
Zhao ve Magoules (2009)	Paris Orly bölgesi	Gauss çekirdeği- Destek vektör makineleri	Bina saatlik enerji tüketimi	Birden çok binanın enerji tüketimi tahmininde destek vektör makinelerinin paralel ve ardışık uygulamalarının birbirine yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir.
Elias ve Hatziargyriou (2009)	Yunanistan	Bulanık mantık	Yıllık enerji talebi	Üç tahmin yılı için ortalama hata değeri %0,70'dir. Tsekouras vd. tarafından yapılan çalışma ile yakın sonuçlar elde edilmiştir.
Wang (2009)	Wenzhou, Çin	Gri tahmin modelleri ve çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kombinasyonu	Yıllık elektrik tüketimi	Orijinal gri modelinde 2004-2007 yılları için MAPE değeri %6,784 ve artık gri modelinde bu değer %47,257'dir.
Setiawan vd. (2009)	Avustralya Yeni Güney Galler eyaleti	Destek vektör regresyonu	Elektrik yükü	Önerilen model ile %1'den daha düşük MAPE değeri elde edilmiştir. Doğrusal regresyon ve en düşük kareler gibi daha basit modellerde de benzer doğruluk sonuçları elde edilmektedir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Ohtsuka vd. (2010)	Japonya	SAR-ARMA modeli	Aylık elektrik talebi	Tek değişkenli ARMA modeli ile karşılaştırıldığında, SAR-ARMA modeli altı aylık periyotta en yüksek günlük skora sahiptir.
Garcia-Ascanio ve Mate (2010)	İspanya	VAR tahmin modeli	Saatlik elektrik talebi	Aralık zaman serilerine uygulanan VAR ve MLP modelleri karşılaştırılmıştır.
Pappas vd. (2010)	Yunanistan	ARMA	Günlük elektrik talebi	Çoklu model bölümlleme filtresi kullanılan yeni model, Akaike'nin Bilgi Kriteri, Düzeltilmiş Akaike Bilgi Kriteri ve Schwarz'ın Bayes Bilgi Kriteri modellerinin 2006 yılı için MAPE değerleri sırasıyla %1,87, %2,35, %1,98 ve %2,11 olarak hesaplanmıştır.
Wang ve Li (2010)	Çin	En küçük kareler-destek vektör makineleri regresyon modeli	Yıllık birincil enerji tüketimi	Önerilen model için 1990-2008 yılları için en düşük ve en yüksek bağıl hata değerleri yaklaşık olarak %1,5 ve %5 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Antoch vd. (2010)	Sardinya adası	Fonksiyonel doğrusal regresyon yöntemi	Saatlik elektrik tüketimi	Spline (eğrisel çizgi) tahmincilerin kullanıldığı fonksiyonel doğrusal regresyon yönteminde bütün tahminciler hafta içi günlerde yaklaşık %3, hafta sonlarında ise yaklaşık %2 ortalama hatayla benzer davranış sergilemişlerdir.
Sigauke ve Chikobvu (2011)	Güney Afrika	SARIMA, SARIMA-GARCH ve regresyon-SARIMA-GARCH modelleri	Günlük pik elektrik talebi	SARIMA, SARIMA-GARCH ve regresyon-SARIMA-GARCH modelleri için MAPE değerleri sırasıyla; %1,47, %1,43 ve %1,42'dir.
Chang vd. (2011)	Tayvan	WEFuNN	Aylık elektrik talebi	Önerilen modelin MAPE değeri %6,43 olarak hesaplanmıştır.
Wadud vd. (2011)	Bangladeş	Ekonometrik model	Yıllık doğal gaz talebi	Düzeltilmiş R^2 değeri %0,998 olarak hesaplanmıştır. Model tahminlerinin önceki tahminlere göre daha büyük olması modelin dinamik yönünden ve daha büyük ama daha makul GSYİH büyüme oranı varsayımlarından kaynaklanmaktadır.
Wang vd. (2011)	Avustralya Yeni Güney Galler eyaleti	Kaotik zaman serileri yöntemi-Parçacık sürü optimizasyonu	Yarım saatlik elektrik yükü	Modelin ortalama mutlak bağıl hatası %2,48'dir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Yang vd. (2011)	Çin	Destek vektör makineleri-Kaba küme veri önişlemleri	Yıllık elektrik talebi	Önerilen modelde tüm toplumun elektrik tüketimi için ortalama mutlak hata oranının %14,21 olduğu ve yıllık maksimum yük için ortalama mutlak hata oranının %13,23 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Zhao vd. (2011)	Çin	Dalgacık sinir ağı-Genetik algoritma	Yıllık endüstriyel enerji tüketimi	Dalgacık sinir ağı modeli ortalama mutlak hata oranı %6,57 iken önerilen modelin %2,34'tür.
Vaudreuil vd. (2011)	ABD'nin Massachusetts eyaleti	Sistem dinamiği	Yıllık enerji talebi	İnsanların etkili enerji kullanımını nasıl yapacağını gösteren skorlama sistemi kullanılmıştır. En iyi sonuç akıllı büyüme; en kötü sonuç yol yapımıdır.
Wang vd. (2012)	Çin	SARIMA-Parçacık sürü optimizasyonu-optimize edilmiş Fourier yaklaşımı	Aylık elektrik talebi	Önerilen model için MAPE değeri %2,19 RMSE 4,91 olarak hesaplanmıştır.
Ansari ve Seifi (2012)	İran	Sistem dinamiği	Yıllık endüstriyel enerji tüketimi	Farklı senaryolarda ham çelik ve nihai çelik imalat miktarları analiz edilerek farklı enerji verimliliği senaryolarında petrol, gaz ve elektrik tüketimleri tahmin edilmiştir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Aranda vd. (2012)	İspanya	Regresyon analizi	Yıllık sektörel enerji tüketimi	Bankaların yıllık enerji tüketimini tahmin etmede kullanılan üç regresyon modelinde bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu olarak yanıt değişkeninin belirsizliği %56,8, %65,2 ve %68,5 oranında azalmıştır.
Kazemi vd. (2012)	İran	Bulanık lineer regresyon modeli	Yıllık endüstriyel enerji talebi	2004-2008 test verileri için modelin ortalama mutlak yüzde hatası %3,17 olarak hesaplanmıştır.
Akhwanzada ve Tahar (2012)	Malezya	Sistem dinamiği	Yıllık elektrik talebi	Simülasyon modeli, toplam elektrik talebinin yılda yaklaşık %4'lük bir artışla 2011'de 105 terawatt-saatten 2022'de 151,02 terawatt-saate yükseleceğini öngörmüştür. MAPE değeri %5'tir.
Saravanan vd. (2012)	Hindistan	Yapay sinir ağları	Yıllık elektrik tüketimi	1986, 2001, 2006 ve 2010 yılları için önerilen sinir ağı modeli MAPE değeri %1,0265 iken regresyon modeli için bu değer %2,5645'tir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Adika ve Wang (2012)	ABD'nin Kaliforniya eyaleti	Parçacık sürü optimizasyonu -Bulanık çıkarım yaklaşımı	Konutlarda saatlik yük talebi	Konutlarda kısa vadeli yük tahmini için önerilen model hafta içi ve hafta sonu saatlik yük tahmininde geleneksel bulanık mantığa kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir.
Feng vd. (2012)	Çin	Gri tahmin modeli	Yıllık toplam enerji, kömür enerjisi ve temiz enerji tüketimleri	Ortalama bağıl hata değerleri; temiz enerji tüketimi için %2,51, kömür tüketimi için %4,36 ve toplam enerji tüketimi için %4,17 olarak hesaplanmıştır.
Wu ve Xu (2013)	Çin'in Sichuan eyaleti Leshan şehri	Sistem dinamiği- Bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımı	Yıllık enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonları	Önerilen optimizasyon modeline göre, 2020'de 2010 yılına göre enerji yoğunluğunda %19,32'lik ve CO ₂ emisyon yoğunluğunda ise %23,26'lık bir azalma meydana gelecektir.
Ansari ve Seifi (2013)	İran	Sistem dinamiği	Çimento endüstrisinde yıllık enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonu	Enerji sübvansiyonunun tamamen kaldırılması ve çimento endüstrisinde düzeltici politikaların uygulanması doğal gaz tüketiminde %29'luk, elektrik tüketiminde, %21'lik ve CO ₂ emisyonunda %22'lik bir düşüşe neden olabilecektir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
An vd. (2013)	Avustralya Yeni Güney Galler eyaleti	Yapay sinir ağları- Deneyisel mod ayrıştırması	Yarım saatlik elektrik talebi	Önerilen yeni model için MAPE değeri %2,42 olarak hesaplanmıştır.
Avila vd. (2013)	Huatacondo, Şili	Takagi&Suge-no bulanık mantık modeli	Yenilenebilir enerji tabanlı mikro şebekenin 15 dakikalık yük talebi	Önerilen modelin 1, 24 ve 48 saatlik periyotlar için MAPE değerleri sırasıyla; %13,37, %12,80 ve %14,83 olarak hesaplanmıştır.
Shang (2013)	Güney Avustralya	Regresyon teknikleri ve tek değişkenli zaman serileri	Yarım saatlik elektrik talebi	MAPE değeri yaklaşık %7 olarak hesaplanmıştır.
El-Qahtani ve Crone (2013)	İngiltere	Çok değişkenli k-en yakın komşu regresyonu	Saatlik elektrik yükü	Çok değişkenli k-en yakın komşu regresyonu hem tek değişkenli k-en yakın komşu hem de tüm benchmark algoritmalarından %1,81 MAPE değeriyle daha üstündür.
Najjar (2013)	ABD'nin Colorado eyaleti Pueblo ilçesi	Sistem dinamiği	Yıllık enerji talebi	Düzey değişkenlerinin her biri için hesaplanan MAPE değerleri; toplam nüfus %2,6, konut %5,3, ticari işletmeler %0,4 ve sanayi işletmeleri %0,8 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Feng vd. (2013)	Pekin, Çin	Sistem dinamiği	Yıllık enerji tüketimi ve CO ₂ emisyonu	Pekin'deki toplam enerji tüketiminin, 2030'da, 2005 yılının 1,04 katından daha yüksek olacağı ve CO ₂ emisyonunun 2011 ile 2015 yılları arasında hafif bir düşüş göstermesine rağmen genel bir artış eğiliminde olacaktır.
Robalino-López vd. (2014)	Ekvator	Sistem dinamiği	Yıllık enerji tüketimi, GSYİH ve CO ₂ emisyon	MAPE değerleri; GSYİH %2,22, enerji tüketimi %3,42, CO ₂ yoğunluğu %15,28, CO ₂ emisyonu %15,96'dır.
Hassani vd. (2014)	ABD'nin Yeni İngiltere bölgesi	Nöro-bulanık model	Günlük pik talep	Önerilen modelin 2002 yılı 12 ay için MAPE değerleri yaklaşık %1'dir.
Mtembo vd. (2014)	Zimbabve	Regresyon ekonometrik modeli	Yıllık pik talep	Önerilen modelin 2006-2010 yılları hata oranı yaklaşık %1 olarak hesaplanmıştır.
Voronin ve Partanen (2014)	Finlandiya	Dalgacık dönüşümleri-ARIMA-Yapay sinir ağları	Saatlik elektrik talebi ve fiyatı	2009 yılı haftalık fiyat ve talep için adapte MAPE ortalaması sırasıyla %5,07 ve %1,95 olarak hesaplanmıştır.
Vu vd. (2015)	Avustralya Yeni Güney Galler eyaleti	Geri eliminasyon regresyon analizi	Aylık elektrik talebi	Önerilen modelin MAPE ve düzeltilmiş R ² değerleri sırasıyla %1,35 ve 0,909 olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Liu vd. (2015)	Çin	Sistem dinamiği	Yıllık enerji tüketimi, brüt CO ₂ emisyonu ve CO ₂ emisyon yoğunluğu	Sonuçlar, Çin'in farklı senaryolarda CO ₂ emisyon azaltma hedefine ulaşma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca kömür 2020 yılında toplam enerji tüketiminin %70'inden fazlasını oluşturan ana enerji kaynağı olmaktadır.
Efendi vd. (2015)	Malezya	Bulanık bir zaman serisinin dilbilimsel örneklem dışı yaklaşımı	Günlük elektrik yükü	Önerilen modelin 5-10 arasında değişen test verisi sayılarına göre MAPE değerleri de %1,18 ve %1,63 arasında değişmektedir.
Nazari vd. (2015)	İran	Parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma	Konut ve ticari sektörlerde yıllık enerji talebi	2007-2010 test verilerinde MAPE değeri; genetik algoritma modeli üstel formunda %2,68, lineer formunda %3,25 ve parçacık sürü optimizasyonu modeli üstel formu %1,97, lineer formu %3,07'dir.
Xiao vd. (2016)	Çin	Sistem dinamiği	Yıllık enerji tüketimi, CO ₂ emisyonu ve karbon yoğunluğu	Kömür, petrol, doğal gaz ve yenilenebilir tüketimi için MAPE değerleri sırasıyla; %4,17, %4,21, %5,94 ve %2,91'dir. Çin'in karbon vergi politikası ve entegre politika senaryolarında 2020 CO ₂ emisyon hedefine ulaşabilecektir.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Barak ve Sadegh (2016)	İran	ARIMA-ANFIS	Yıllık enerji tüketimi	Oluşturulan 3 farklı ARIMA-ANFIS yapılarından ikinci modelin AdaBoost veri çeşitlendirme modeli ile uygulandığı üçüncü modelde MSE değeri %0,058'den %0,026'ya düşmüştür.
Liu vd. (2016)	İspanya	Gri sinir ağı ve girdi-çıkış analizi kombine modeli	Yıllık birincil enerji tüketimi	Önerilen model için hata oranının ortalama karesi 0,185 olarak hesaplanmıştır.
Sisodia vd. (2016)	Hindistan	Sistem dinamiği	Enerji talebi	Güneş enerjisinin sürdürülebilir kullanımı için politik çıkarıma sahip sistem dinamiği temelli varsayımlı bir yapı önerilmiştir.
Zeng vd. (2017)	Türkiye, ABD ve Çin'den alınan veri setleri	Uyarlanabilir diferansiyel gelişim algoritması-Yapay sinir ağları	Yıllık toplam enerji ve elektrik tüketimi	MAPE değeri; Türkiye elektrik tüketimi için %1,639, Amerika elektrik tüketimi için %0,34 ve Çin toplam enerji tüketimi için %0,822'dir.
He vd. (2017)	Tientsin, Çin	Sistem dinamiği	Yıllık elektrik talebi	Önerilen modelin ortalama bağıl hata değeri %1,7 iken trend ekstrapolasyonu için %2,81, ortalama büyüme oranı yöntemi için %8,27 ve gri model için %10,3'tür.

Çizelge 2. 2 Dünya genelinde yapılan enerji tahmini çalışmaları (Devamı)

Yazar(lar)	Uygulama Alanı	Tahmin Yöntemi	Tahmin Değişkeni ve Periyodu	Sonuç / Tahmin Doğruluğu
Yuan vd. (2017)	Çin	Bayes yaklaşımı	Yıllık bölgesel enerji talebi	Hiyerarşik Bayes yöntemi ile tahmin edilen tüm statik ve dinamik modellerin sabit etkiler yöntemine göre daha küçük RMSE'ye sahip olduğu bulunmuştur.
Tsai vd. (2017)	Çin	Gri tahmin modelleri	Yıllık yenilenebilir enerji tüketimi	MAPE değerleri; Gri modeli %5,855, doğrusal olmayan gri Bernoulli modeli %4,893, gri Verhulst modeli %5,476, regresyon analizi %6,026'dır.
Ruiz vd. (2018)	İspanya Granada Üniversitesi	Yapay sinir ağları-Genetik algoritma	Kamu binalarında günlük enerji tüketimi	Sıcaklık gibi dış verileri içeren ve içermeyen iki model için MSE değerleri sırasıyla 0,005085 ve 0,004413'tür.
Bugala vd. (2018)	Poznan, Polonya	Yapay sinir ağları	Fotovoltaik sistemlerde günlük elektrik üretimi	Önerilen sinir ağı modelinin kalite testi yaklaşık %93 ve RMSE değeri %0,02'dir.

Literatürde yaygın olarak enerji talep tahmini çalışmaları yapılmaktadır. Türkiye’de ve dünya genelinde farklı ülkelerde toplam ve sektörel enerji tüketimi, elektrik enerjisi tüketimi ve yenilenebilir enerji üretimi tahmini ile ilgili yapılan çalışmalarda yapay sinir ağları, genetik algoritma, gri tahmin, destek vektör makinesi, parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu, bulanık mantık, zaman serileri analizi, regresyon analizi ve sistem dinamiği yaklaşımı uygulanan başlıca yöntemlerdendir. Bu yöntemler arasında özellikle yapay sinir ağları yaklaşımı enerji talep tahmini çalışmalarında çok geniş bir yer bulmuştur. Tahmin yöntemlerinin tek başına

kullanımının yanında bu yöntemlerin zayıf yönlerinin telafi edilerek birden çok tahmin yönteminin bir arada kullanıldığı yeni hibrit modeller de geliştirilmektedir. Çeşitli tahmin yöntemlerinin kullanıldığı bu çalışmaların incelenmesinden sonra gelecek bölümde enerji ve enerji kaynakları ile ilgili tanımlamalar yapılacaktır. Bu tanımlamaların ardından Türkiye’deki mevcut enerji kaynakları ile birincil enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji tüketiminin yıllara göre değişimleri gösterilecektir.



ENERJİ, ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’DE ENERJİ KULLANIMI

Enerji ve enerji kaynaklarının açıklanacağı bu bölümde ilk olarak enerji tanımı yapılacak ve enerji kaynakları sınıflandırılacaktır. Bu sınıflandırma içerisinde yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları örneklendirilecektir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi ve bu kaynakların yoğun kullanımı sonucu meydana gelen çevresel problemlerin canlı yaşamını tehdit etmesi sonucu başlayan alternatif enerji kaynakları arayışında yenilenebilir enerjinin önemi üzerinde durulacaktır. Son olarak Türkiye’nin içinde bulunduğu jeopolitik konumu göz önünde bulundurularak Türkiye’de mevcut enerji kaynakları, enerji kullanımı ve yenilenebilir enerjinin gelişimi değerlendirilecektir.

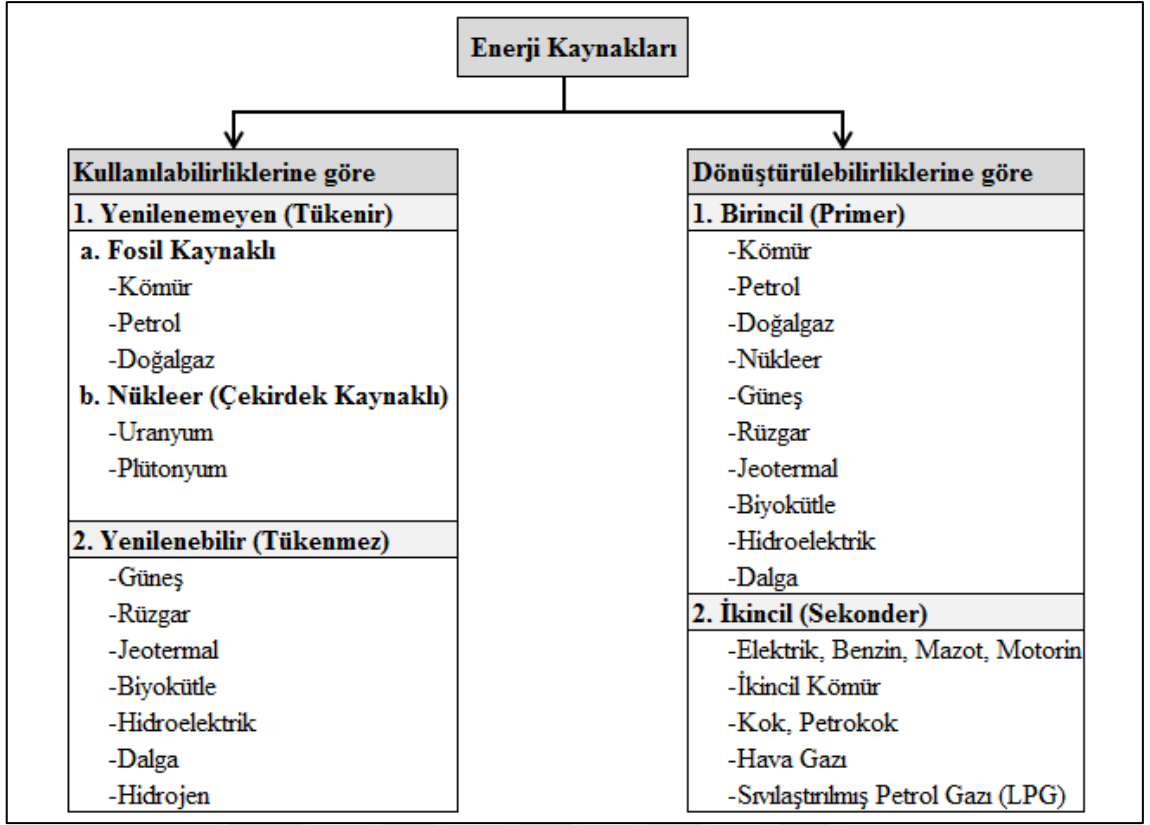
3.1 Enerji ve Enerji Kaynakları

Enerji, fizikte bir işi yapabilmek için gerekli olan yetenek ya da kapasite olarak tanımlanmaktadır [165]. İlk çağlarda iş yapabilmek için kas gücünü kullanan insanlar zamanla hayatlarını kolaylaştıran enerjiyi her alanda kullanmaya başlamışlardır. Bu sebeple enerjinin insanlığın varoluşundan bugüne kadar gelmiş bir kavram olduğunu söylemek mümkündür. Günümüzde insanlığın ve diğer canlıların devamı enerjiye bağlı hale gelmiştir.

Enerji; potansiyel, kinetik, elektrik, ısı, mekanik, kimyasal, manyetik, nükleer gibi çeşitli biçimler alabilmektedir. Enerji korunumu yasasına göre; enerji kaybolmaz ancak bir enerji çeşidi diğer bir enerji çeşidine dönüşebilir [166]. Bu enerjilerin elde edilebilmesi için doğada bulunan enerji kaynakları dönüştürülebilme özelliğine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Doğada bulunduğu haliyle kullanılabilen kaynaklar birincil kaynaklar olarak adlandırılır. Birincil

kaynakların fiziksel olarak farklılaştırılması işlemiyle ikincil kaynaklar elde edilmektedir. Böylece oluşan ikincil kaynaklar hem taşınabilme hem de depolanabilme imkanına sahip olduklarından bu kaynaklara enerji taşıyıcıları da denmektedir. İkincil enerji kaynaklarına elektrik enerjisi, hidrojen enerjisi ile mazot ve motorin gibi petrol ürünleri örnek olarak verilebilir.

Enerji kaynaklarının bir diğer ve yaygın olan sınıflandırılması yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları şeklindedir. Yenilenemeyen enerji kaynakları fosil enerji kaynakları ve nükleer enerji olarak iki kısımda incelenebilir. Fosil enerji kaynaklarından kömür, petrol ve doğal gaz, hayvansal ya da bitkisel kalıntıların uzun yıllar toprak altında kalarak fosilleşmesiyle oluşmaktadır. Diğer yenilenemeyen enerji çeşidi olan nükleer enerji de uranyum gibi bazı radyoaktif elementlerin atom çekirdeklerinin parçalanması sonucu açığa çıkar. Artan nüfus, toplumların sanayileşmesi ve teknoloji gelişimiyle birlikte etkin olarak kullanılamayan bu kaynaklar günümüzde enerji talebindeki hızlı artış karşısında yetersiz kalmakta ve tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bunun yanında bu enerji kaynaklarından enerji elde etme sürecinde başta CO₂ olmak üzere atık gazların atmosfere salınımı sonucu ciddi ve insan sağlığını tehdit eden çevresel problemler oluşmaktadır. Oluşan bu problemler insanları bir diğer enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları “doğal kaynaklar kullanılarak elde edilen, kendini sürekli yenileyen ve tükenmeyen enerji kaynaklarıdır” [167]. Yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak; güneş, rüzgar, jeotermal, hidroelektrik, biyokütle, dalga ve hidrojen enerjileri verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları dünya genelinde ve ülkemizde yüksek potansiyele sahiptir ancak yeterli kullanım oranlarına erişememiştir.



Şekil 3. 1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [168]

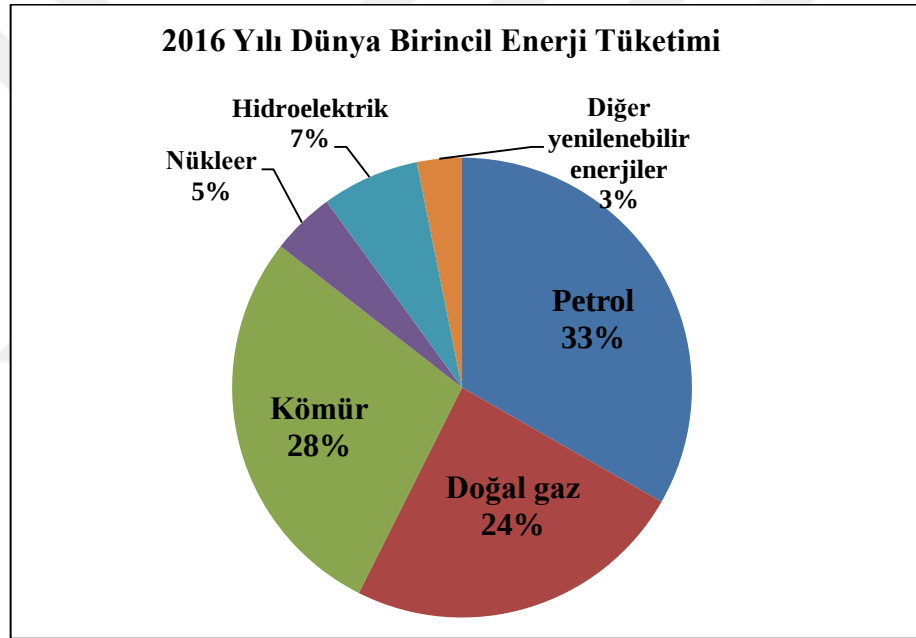
3.1.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları doğada sınırlı miktarlarda bulunan ve kullanıldıktan sonra yerine konulamayan enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen olarak ifade edilse de bu kaynakların yeniden oluşumu çok uzun yıllar almaktadır. Bu nedenle bu kaynakların yakın bir gelecekte tamamen tükeneceği düşünülmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarını fosil enerji kaynakları olan kömür, petrol, doğal gaz ile nükleer enerji oluşturmaktadır.

3.1.1.1 Fosil Enerji Kaynakları

Fosil enerji kaynaklarını oluşturan kömür, petrol ve doğal gaz uzun yıllar boyunca canlı organizmaların ve bitkilerin toprak altında kalması sonucu oluşmuştur. Bu hayvansal ve bitkisel kalıntılar zamanla sıcaklık ve basıncın da etkisiyle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlara dönüşmüşlerdir. Fosil yakıtlarda depolanan kimyasal enerjinin kaynağı yıllar önce yaşamış organizmalar ve bitkilerin güneş ışığından aldıkları enerjiden gelmektedir.

Fosil enerji kaynaklarının yapısında bulunan karbon bu kaynakların yanması sonucu açığa çıkar ve yanmayla birlikte oluşan atık gazların atmosferde birikmesi sera etkisi yaratarak küresel ısınmaya neden olur. Küresel ısınma sonucu atmosferdeki sıcaklık artışında; %49 enerji kullanımı, %24 sanayi faaliyetleri, %14 ormanların tahribatı ve %13 oranında tarımsal faaliyetler etkili olmaktadır [169]. Küresel ısınmaya neden olan bu faaliyetler arasında en büyük pay enerji kullanımına aittir. Buna rağmen fosil yakıtların çıkarılması ve bu yakıtlardan enerji elde edilmesi hem kolay hem de düşük maliyetli olduğundan dünya üzerinde enerji talebini karşılamada çoğunlukla fosil enerji kaynakları kullanılmaktadır. Şekil 3.2 2016 yılında dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımını göstermektedir. Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık %85'i fosil enerji kaynaklarından elde edilmektedir [170].



Şekil 3. 2 Dünya birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı [170]

Kömür

Kömür, bitki kalıntılarının uzun dönemler boyunca toprak altında kalmasıyla oluşmuş bir fosil enerji kaynağıdır. Bitki kalıntıları zamanla kum ve kil tortularının katılaşarak oluşturduğu kaya katmanlarının etkisiyle değişime uğramış ve kömür halini almıştır. Kömürün yapısında çoğunlukla karbon atomu bulunur. Her biri farklı miktarlarda karbon içeriğine sahip antrasit, taş kömürü ve linyit olmak üzere 3 kömür çeşidi vardır.

Kömür insanların enerji ihtiyacını karşılamada çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. 18. yüzyılın sonlarına doğru elle yapılan üretimin yerini alan makinelerin çalıştırılmasında kullanılan kömür Sanayi Devrimi'nin başlamasında etkili olmuştur.

Sanayileşmeyle birlikte artan kömür ihtiyacını karşılamak için kömür madenciliği de bu dönemde bir iş alanı haline gelmiştir. Gelişen kömür madenciliği endüstrisi her yıl milyonlarca ton kömür çıkarılmasına olanak sağlar. Dünya genelinde kömür rezervlerinin %90'ından fazlası ABD, Rusya, Çin, Avustralya, Hindistan, Almanya, Ukrayna, Kazakistan ve Güney Afrika'da bulunmaktadır [171]. Günümüzde çıkarılan kömürün büyük bir bölümü sanayide ve elektrik üretimi için elektrik santrallerinde kullanılmaktadır.

Petrol

Petrol uzun yıllar önce denizlerde yaşamış organizmaların kalıntılarının bileşenlerine ayrılması sonucu oluşan fosil enerji kaynağıdır. Denizin altında derin katmanlara yerleşen kalıntılar tortularla kaplanarak ham petrole dönüşmüştür. Ham petrol çoğunlukla hidrojen ve karbondan oluşan karmaşık yapıdaki bir kimyasal bileşimdir. Ham petrolün petrol rafinerilerinde damıtma adı verilen işlem sonucu bileşenlerine ayrılıp işlenmesiyle çeşitli yakıtlar ve kimya sanayisinde kullanılan ham maddeler elde edilir. Petrolün başlıca ürünlerini dizel, jet yakıtı ve benzin gibi yakıtlar ile boyalar, ilaçlar, plastikler ve polimerler oluşturmaktadır.

Dünyada petrol sektörünün doğuşu 19. yüzyıl ortalarında Amerika'da ham petrolden gazyağı elde edilmesiyle başlamıştır [172]. Petrolün sanayileşmeyle birlikte artan enerji ihtiyacını karşılamada stratejik bir önem kazanması birçok ülkeyi petrol kaynakları arayışına yöneltmiştir. Birinci Dünya Savaşı'nın başlamasında en önemli nedenlerden biri olarak ülkelerin petrol kaynaklarına ulaşma ve bu kaynakları kontrol etme isteği gösterilmektedir. Bu dönemden sonra petrol ülkelerin sahip olmak istedikleri ekonomik ve siyasi bir güç haline gelerek birçok savaşın ve çatışmanın da temelinde yatan neden olmuştur. Son yıllarda önemini koruyarak vazgeçilmez bir enerji kaynağı haline gelen petrolün dünyada enerji ihtiyacını karşılamada payı büyüktür.

Doğal gaz

Doğal gaz, ham petrol gibi, deniz organizmalarının kalıntılarından oluşmaktadır. Renksiz ve kokusuz bir gaz olan doğal gazın ana bileşeni en basit yapıdaki hidrokarbon olan metandır. Doğal gaz ve ham petrol aynı türde kayalarda toplandığından doğal gaz rezervleri genellikle petrol rezervlerinin olduğu yerlerde bulunur. Doğal gaz çıkarıldığı haliyle kullanılabilmesinin yanında borularla rafinerilere taşınarak arıtma işleminden geçer. Arıtma işleminin ilk aşamasında su ve diğer sıvılar ayrılarak kuru gazdan

sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) elde edilir. Geriye kalan doğal gaz sıvılaştırılmış doğal gaza (LNG) da dönüştürülebilmektedir.

Doğal gazın tarihte kullanımı daha eskilere dayansa da yaygın kullanımı 18. yüzyılın sonlarında başlamış ve 2. Dünya Savaşı'ndan sonra giderek artmıştır. Enerji sektöründe ise ilk kez Amerika'da kullanılmaya başlamıştır [173]. Petrol ve kömüre oranla çevre kirliliğine etkisi daha az olan doğal gaz konutlarda ve endüstrilerde enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir kaynaktır.

3.1.1.2 Nükleer Enerji

Nükleer enerji uranyum veya plütonyum gibi radyoaktif elementlerin atom çekirdeğinin parçalanması sonucu açığa çıkan enerjidir. Nükleer reaktörlerde atomların parçalanmasıyla oluşan ısı enerjisi elektrik üretimi için elektrik santrallerinde kullanılır.

Nükleer enerji kullanımının yaygınlaşmasındaki ana etken olarak 1970'lerde petrol fiyatlarının artmasıyla dünya çapında yaşanan petrol krizi gösterilmektedir. Bu nedenle nükleer enerji, fosil enerji kaynaklarında dışa bağımlı ülkelerde artan enerji ihtiyacını karşılamak için alternatif bir kaynak olarak kullanılmaya başlamıştır. Fosil yakıtların küresel ısınma gibi çevreye verdiği ciddi zararların farkına varılması da nükleer enerji kullanımını artırmıştır. Ancak nükleer santrallerde meydana gelebilecek kaza riskleriyle beraber nükleer yakıtların kullanıldıktan sonra oluşturduğu radyoaktif atıklar büyük tehlike oluşturmaktadır.

3.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji bir diğer adıyla temiz enerji, güneş, rüzgar, okyanus ve deniz gibi yeryüzünün doğal kaynaklarından elde edilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Doğrudan kullanılabilirdikleri gibi diğer enerji türlerine de dönüştürülebilirler. Fosil ve nükleer enerji kaynaklarının aksine tükenmeyen bu kaynaklar kullanımları sırasında zararlı atık oluşturmadıklarından dolayı çevreye de zarar vermezler. Dünyada gitgide artan enerji ihtiyacını karşılamada özellikle 1970'lerde yaşanan petrol krizinden sonra alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanımı artsa da toplam enerji tüketimindeki payı halen fosil enerji kaynaklarına oranla çok düşüktür.

Çizelge 3. 1 Yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları [174]

Yenilenebilir Enerji Çeşitleri	Enerjinin Kaynağı
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Hidroelektrik Enerji	Nehir ve Akarsular
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

3.1.2.1 Güneş Enerjisi

Güneş dünyanın da içinde bulunduğu güneş sisteminin merkezinde bulunan aynı zamanda dünyaya en yakın olan yıldızdır. Güneşin enerjisi çekirdeğinde meydana gelen nükleer tepkimelerle hidrojenin helyuma dönüşmesi sonucu oluşur. Kömür, petrol ve doğal gaz gibi bitki ve hayvansal kalıntılardan oluşan fosil enerji kaynakları da dahil olmak üzere dünya üzerindeki hemen hemen bütün enerji çeşitlerinin oluşmasının ana kaynağıdır.

Güneş yüzeyinden ayrılarak atmosfere gelen güneş ışınlarının bir kısmı atmosferde bulunan parçacıklar tarafından yutulur ve yaklaşık %10 ile %80 arasındaki bir oranı yeryüzüne ulaşır [175]. Bu oran bölgelerin coğrafi özellikleri ve bulutlanma gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Güneş ışınlarının toplanıp depolanarak ihtiyaç duyulan zamanlarda ısı ya da elektrik enerjisi olarak kullanılabilmesi için güneş enerjisi sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde bulunan güneş toplayıcıları sayesinde yeryüzüne ulaşan güneş ışınları ısı ya da elektrik enerjisine dönüştürülmek üzere toplanır. Günümüzde güneş enerjisi çoğunlukla ısı enerjisi olarak konutların ısıtılması ve sıcak su elde edilmesinde kullanılsa da fotovoltaik sistemlerle elektrik enerjisi elde etme güneş enerjisinin bir diğer önemli uygulama alanıdır.

3.1.2.2 Rüzgar Enerjisi

Rüzgarlar güneşten gelen ısınnın yeryüzüne farklı açılarda gelmesiyle oluşan basınç ve sıcaklık farkları ile dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesinin bir sonucu olarak oluşmaktadır. Bu nedenle rüzgar enerjisinin asıl kaynağının güneş olduğu söylenebilir.

Rüzgar gücü binlerce yıldır yelkenli tekne ve gemiler ile yel değirmenlerinde kullanılmakta olan bir enerji kaynağıdır. Hava akımlarının yelkene çarpması sonucu elde edilen itme kuvveti yelkenli tekne ve gemilerin su üzerinde hareketini sağlamaktaydı. Bundan esinlenerek ilk yel değirmenleri gemi yelkenlerinin bir şafta takılmasıyla oluşturulmuştur. Yelkenlerin şaftı döndürmesiyle oluşan dönme kuvveti yel değirmenlerinde tahılların öğütülmesini ya da suyun pompalanmasını sağlıyordu. Teknolojik gelişmelerle birlikte bu yapı değişime uğrayarak bugünkü rüzgar türbinleri halini almıştır. Rüzgar enerjisinden elektrik elde etmeyi sağlayan rüzgar türbinlerindeki bilgisayarla kontrol edilen motorlar rüzgarın hızına ve yönüne göre kanatların açısını ve yönünü değiştirerek rüzgar enerjisinden daha iyi faydalanmayı sağlar.

3.1.2.3 Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yer altında bulunan sıcak su, kaya ve buharlardan elektrik ve ısı enerjisi elde edilmesidir. Jeotermal enerjinin kaynağı yer kürenin merkezindeki yüksek ısıdan gelmektedir. Yağmur, kar ve deniz suları fay hatları boyunca oluşmuş çatlaklardan yer altına ulaşır ve magmaya yakın yerlerde ısınarak yeniden yüzeye çıkar. Böylece jeotermal kaynaklar yenilenmiş olur. Bu kaynaklar genellikle volkanik hareketlerin olduğu bölgelerde bulunur.

Jeotermal enerji eski çağlarda daha çok ısınma, sıcak su elde etme ve yemeklerin pişirilmesini sağlama amacıyla kullanılan bir enerji kaynağıydı. Bunun yanında sağlık ve turizm gibi çeşitli alanlarda kullanımı yaygındı. 1900'lü yılların başlarında da jeotermal kaynaklardan elde edilen buharın elektrik üretiminde kullanımı başlamıştır.

3.1.2.4 Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi bitkiler ve canlı organizmalar ile tarım ve sanayi atıklarının ya da bu atıkların bazı süreçlerden geçirilmesiyle elde edilen biyoyakıtların yakılması sonucu elde edilen enerjidir. Biyokütle enerjisi kaynaklarına örnek olarak; şeker pancarı, ayçiçeği, buğday, mısır gibi bitkiler, kurumuş ağaç ve dallar, yapraklar, hayvan dışkıları verilebilir. Fosil yakıtlar gibi uzun yıllar toprak altında kalarak değişime uğramadıklarından yakıldıklarında zararlı atık gazlar meydana gelmez. Bu organik maddelerin yakılması sırasında oluşan CO₂ gazı doğal sürecin bir parçası olarak oluştuğundan ekolojik dengenin bozulmasına da yol açmaz. Biyokütle enerji kaynakları sanayi ve kentsel atıkları da kapsadığı için diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından

farklı olarak sadece doğanın mevcut kaynaklarından oluşmaz aynı zamanda yeni kaynaklar elde etmeye de imkan tanır.

Biyokütle enerjisi geçmişten günümüze özellikle kırsal kesimlerde ısınma, yemeklerin pişirilmesi, su ısıtılması gibi amaçlarla kullanılmakta olan bir enerji çeşididir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünya genelinde yüksek kullanım oranlarına sahip olan biyokütle enerjisi elektrik ihtiyacının karşılanmasında önemli bir yer tutar. Ayrıca fosil yakıtlarla birlikte kullanılarak çevre kirliliğine neden olan zararlı gazların emisyon oranları azaltılır. Böylece fosil yakıtların yoğun kullanımlarının çevreye verdiği zarar daha düşük seviyelere çekilmiş olur.

3.1.2.5 Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji suyun belli bir yükseklikten akışıyla oluşan kinetik enerjiden elde edilir. Hidroelektrik enerjinin kaynağını yağmur ve kar sularının beslediği nehir ve akarsular oluşturmaktadır. Bu kaynaklar üzerine hidroelektrik santraller kurularak suyun sahip olduğu kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Ayrıca dağlık bölgelere kurulan hidroelektrik santrallerde baraj inşa edilerek suyun baraj gölünde tutulması sağlanır. Bu baraj gölünde yeterli seviyeye ulaşan suyun türbinler üzerine düşürülmesi sonucunda türbinin dönmesiyle elektrik enerjisi elde edilir. Enerji ihtiyacının olduğu ancak suyun yeterli seviyeye ulaşmadığı durumlarda sürekliliği sağlamak için suyun depolanarak alt seviyede bulunan baraj gölünden üst seviyedeki baraj gölüne dolmasını sağlayan pompalama sistemleri de geliştirilmiştir. Böylece enerji ihtiyacının arttığı zamanlarda bu kaynaklardan daha verimli şekilde faydalanılır.

3.1.2.6 Dalga Enerjisi

Dünyanın büyük bölümünü kaplayan okyanus ve denizlerin yüzeyinde oluşan rüzgarların bir sonucu olarak meydana gelen dalgalar bir diğer yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dalgaların oluşumuna etki eden rüzgarlar zaman zaman kesilse de dalga oluşumu devamlıdır. Güneş ve rüzgar zamanın sadece %20-30'unda kullanılabilir durumdayken dalga gücünü zamanın %90'ında elde etmek mümkündür [176].

Dalgaların aşağı ve yukarı yöndeki hareketlerinin jeneratörleri çalıştıran dönme hareketine dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilir. Bunun için kıyılara belli bir uzaklıktaki kısımda dalgaların kırılmaya başladığı yerlere yerleştirilen dubalar ya da kıyı şeridinde sabitlenen salınlı su sütunları kullanılır. Dalga enerjisinin yanında

okyanuslardan elde edilen bir diğer enerji çeşidi de gelgit enerjisidir. Gelgitler güneş ve aya bağlı çekimler sonucu suların çekilmesi ve kabarmasıyla oluşur. Suların yükseldiği zaman depolanmasını sağlayan gelgit barajlarının kurulmasıyla gelgitler bir enerji kaynağı olarak kullanılır. Deniz ve okyanus kaynaklı bu enerji çeşitleri dünya üzerinde büyük potansiyele sahip olsa da diğer yenilenebilir kaynaklara göre daha yeni kullanılmaya başlayan bir enerji çeşididir.

3.1.2.7 Hidrojen Enerjisi

Renksiz, kokusuz ve yanıcı bir gaz olan hidrojen dünyada en yaygın bulunan elementtir. Hidrojen birim kütle başına sahip olduğu yüksek enerjisi nedeniyle enerji sistemlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Doğada serbest halde bulunmadığından diğer enerji kaynakları kullanılarak çeşitli yollarla üretilir ve bu nedenle enerji kaynağı yerine enerji taşıyıcısı olarak adlandırılmaktadır.

Hidrojenin farklı endüstriyel kullanım alanları bulunmaktadır. Enerji alanında yakıt pilleri şeklinde kullanımı özellikle ulaşım sektöründe oldukça yaygındır. Yakıt olarak kullanımı sırasında yalnızca su veya su buharı açığa çıkardığından sera etkisi oluşturmaz. Hidrojen bir enerji kaynağı olarak kabul edilemese de fosil yakıtlar gibi çevreye olumsuz etkileri olmadığından hidrojen enerjisine bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları başlığı altında değinilmiştir.

3.1.3 Yenilenebilir Enerjinin Önemi

Sanayileşmenin üretimde enerji ihtiyacını arttırması sonucu enerji ve enerji kaynaklarına sahip olma günümüzde ekonomik kalkınmayı etkileyen önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Ekonomik kalkınmanın yanında sürdürülebilirlik kavramı da önem kazanmaktadır. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında Ortak Geleceğimiz başlığıyla yayınladığı raporda sürdürülebilir kalkınma, doğanın gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmadan; şimdiki neslin ihtiyaçlarının karşılanabildiği gelişme süreci olarak tanımlanmıştır [177].

Sanayileşmenin yanında nüfustaki hızlı artış, şehirleşme, modernleşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte enerji kullanımının daha da artması geçmişten bu yana yenilenemeyen kaynakların özellikle kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların yoğun olarak kullanımına neden olmuştur. Etkin kullanılamayan ve sınırlı olan bu kaynakların gelecekte tükenme riskleri bulunmaktadır. 2017 yılında yayınlanan BP

Dünya Enerji İstatistikleri Raporu'na göre dünya üzerinde kömür rezervlerinin yaklaşık 153 yıl, petrol ve doğal gaz rezervlerinin ise yaklaşık 50 yıl yeteceği tahmin edilmektedir [170]. Ayrıca bu enerji kaynakları dünya üzerinde belirli bölgelerde toplandığından birçok ülke fosil yakıtlarda dışa bağımlı durumdadır.

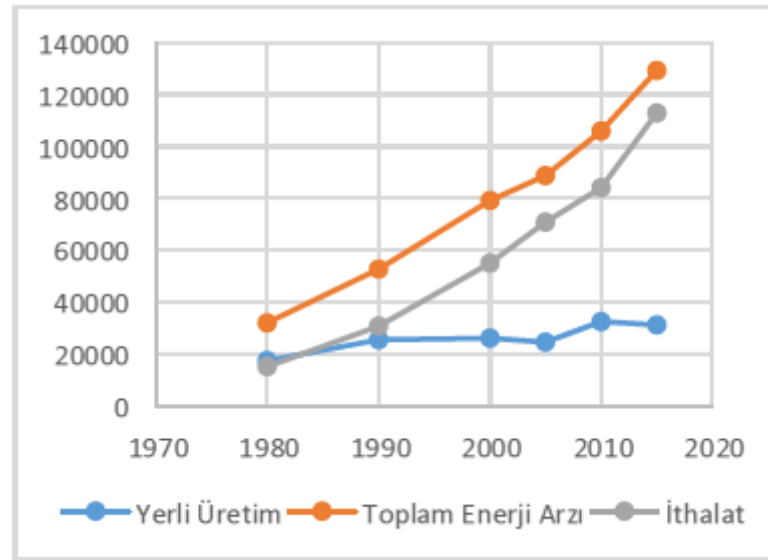
Fosil yakıtlar yanmaları sırasında açığa çıkan zararlı gazların atmosfere salınımı sonucu sera etkisi oluşturmaktadır. Bu da küresel ısınma gibi çevresel problemlere neden olmaktadır. Küresel ısınma sonucunda dünyanın sıcaklık değerlerindeki artış ekolojik dengenin bozulmasına yol açarak insanlık ve diğer tüm canlılar için büyük bir tehdit haline gelmiştir. Bunun yanında fosil yakıtların kullanımının küresel ısınmaya neden olan en büyük etkenlerden biri olduğu iklim bilimi konusunda yapılan araştırmalarda yer almaktadır. Küresel ısınmanın devam etmesi durumundaysa sıcaklık artışı sonucu buzulların erimesi, kuraklık, doğal kaynakların tükenmesi gibi sorunlar dünya üzerinde yaşamı giderek zorlaştıracaktır.

Fosil yakıtlarda dışa bağımlılığın ülke ekonomisine olumsuz etkisiyle birlikte bu kaynakların tükenme tehlikesi ve son yıllarda oluşan çevresel kaygılar ülkelerin enerji ihtiyacını karşılamada alternatif ve sürdürülebilir bir kaynak olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini sağlamıştır. Temiz enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sırasında fosil yakıtlarda olduğu gibi çevreye zararlı atıklar meydana gelmez ve bu kaynaklar çevresel sorunların oluşmasına neden olmazlar. Dünya üzerinde daha dengeli bir biçimde dağılmış olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı dışa bağımlılık oranlarını azaltarak enerjide ithalat maliyetlerinin azalmasını sağlar. Ülkeler yerli kaynaklarına yatırım yaparak ve bu kaynakları kullanarak istihdamı da artırır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı enerji kaynakları çeşitliliğini ve bu kaynakların kontrol edilebilirliğini sürdürülebilir bir biçimde artırarak enerji arz güvenliğini sağlar.

3.2 Türkiye’de Enerji Kaynakları ve Kullanımı

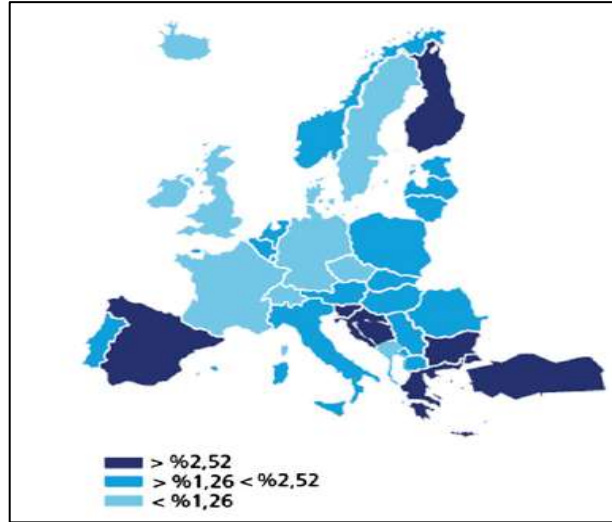
Asya ve Avrupa kıtalarının kesiştiği noktada yer alan Türkiye, dünyanın ispatlanmış en büyük petrol ve doğal gaz rezervleri bulunan Orta Asya, Rusya ve Ortadoğu bölgelerine olan yakınlığı ile stratejik bir öneme sahiptir. Coğrafi konumu itibarıyla bu bölgeler ile Avrupa ülkeleri arasında enerji ticareti için bir köprü oluşturmaktadır. Üç tarafı Akdeniz, Karadeniz ve Ege deniziyle çevrili olmasına rağmen kara sınırının olduğu sekiz ülke bulunmaktadır.

Türkiye, çok zengin fosil yakıt rezervlerine sahip olmamasından dolayı petrol ve doğal gaz başta olmak üzere enerji talebinin önemli bir bölümünü ithalat yoluyla içinde bulunduğu bölgenin kaynaklarından karşılamaktadır. Ancak bu durum Türkiye’de dış ticaret açığının artmasında en büyük etkenlerden birini oluşturmaktadır. Şekil 3.3’te görüleceği üzere enerji ithalatı 1980 yılından 2015 yılına kadar giderek artmıştır. 1980 yılında yerli üretimin toplam birincil enerji arzı içindeki oranı %54 iken 2015 yılında bu oran %24’e kadar gerilemiştir [178]. Toplam birincil enerji arzının 129,7 milyon TEP olduğu 2015 yılında sadece 32,2 milyon TEP yerli üretim yoluyla sağlanmıştır. Bu yerli üretimin %51,1’i fosil yakıtlardan (%41,8’i çoğunlukla linyit olmak üzere kömür, %8,3’ü petrol ve %1’i doğal gaz) ve %48,9’u de yenilenebilir enerji kaynaklarından (%10,1’i biyokütle enerjisi, %17,9’u hidro enerji, %14,8’i jeotermal enerji, %3’ü güneş enerjisi ve %3’ü rüzgar enerjisi) oluşmaktadır. Bununla birlikte bu güne kadar Türkiye’de nükleer enerji üretimi ya da tüketimi olmamıştır [179].

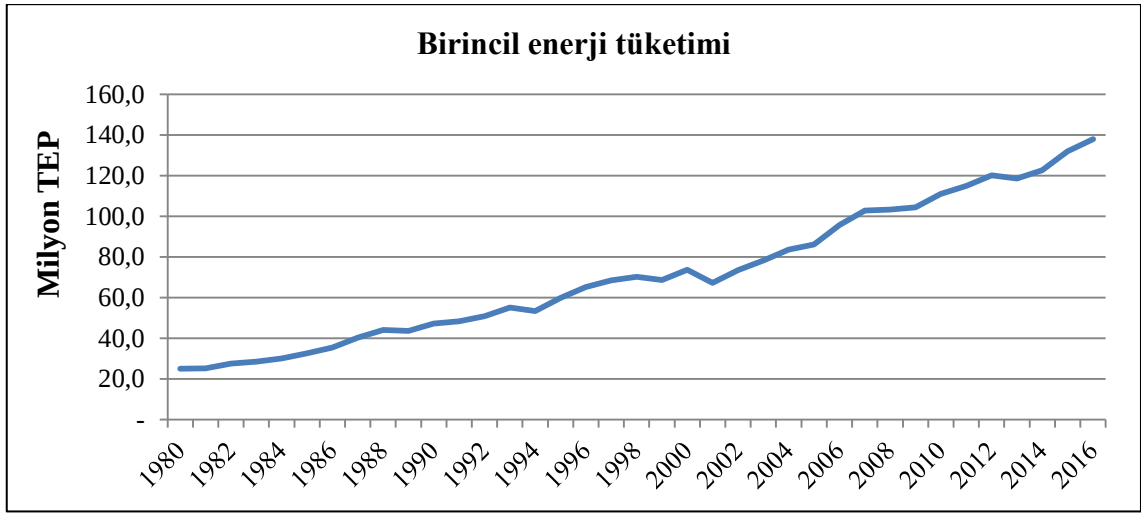


Şekil 3. 3 1980-2015 yılları Türkiye birincil enerjisinde yerli üretim, ithalat ve toplam enerji arzı [178]

Türkiye’de 1980 yılından itibaren ekonomik krizlerin yaşandığı yıllar dışında ekonomide büyümeye ve nüfus artışına paralel olarak enerji talebi de hızla artmaktadır. Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşletmecileri Birliği (ENTSO-E) üyeleri ile Türkiye'nin enerji talebindeki artış hızlarının gösterildiği Şekil 3.4’te Türkiye'nin yüksek büyüme potansiyelinde olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 3.5’te de Türkiye birincil enerji tüketiminin 1980-2016 yılları arasındaki değişimi gösterilmektedir. 1980’de 25 milyon TEP olan birincil enerji tüketimi 2016 yılında 137,9 milyon TEP’e ulaşmıştır [170].



Şekil 3. 4 Enerji tüketimi büyüme oranları 2010-2015 [45]



Şekil 3. 5 Türkiye’de yıllara göre birincil enerji tüketimi (milyon TEP) [170]

Dünyada olduğu gibi Türkiye’de de enerji ihtiyaçları çoğunlukla petrol, doğal gaz ve kömür olmak üzere fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturan fosil yakıtlara büyük ölçüde bağımlı olan Türkiye’de bu kaynakların enerji tüketimindeki payı 2016 yılı verilerine göre yaklaşık %86 olmaktadır [170].

3.2.1 Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

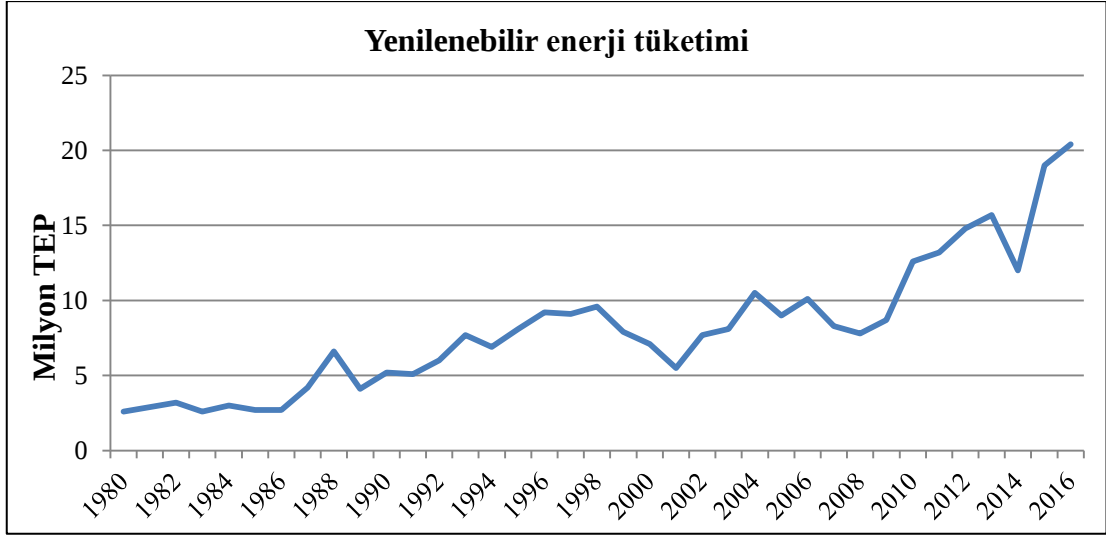
Bulunduğu coğrafi konumu ve yer şekillerinin durumuna göre farklı iklim tipleri görülse de Türkiye’nin genel olarak nemli ve ılıman iklim kuşağında yer aldığı söylenebilir. Yenilenebilir enerji için büyük potansiyel oluşturan kaynaklara sahip olunmasında etkili olan bu coğrafi koşullar ve çeşitli iklim özellikleriyle Türkiye diğer birçok ülkeye göre avantajlı bir durumdadır.

Hidroelektrik enerji, Türkiye'nin başlıca yenilenebilir enerji kaynağıdır. 2016 yıl sonu itibariyle 597 hidroelektrik santrali ile toplam kurulu gücün yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır [171]. Ayrıca batı Anadolu yüzeyinin altında jeotermal enerji, doğu ve orta Anadolu'da mevcut rüzgar ve güneş enerjisi ile Karadeniz'in denizaltında biriken hidrojen, Türkiye'deki diğer potansiyel yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [180]. Genellikle kırsal alanlarda daha çok klasik yöntemlerle elde edilen bitkisel ve hayvansal kökenli biyokütle enerjisi de Türkiye'de yüksek potansiyele sahip bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Çizelge 3.2'de Türkiye'nin 2002 ve 2016 yıl sonu itibariyle hidroelektrik, jeotermal, rüzgar ve güneş enerjilerinde kurulu güç kapasiteleri karşılaştırılmıştır. 2002 yılına kıyasla 2016 yılında dört yenilenebilir enerji kaynağının da kurulu güç kapasitelerinde yüksek oranda artışlar görülmektedir.

Çizelge 3. 2 Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasiteleri (MW) [170]

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Kurulu Güç Kapasitesi (MW)	
	2002	2016
Hidroelektrik	12240	26681
Jeotermal	20	775
Rüzgar	19	5376
Güneş	1	832

Şekil 3.6 1980-2016 yılları arasında Türkiye'de toplam yenilenebilir enerji tüketimindeki değişimi göstermektedir. Yenilenebilir enerji kullanımında 1980 yılından günümüze kadar zaman zaman düşüşler meydana gelse de genel olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 2005 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kanunu ve ardından 2010 yılında yapılan yeni düzenlemelerle yenilenebilir enerjiye yönelim de artmıştır. 2015 yılında bu alanda yapılan finansal teşvik ve destekler sonucu yatırımların artmasıyla tüketim miktarında da bir önceki yıla göre dikkat çekici bir artış yaşanmıştır. 2016 yılında toplam 20,4 milyon TEP tüketim miktarına ulaşan yenilenebilir enerjinin tüm birincil enerji tüketimi içindeki payı yaklaşık %14,8 olmaktadır [170].



Şekil 3. 6 Türkiye’de yıllara göre yenilenebilir enerji tüketimi (milyon TEP) [170]

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olan Türkiye’de halen bu kaynakların kullanımı çok yaygın değildir. Potansiyel ve yararlanma arasındaki makasın bu denli açık olmasının altında maliyetler ve yasal düzenlemelerdeki eksiklikler gibi birçok etken yatmaktadır [174]. Fosil enerji kaynaklarının sınırlı ve yetersiz olmasından dolayı enerji sorununun yaşandığı Türkiye’de ekonomik ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına öncelik verilmelidir. Mevcut potansiyelin değerlendirilmesi için yatırımcıların teşvik edilmesi ve bürokratik engellerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Gelecek bölümde enerji modellemesi çalışmalarında sıklıkla kullanılan sistem dinamiği yaklaşımı üzerinde durulacaktır.

SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI

Bu bölümde ilk olarak sistem kavramı üzerinde durulacaktır. Sistem kavramı ile birlikte sistem dinamiği yaklaşımının temelinde yer alan sistem düşüncesi ele alınarak sistem dinamiğinin yapısı incelenecektir. Bu yapı içerisinde geri besleme döngüleri, gecikmeler, stok ve akış değişkenleri gösterilecektir. Bununla birlikte bir modelleme yaklaşımı olan sistem dinamiğinin gelişimi ve uygulama alanları açıklanacaktır. Enerji alanında yapılan sistem dinamiği uygulamaları sırasıyla gözden geçirilecektir.

4.1 Sistem Tanımı ve Sistem Dinamiği

Sistem, birbirinden farklı birçok alan içinde yer edinerek günümüzde yaygın olarak kullanılan bir kavram haline gelmiştir. Uygulama alanlarına göre gösterdiği özellikler sonucu sistem ile ilgili çeşitli tanımlar yapılmıştır. Farklı uygulama alanlarındaki ortak noktalar göz önüne alınarak yapılacak tanıma göre, sistem belli bir amacı gerçekleştirmeye yönelik olarak bir araya gelen ve birbiriyle etkileşim halindeki bileşenlerden oluşan bir bütünü ifade eder. Sistem sınırları bileşenlere göre çizilerek sınırların dışında kalan alan sistem çevresini oluşturur. Bileşenler bir sistemi meydana getiren parçalar olarak tanımlansa da sistemin olmazsa olmazı sistemin davranışını da belirleyen bileşenler arasındaki ilişkilerdir. Sistem bileşenleriyle bu bileşenler arasındaki ilişkilerin meydana getirdiği bütün sistem yapısı olarak tanımlanır.

Sistemlerle ilgili çevreyle etkileşimi, çevredeki değişimlere karşı gösterdiği davranışı ya da oluşum şekli gibi özellikleri dikkate alınarak çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. En genel haliyle sistem sınıflandırması basit ve karmaşık sistemler şeklinde yapılabilir. Basit sistemlerde bileşen sayısı az olduğundan ilişkileri ayırt etmek ve sonuçların tahmini kolaydır. Karmaşık sistemlerde bu durumun tam tersi olarak çok sayıda bileşen ve buna bağlı çok sayıda ilişki yer aldığından bu ilişkiler kolayca fark edilemez. Elde

edilen sonuçlar bulunulan yerin dışında başka bir noktada da ortaya çıkabileceğinden sonuçları görmek zorlaşır. Karmaşık sistemlerin oluşmasında sistem bileşenlerinin birbiriyle döngüsel ilişkileri sonucu ortaya çıkan geri beslemeler ve sistem bileşenleri arasındaki gecikmeli ilişkiler etkili olmaktadır.

Sistem kavramı felsefi olarak çok eskilerden beri biliniyor olmasına karşın matematiksel teknikler yeterince gelişmemiş olup mevcut problemlerin çözümünde de yeni bir kurama gereksinim duyulmamaktaydı [181]. Ancak günümüzde küreselleşen dünyada hızlı değişen teknolojik gelişmelerle birlikte artan karmaşık sistemlerde karşılaşılan problemlerin çözümü zorlaşmaktadır. Bu karmaşık sistemlerdeki değişimlerin ve dinamik davranışların göz ardı edildiği doğrusal yaklaşımlar çözüm için yetersiz kalmaktadır. Bu durumda problemi daha küçük parçalara bölerek her birinin ayrı ayrı incelenmesinden çok bütünselliği ön plana çıkaran sistem düşüncesi önem kazanmaktadır. Sistem düşüncesinin bilimsel ve analitik bir uygulama aracı olan sistem dinamiği yaklaşımı, karmaşık sistemlere dair çeşitli karar ve stratejilerin o sistemin davranışı üzerindeki etkilerine ilişkin kavrayışımızı güçlendirmeyi amaçlar [182]. Sistem dinamiği yaklaşımıyla sistem bileşenleri arasındaki ilişkiler ve bu bileşenlerin zaman boyunca gösterdiği davranışlar ele alınarak sistem yapısı analiz edilir. Bilgisayar sistemleriyle geliştirilen sistem dinamiği modeli üzerinde yapılacak değişikliklerle değişen koşullarda sistem tepkisinin nasıl olacağı incelenir. Böylece sistem davranışını geliştirmek için iyileştirmeler yapılabilir.

4.2 Sistem Dinamiğinin Gelişimi ve Uygulama Alanları

Sistem dinamiği 1950'li yıllarda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT)'nde çalışan Jay Wright Forrester tarafından geliştirilen bir modelleme yaklaşımıdır [183]. Sürekli simülasyonların bir varyasyonu olan sistem dinamiği yaklaşımı sistem düşüncesinden yola çıkılarak sosyo-ekonomik sistemlerde çalışma yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Sosyo-ekonomik sistemin her bir faktörü bir sürekli değişken olarak ele alınmıştır [184].

J. W. Forrester'ın MIT'de yaptığı ilk çalışmalarını geri besleme kontrol mekanizmalarına yönelik olan mühendislik çalışmaları oluşturmaktaydı. Bu çalışmaların ardından J. W. Forrester'ın MIT Sloan Yönetim Okulu'na kabul edilmesi onu endüstrilerde karşılaşılan yönetimsel problemlere yöneltmiştir. General Electric firmasında istihdamdaki dengesizliğin yarattığı problemlerin çözümü için J. W.

Forrester'ın geliştirdiği model sistem dinamiğinin başlangıcı olmuştur. J. W. Forrester bu çalışmasında organizasyonda meydana gelen dalgalanmaların dış etkenlerden kaynaklanmadığını aksine sistemin iç yapısından meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışma endüstriyel uygulamalarda günümüzde de faydalanılan Endüstri Dinamikleri (Industrial Dynamics, 1961) kitabının temelini oluşturmaktadır. Sonraki yıllarda yayınlanan Kentsel Dinamikler (Urban Dynamics, 1969) adlı kitapta nüfus, konut, ekonomi ve Dünya Dinamikleri (World Dynamics, 1971) adlı kitapta da nüfus artışı ve doğal kaynaklar arasındaki ilişkiler incelenerek daha kapsamlı modeller geliştirilmiştir.

Sistem dinamiği yaklaşımı, sosyo-ekonomik sistemler (Forrester, 1969, 1971), ekolojik sistemler (Saysel ve Barlas, 2001), ulaşım sistemleri (Suryani vd., 2010) ile katı atık yönetimi (Dyson ve Chang, 2005), su kaynakları yönetimi (Stave, 2003; Rehan vd, 2011), sera gazı azaltımı (Anand vd., 2005; Kunsch ve Springael, 2008), sürdürülebilir değerlendirme ve çevresel planlama (Guo vd., 2001) gibi evre yönetimi ve politika değerlendirmelerini içeren pek çok alanda yaygın bir şekilde uygulanmıştır [126]. Günümüzde de endüstri, nüfus ve yerleşim, evre ve doğal kaynaklar, enerji, finans, ekonomik kalkınma gibi çeşitli konularda sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak birçok çalışma yapılmakta olup bu çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

4.2.1 Sistem Dinamiğinin Enerji Modellemesinde Kullanılması

Sistem dinamiği yaklaşımı 1970'lerin başından bu yana, MIT'den bir grup araştırmacı tarafından yapılan Büyümenin Sınırları (The Limits to Growth, 1972) adlı çalışma ile başlayarak enerjinin modellenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır [140]. Bu yıllarda, özellikle gelişmiş ülkelerde kaynakların tükenmesi ve kirlilik ile birlikte dünyanın tehlike altında olduğu gerçeğinin farkına varılması çevresel kaygıları artırmıştır. Büyümenin Sınırları adlı kitapta besin, endüstri, nüfus, yenilenemeyen kaynaklar ve kirlilik sistemlerini içeren bir dünya modeli kurulmuştur. World3 olarak adlandırılan bu modelde, çeşitli senaryolar analiz edildiğinde önlem alınmaması durumunda 2070 yılına kadar ekonomi, evre ve nüfusta bir kş yaşanacağı öngörülmüştür.

1973 yılında sistem dinamiği yaklaşımı, petrol jeolojisi uzmanı M. King Hubbert tarafından önerilen petrol ve gaz keşif ve üretiminin yaşam döngüsü teorisini kullanarak gaz üretimi ve aramasını simüle eden Roger F. Naill tarafından kullanılmıştır. Naill daha sonra ABD'nin kömüre olan bağımlılığını ele alan COAL2'yi ve fosil yakıtların

ABD ekonomisi üzerindeki etkisini ele alan FOSSIL2 modelini içeren çeşitli modeller oluşturmuştur [141]. ABD Enerji Departmanı tarafından ABD'nin sera gazı emisyonunu azaltma potansiyeli ve çeşitli politikaların maliyet etkinliğini değerlendirmek için FOSSIL2'nin geliştirilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Bütünleşik Dinamik Enerji Analizi Simülasyonu (IDEAS) olarak adlandırılan bu model ABD'nin enerji arz ve talebi için uzun vadeli bir dinamik simülasyon modelidir.

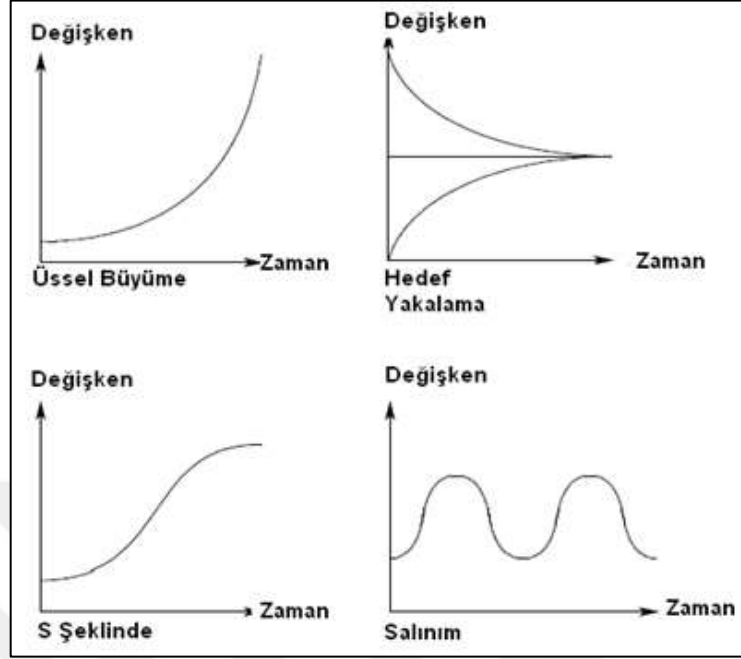
John Sterman, FOSSIL modellerini geliştirerek mevcut modellerde ele alınmayan çeşitli unsurlar üzerinde durmuştur. Bununla birlikte yeni bir enerji-ekonomi etkileşim modeli de önermiştir. 1997'de Tom Fiddaman Sterman modelini kullanarak Geri Beslemeli-Zengin Enerji Ekonomisi modeli (FREE) olarak adlandırdığı modelini geliştirmiştir.

Enerji alanında 2000'li yıllardan sonra yapılan diğer sistem dinamiği uygulamalarına örnek olarak; iklim politikalarının test edilmesi (Fiddaman, 2002), serbest İskandinav elektrik piyasasında fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş için etkin politikaların bulunması (Vogstad vd., 2002), Kaliforniya'da stratejik yakıt rezervinin etkilerinin modellenmesi (Ford, 2005), İspanya'daki elektrik üretiminde uzun vadeli yatırımların modellenmesi (Sanchez vd., 2008), İsviçre elektrik piyasasındaki politika değişikliklerinin ve kapasite genişlemesinin dinamiklerinin analizi (Ochoa ve Ackere, 2009), Arjantin gaz piyasasının düzenlenmesi ve geliştirilmesi (Ponzo vd., 2011), Türkiye elektrik enerjisi endüstrisinde CO₂ azaltma seçeneklerinin araştırılması (Saysel ve Hekimoğlu, 2013), ABD'de elektrik üretiminin yenilenebilir enerji gelişiminin analiz edilmesi (Aslani vd., 2014), Çin'de kaya gazının pazar rekabetini etkileyebilecek teknoloji, maliyet ve politikaların analizi (Yunna vd., 2015), İngiliz hükümeti yeni Elektrik Piyasası Reformu'nda önerilen çeşitli politika araçlarının uzun vadeli etkilerinin analizi (Franco vd., 2015) verilebilir.

4.3 Sistem Dinamiği Modellemesinin Temel Yapısı

Karmaşık sistemleri bütünsel bir bakış açısıyla ele alan sistem dinamiği yaklaşımında sistem bileşenleri arasındaki ilişkiler gösterilerek sistemlerin dinamik davranışlarının anlaşılması sağlanır. Dinamik sistemlerde bazı durumlarda ortaya çıkan davranışların benzer yapılarda olduğu görülmektedir. Bu davranış biçimleri; üssel büyüme, hedef yakalama, s-şekilli büyüme ve salınımlı davranıştır. Şekil 4.1'de gösterilen dört davranış biçimi, genellikle sistemlerde tek tek veya salınımlı davranış ile üssel büyüme, salınımlı davranış ile hedef yakalama ve salınımlı davranış ile s-şekilli büyüme

kombinasyonları olarak ortaya çıkmaktadır [185]. Bu benzerlikler sistemlerde karşılaşılan problemlere neden olan faktörleri açıklamada yol göstericidir.

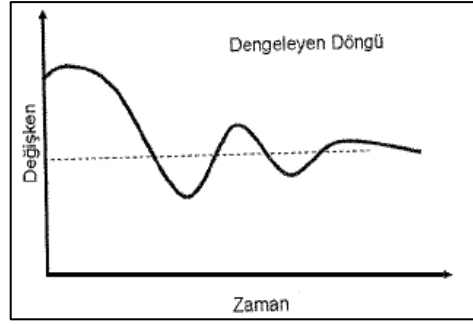


Şekil 4. 1 Davranış örnekleri [186]

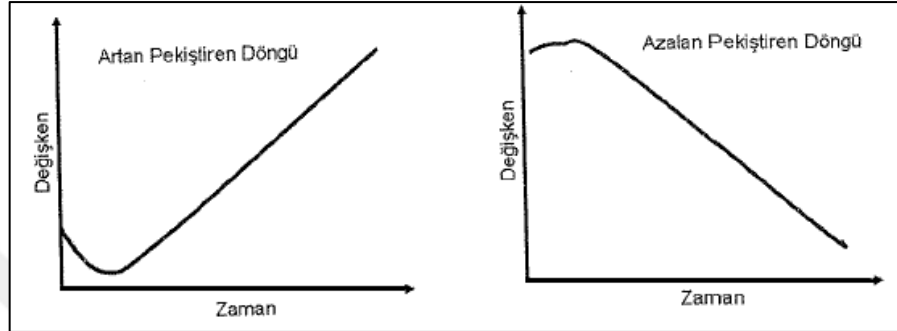
Sistem dinamiğini diğer yöntemlerden farklı kılan en önemli özelliği, sistemi oluşturan bileşenler arasındaki geri besleme döngülerini ve zaman gecikmelerini göz önünde bulundurmasıdır [187]. Sistemlerdeki doğrusal olmayan nedensellik ilişkileri sonucu ortaya çıkan geri besleme döngüleri, bu ilişkilerin gösteriminde sistem elemanlarının başlıca stok ve akış değişkenleri olarak ifade edilmesi ve sistemlerde meydana gelen zaman gecikmeleri sistem dinamiğinde modellemenin temel yapısını oluşturmaktadır.

4.3.1 Geri Besleme Döngüleri

Geri besleme ya da diğer bir ifadeyle neden-sonuç döngüleri sistem bileşenlerinin birbiriyle döngü oluşturacak biçimde ilişkide olmaları durumunda ortaya çıkar. Geri besleme döngüleri negatif (-) ya da pozitif (+) yönde olabilir. Negatif geri besleme döngüleri hedeflenen durumu dikkate alarak sistemde dengeleme ve kontrolü sağlamaya yöneliktir. Pozitif geri besleme döngülerinde ise değişkenlerde sürekli olarak artan ya da azalan yönde değişimler görülür. Pozitif geri besleme pekiştirici etkilere sahiptir ve bu sistemlerde değişkenlerin durumuna göre iyileşme veya kötüleşme durumları gözlenebilir. Negatif ve pozitif geri besleme döngülerinde değişkenlerin zamana bağlı gösterdiği davranışların grafikleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir.

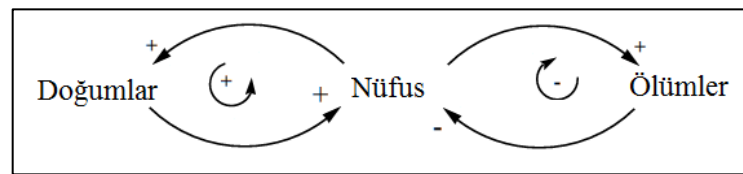


Şekil 4. 2 Dengeleyen döngünün zamana bağlı grafiği [181]



Şekil 4. 3 Pekiştiren döngülerin zamana bağlı grafikleri [181]

Bir nüfus sistemi ele alındığında nüfusun değişmesine neden olan iki temel faktör doğumlar ve ölümlerdir. Doğumların nüfusu artırırken ölümlerin azaltması basit olarak doğrusal nedensellikte açıklanabilen bir durumdur. Ancak zamanla değişen nüfus doğum ve ölümleri de etkileyeceğinden doğumlar ve nüfus arasında pozitif geri besleme döngüsü, nüfus ve ölümler arasındaysa negatif geri besleme döngüsünün varlığından söz edilebilir. Nüfus sistemindeki bu ilişkiler Şekil 4.4'te gösterilmektedir.

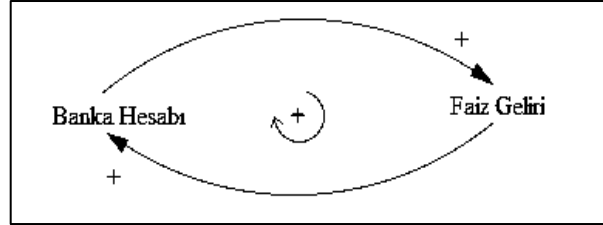


Şekil 4. 4 Nüfus döngüsü

4.3.2 Stok-Akış Değişkenleri ve Gecikmeler

Sistem dinamiği yaklaşımında sistem bileşenleri stok ve akış değişkenleriyle ifade edilir. Sistemdeki birikimleri gösteren stok değişkeniyle önceki olaylarla birlikte sistemin mevcut durumu izlenir. Stoklar bir sistemde zaman gecikmelerine neden olmaktadır [188]. Akış değişkenleri de zamana bağlı olarak stoktaki değişimleri belirler. Akışın yönüne göre stoktaki değişim artan ya da azalan yönde olur.

Buna örnek olarak faiz getirisinin olduğu bir faiz hesabı verilebilir (Şekil 4.5). Burada hesapta biriken para stok değişkeniyle, elde edilen faiz de akış değişkeniyle gösterilir. Hesaplanan faiz hesapta bulunan para miktarından etkilendiğinden faizdeki artış doğrusal olmamakta ve bu durum pozitif geri besleme döngüsü oluşturmaktadır.



Şekil 4. 5 Faiz hesabı döngüsü

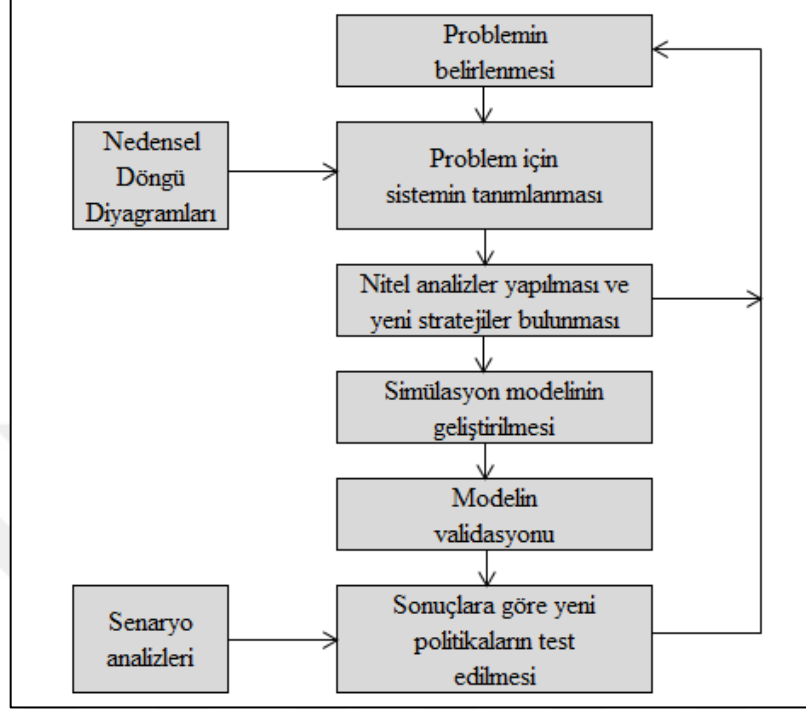
Birçok sistem yapıları nedeniyle veya bulundurdıkları iletişim kanalları gibi nedenlerle zaman gecikmeleri barındırmaktadır [189]. Sistemlerde bilgi ve malzeme akışlarında ortaya çıkan zaman gecikmeleri, değişkenlerin birbiri üzerindeki etkilerinin sonucunun hemen görülmesini engeller. Sistemde yaşanan bir problemin hangi etkenden kaynaklandığını doğru bir şekilde belirlemek için gecikmeler dikkate alınmalıdır. Gecikmeler sistemlerde salınımlı ve doğrusal olmayan davranışlara neden olurlar [190].

4.4 Sistem Dinamiği Modelleme Araçları

Sistem dinamiği yaklaşımının odak noktası olayların hangi anda ortaya çıktığını ya da değişkenlerin ansal değerlerini tahmin etmek değildir. Amaç, değişkenlerin temel davranış biçimlerini anlayıp bu davranışın nedenlerini araştırmak ve sistemin uzun süreli davranışını iyileştirmektir [182]. Sistem dinamiği yaklaşımının bu amacının gerçekleştirilebilmesinde sistem bileşenleri ve bileşenler arasındaki ilişkilerin oluşturduğu sistem yapısının iyi bir şekilde modellenmesi gerekir.

Sistem dinamiğinin modelleme süreci Şekil 4.6'da yer almaktadır. Problemin belirlenmesiyle başlayan modelleme sürecinde ikinci adımı probleme neden olan sistem yapısının analiz edilebilmesi için sistem tanımının yapılması oluşturur. Bu aşamada sistem bileşenleri arasındaki ilişkilerin ortaya konduğu, sistemlerin kavramsal modelleri olan nedensel döngü diyagramları önemli bir yer tutar. Üçüncü adımda nedensel döngü diyagramlarında sistem bileşenleri arasındaki karşılıklı ilişkilerin nitel analizleri yapılır. Dördüncü adımda nedensel döngü diyagramlarından stok ve akış diyagramları oluşturularak bu diyagramdaki elemanlar için gerekli dinamo denklemler modele dahil edilir. Stella, Ithink, Powersim ve Vensim gibi çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılarak

simülasyon modeli geliştirilir. Beşinci adımda model çalıştırılarak modelin geçerliliği test edilir. Son adımda ise modelin simülasyonundan elde edilen sonuçlara göre yapılan senaryo analizleriyle sistemlerin dinamik davranışları tahmin edilir.



Şekil 4. 6 Sistem dinamiği modelleme süreci [191]

Sistem dinamiği, sistemlerin geri besleme döngü yapısıyla stok ve akış olarak bilinen değişkenlerin davranışlarına dayanır. Bu nedenle, modelleme süreci nedensel döngü diyagramları ve zaman gecikmeleriyle birlikte stok ve akış diyagramları olmak üzere iki temel aracı kullanır [190].

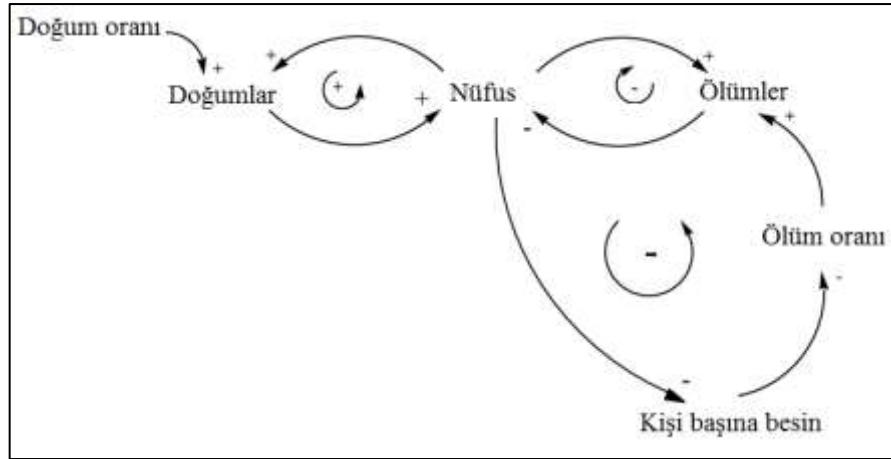
4.4.1 Nedensel Döngü Diyagramları

Nedensel döngü diyagramlarını içermeyen ilk sistem dinamiği çalışmasında geri besleme yapısının denklemler ile stok ve akış diyagramları tarafından ifadesi yeterli bulunuyordu. Ancak sistem dinamiğinin daha çok sayıda insan tarafından erişilebilir olmasını sağlamak amacıyla nedensel döngü diyagramlarının kullanımı zamanla yaygın hale gelmiştir [192]. Nedensel döngü diyagramları bir sistemde döngü oluşturan neden-sonuç (geri besleme) ilişkilerinin gösterimine olanak sağlayarak sistem yapısını daha anlaşılır hale getirir. Burada amaç sistemdeki tüm ilişkilerin ayrıntılı olarak gösterilmesi değil, sistem yapısını en iyi ve açık şekilde ortaya koyan dinamik ilişkilerin modellenmesidir.

Nedensel döngü diyagramları oluşturulurken anahtar değişkenler belirlenerek bir değişkeni dolaylı ve doğrudan etkileyen tüm değişkenler gösterilir. Değişkenler mümkün olduğunca kantitatif olarak ifade edilebilecek değişkenler olmalıdır. Bundan sonraki aşamada sistemdeki döngüler belirlenerek isimlendirilir ve nedensel bağlantılar arasında gecikme oluşacak yerler tespit edilir [191].

Nedensel döngü diyagramlarında değişkenler arasındaki etkiler ve bu etkilerin yönünü gösteren oklar kullanılır. Değişkenler sistemde etkileşim halindeki elemanlardır. Oklar üzerine konulan pozitif (+) ya da negatif (-) işaretleri diğer değişkenlerin sabit tutulduğu durumda etkileşim halindeki değişkenlerden birindeki değişimin diğerini nasıl etkilediğini gösterir. Değişkenlerin birindeki artış diğerini de artırıyor ya da azalış diğerini de azaltıyorsa etki pozitif (+); değişkenlerin birindeki artış diğerini de azaltıyor ya da azalış diğerini de artırıyor ise etki negatif (-) olur.

Meadows vd. [193] tarafından yapılan Büyümenin Sınırları (The Limits to Growth) adlı çalışmadaki nüfus dinamiği modelinden nüfus ile doğum, ölüm ve kişi başına besin arasındaki ilişkilerin gösterildiği nedensel döngü diyagramı Şekil 4.7’de yer almaktadır. Bu nedensel döngü diyagramında nüfus arttıkça mevcut besinlerin azaldığı ve mevcut besinlerin azaldıkça ölüm oranının arttığı görülmektedir. Bu durum negatif geri besleme döngüsü oluşturmaktadır.

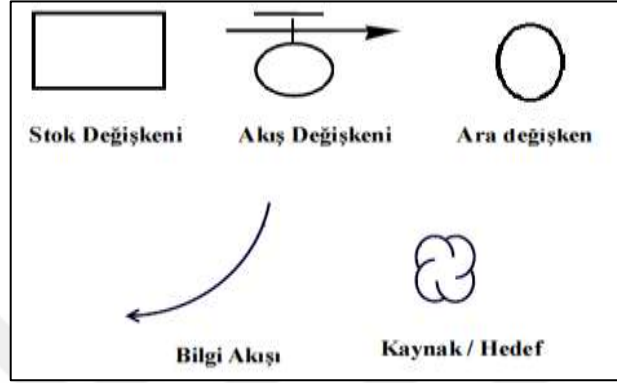


Şekil 4. 7 Nüfus dinamiği modelinin nedensel döngü diyagramı

4.4.2 Stok ve Akış Diyagramları

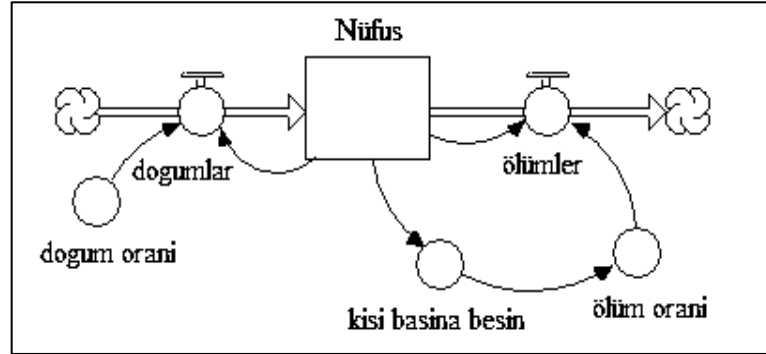
Sistem elemanları arasındaki ilişkileri belirlemede ve analiz etmede kullanılan sistem dinamiği modelleme araçlarından diğeri stok ve akış diyagramlarıdır. Stok ve akış diyagramları nedensel döngü diyagramları ile oluşturulmuş sistemi daha anlaşılır hale

getirmek için kullanılır [186]. Stok ve akış diyagramlarının oluşturulmasında stok ve akış değişkenlerinin yanında ara değişkenler kullanılır. Ara değişkenler bir sistemde stok ve akış olarak ifade edilemeyen sistem elemanlarını tanımlar. Ayrıca değişkenler arasındaki bilgi akışlarıyla mevcut bilgilerin ilgili değişkenlere iletilmesi sağlanır. Stok ve akış değişkenleri, ara değişkenler, kaynak/hedef ve bilgi akışları, stok ve akış diyagramlarında Şekil 4.8'deki gibi görsel olarak ifade edilir.



Şekil 4. 8 Stok ve akış diyagramının temel elemanları

Meadows vd. [193] tarafından yapılan Büyümenin Sınırları (The Limits to Growth) adlı çalışmadaki nüfus dinamiği modelinin stok ve akış diyagramı Şekil 4.9'da yer almaktadır. Nüfus bir stok değişkeni olarak, doğumlar ve ölümler akış değişkeni olarak ve doğum oranı, ölüm oranı ve kişi başına besin de ara değişken olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. 9 Nüfus dinamiği modelinin stok ve akış diyagramı

Sistem dinamiği yaklaşımı diğer matematiksel ve istatistiksel modellerin aksine sistemlerin dinamik değişimlerini de göz önünde bulundurmaktadır. Dinamik karmaşık sistemlerde nedensel ilişkiler sonucu ortaya çıkan geri besleme yapılarının anlaşılmasını sağlamada güçlü bir teknik olan sistem dinamiği yaklaşımı bu yönüyle enerji modellemesinde tercih edilmektedir. Gelecek bölümde yapılacak uygulama çalışmasında Türkiye enerji arz ve talebinin modellenmesinde sistem dinamiği yaklaşımı kullanılacaktır.

TÜRKİYE ENERJİ ARZ VE TALEBİNİN SİSTEM DİNAMİĞİ YAKLAŞIMI KULLANILARAK MODELLENMESİ

Bu bölümde yer alan uygulama çalışmasında Türkiye'nin enerji sistemi ile nüfus, ekonomi ve teknoloji arasındaki ilişkiler analiz edilerek enerji arz ve talebi sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak modellenecektir. Bu aşamada sistem dinamiği yaklaşımı modelleme tekniklerinden nedensel döngü diyagramları ile stok ve akış diyagramlarından yararlanılacaktır. Sistem dinamiği modeli Vensim yazılımı kullanılarak geliştirilecektir. Bu uygulama çalışmasıyla Türkiye'nin 2030 yılına kadar toplam birincil enerji talebi, yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi tahmin edilecek ve farklı büyüme senaryoları altında sistemin göstereceği davranışlar incelenecektir.

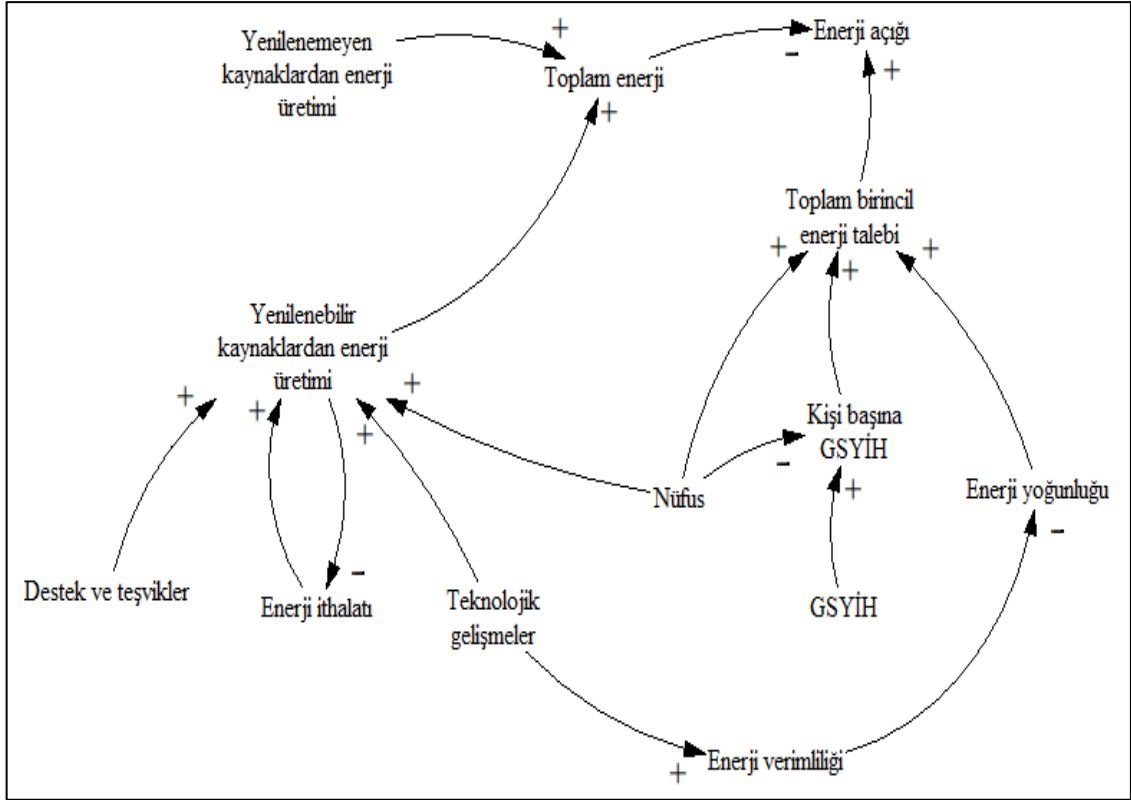
5.1 Enerji Arz ve Talebinin Sistem Dinamiği Modeli

İnsan hayatında vazgeçilmez bir yer edinen enerji için talep gün geçtikçe artmaktadır. Nüfus, sanayileşme, kentleşme, ulaşım ve teknolojiye gelişmeler gibi birden çok değişkenden etkilenen enerji talebinin gelecek eğilimlerinin hesaplanması önemli bir konudur. Enerjide giderek artan talep ülkenin mevcut kaynakları olan kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynakları ile yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Yerli kaynakların artan talep karşısında yetersiz kalması enerji açığını artırır. Böylece artan talebin büyük bir kısmı enerji ithalatı yoluyla karşılanır. Türkiye'de enerji ithalatının her yıl giderek artmasında petrol ve doğal gaz talebindeki artış büyük oranda etkili olmaktadır. Enerji ithalatının düşürülmesinde yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olmasıyla birlikte devlet tarafından yapılan destek ve finansal teşvikler yenilenebilir enerji kullanımını arttırmaktadır.

5.1.1 Nedensel Döngü Diyagramı

Enerji arz ve talebinin sistem dinamiği yaklaşımıyla modellenmesinde ilk aşamada oluşturulan nedensel döngü diyagramıyla bu sistemdeki bileşenler arasındaki ilişkiler ve döngüler bir arada gösterilir. Enerji sistemlerinin karmaşık sistemler olması nedeniyle bu diyagramlar neden sonuç ilişkilerinin rahatça görülebilmesi ve anlaşılması açısından oldukça faydalıdır. Ayrıca sistemin akış diyagramının oluşturulmasında da kolaylık sağlar.

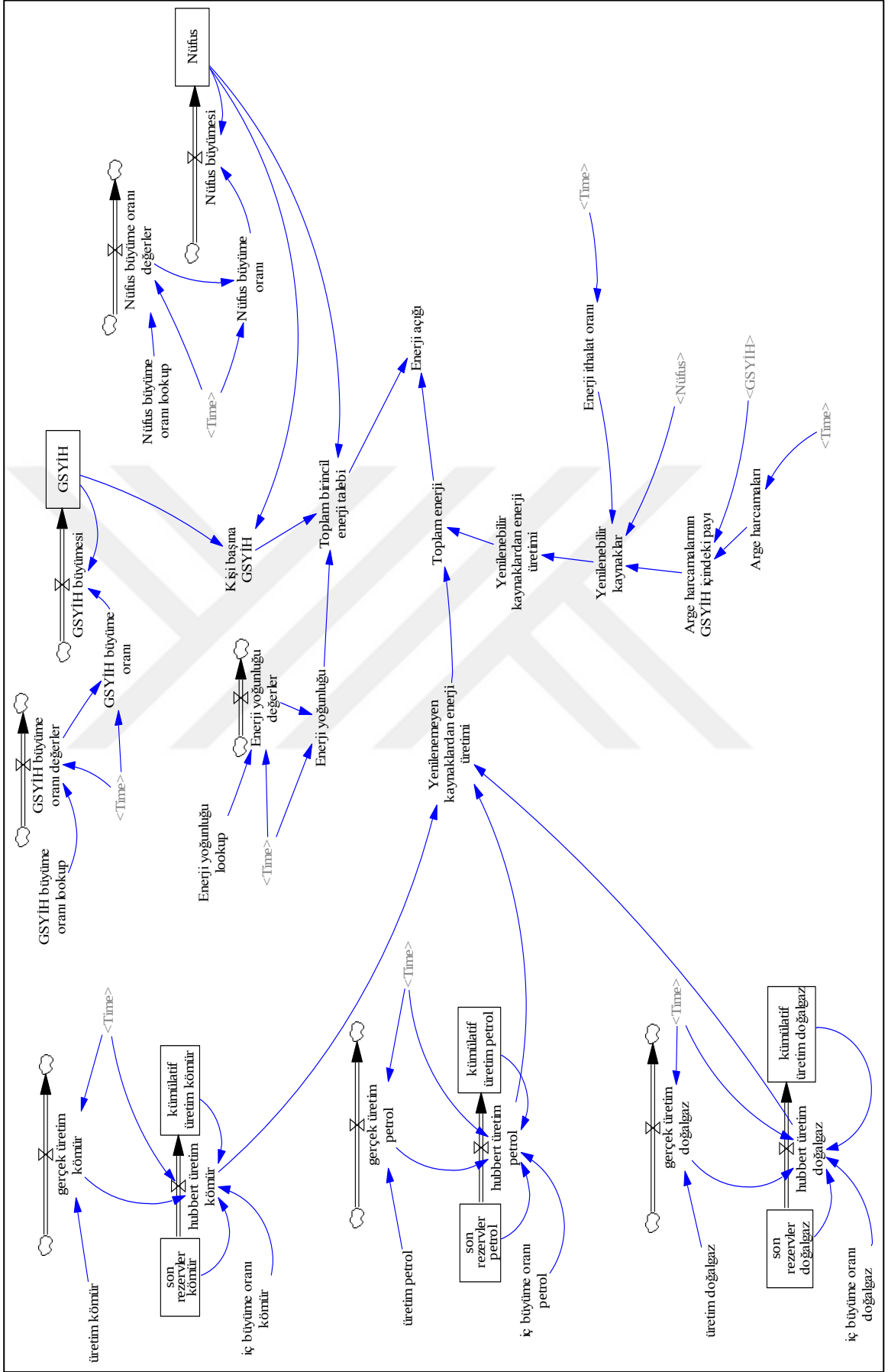
Enerji arz ve talep sisteminde nüfus, kişi başına GSYİH ve enerji yoğunluğu değişkenlerinin her birindeki artış enerji talebini artırmaktadır. Enerji verimliliğinin bir göstergesi olan enerji yoğunluğunun düşük olması enerjinin verimli kullanıldığı anlamına gelir. Mevcut teknoloji ve teknolojideki gelişmeler enerji verimliliğini artırdığından teknolojinin enerji talebi üzerinde dolaylı bir etkisi olduğu görülür. Enerji arzını yenilenemeyen ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi oluşturur. Yenilenemeyen kaynaklar olarak ifade edilen kömür, petrol ve doğal gaz için üretim miktarlarını elde edilen işletilebilir rezerv miktarları etkilemektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının aksine tükenmeyen enerji kaynakları olan yenilenebilir kaynaklar için coğrafi koşullar oldukça önemlidir. Nüfus, teknolojik gelişmeler, enerji ithalatı ve devlet tarafından yapılan teşviklerin artışı bu kaynaklardan enerji üretimini artırır. Enerji ithalatındaki artış yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi artırmakta; yenilenebilir enerji kullanımı arttıkça da ithalat oranı azalmaktadır. Bu durum yenilenebilir enerji üretimi ve enerji ithalatı arasında bir geri besleme döngüsü oluşturmaktadır. Enerji arz ve talep arasında oluşan fark enerji açığını meydana getirir. Enerji arzını oluşturan toplam enerjinin artması enerji açığını azaltırken enerji talebindeki artış sonucu enerji açığı artar. Bunların hepsi Şekil 5.1’de verilen nedensel döngü diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 5. 1 Nedensel döngü diyagramı

5.1.2 Akış Diyagramı

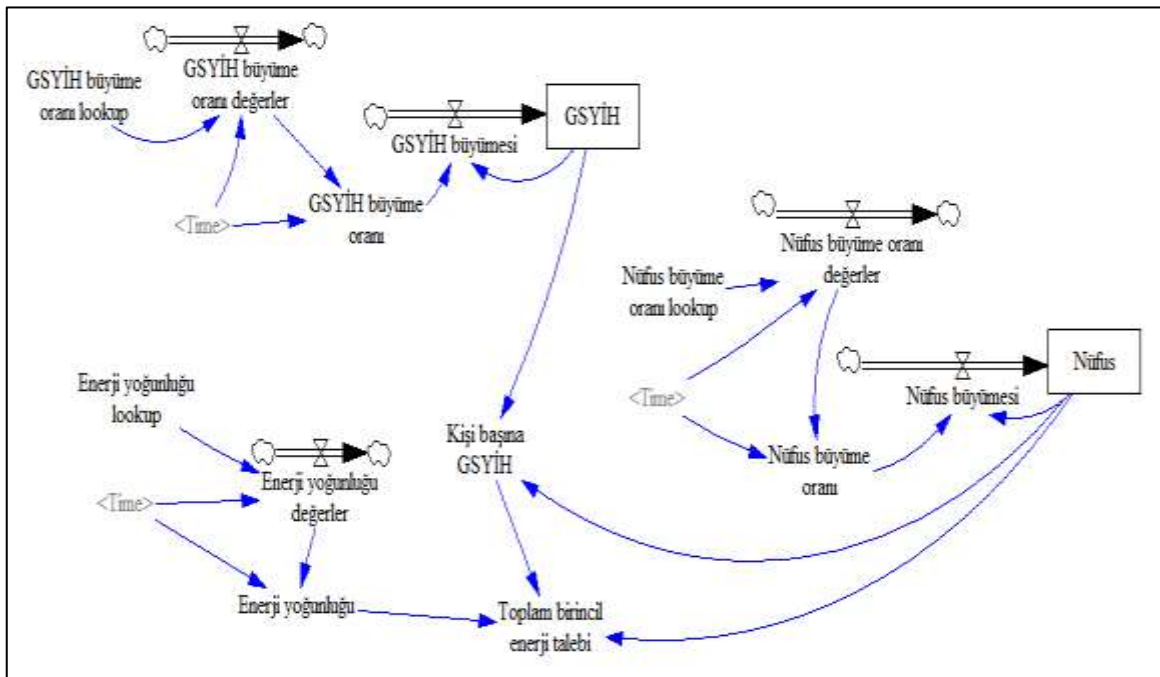
Nedensel döngü diyagramından Türkiye'nin enerji arz ve talep sisteminin akış diyagramı oluşturulmuştur. Akış diyagramında her bir elemana ait denklemlerin yer aldığı sistem dinamiği modeli Vensim yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin akış diyagramı Şekil 5.2'de gösterilmektedir. Modelde yer alan denklemlerle beraber her alt sistem aşağıda açıklanacaktır. Ayrıca sistem dinamiği modelinin sırasıyla tüm denklemleri EK-A'da yer almaktadır. Modelde kullanılan nüfus verileri Dünya Bankası'ndan, GSYİH ve Ar-Ge harcamaları verileri Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)'nden, birincil enerji tüketimi ve yenilenebilir enerji tüketimi verileri BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporu'ndan, kömür, petrol ve doğal gaz üretimi verileri ise Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM)'nden elde edilmiştir.



Şekil 5. 2 Akış diyagramı

5.1.2.1 Birincil Enerji Talebi

Nüfus, kişi başına GSYİH ve enerji yoğunluğu değişkenlerinden etkilenen birincil enerji talebi için akış diyagramı Şekil 5.3'te gösterilmiştir. GSYİH ve nüfus modelde stok değişkenleri olarak tanımlanmıştır. GSYİH büyümesi ve nüfus büyümesi akış değişkenleri, GSYİH büyüme oranı, nüfus büyüme oranı, kişi başına GSYİH ve enerji yoğunluğu da ara değişkenlerdir. Bunların yanında nüfus ve GSYİH büyüme oranlarının 2016 yılına kadar ve enerji yoğunluğunun 2009 yılına kadar gerçek değerlerinin tablo olarak modelde tanımlanması için lookup değişken türü, akış ve gölge değişkeni kullanılmıştır.



Şekil 5. 3 Birincil enerji talebi akış diyagramı

GSYİH belirli bir dönemde ülke içinde üretilen bütün mal ve hizmetlerin toplam değerini ifade eder. Ülkelerin ekonomik büyüklüğünü ve gücünü ölçmede kullanılan kriterlerden biridir. GSYİH'nın ülke nüfusuna bölünmesiyle elde edilen kişi başına GSYİH artışı ekonomideki büyümeye işaret eder ve ülkelerin yaşam standardının bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Nüfus ve GSYİH dışında enerji tüketimini etkileyen başlıca değişkenlerden biri enerji verimliliğinin bir göstergesi olan enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu 1000 dolarlık GSYİH için tüketilen TEP cinsinden enerji miktarıdır. Enerji yoğunluğunun düşük olması enerji ve enerji kaynaklarının verimli kullanıldığını gösterir. Buradan hareketle toplam birincil enerji talebi (5.1)'deki gibi hesaplanabilir.

$$\text{Enerji talebi} = (\text{Nüfus} * \text{Kişi başına GSYİH} * \text{Enerji yoğunluğu}) / 1000 \quad (5.1)$$

GSYİH ve nüfus ile ilgili denklemler (5.2), (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9), (5.10), (5.11) ve (5.12)'de gösterilmiştir. Burada GSYİH için 2010 yılı dolar sabit fiyat ve satınalma gücü paritesiyle hesaplanan GSYİH değerleri kullanılmıştır. GSYİH ve nüfus büyüme oranı gelecek değerleri 1990-2016 yılı verileri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{GSYİH} = \text{INTEG}(\text{GSYİH büyümesi}, 594861) \quad (5.2)$$

$$\text{GSYİH büyümesi} = \text{GSYİH} * \text{GSYİH büyüme oranı} \quad (5.3)$$

$$\text{GSYİH büyüme oranı} = \text{IF THEN ELSE} ((\text{Time} \leq 2015), (\text{GSYİH büyüme oranı değerler}), (4.53/100)) \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} \text{GSYİH büyüme oranı lookup} = & (1990, 0.00926), (1991, 0.05984), (1992, 0.08042), \\ & (1993, -0.05455), (1994, 0.07191), (1995, 0.07005), (1996, 0.07528), (1997, 0.03091), \\ & (1998, -0.03389), (1999, 0.0664), (2000, -0.05962), (2001, 0.0643), (2002, 0.05608), \\ & (2003, 0.09644), (2004, 0.09009), (2005, 0.07109), (2006, 0.0503), (2007, 0.00845), \\ & (2008, -0.04704), (2009, 0.08487), (2010, 0.11113), (2011, 0.04789), (2012, 0.08491), \\ & (2013, 0.05166), (2014, 0.06085), (2015, 0.03183) \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\text{GSYİH büyüme oranı değerler} = \text{GSYİH büyüme oranı lookup}(\text{Time}) \quad (5.6)$$

$$\text{Nüfus} = \text{INTEG}(\text{Nüfus büyümesi}, 53921699) \quad (5.7)$$

$$\text{Nüfus büyümesi} = \text{Nüfus} * \text{Nüfus büyüme oranı} \quad (5.8)$$

$$\text{Nüfus büyüme oranı} = \text{IF THEN ELSE} ((\text{Time} \leq 2015), (\text{Nüfus büyüme oranı değerler}), (1.51/100)) \quad (5.9)$$

$$\begin{aligned} \text{Nüfus büyüme oranı lookup} = & (1990, 0.01704), (1991, 0.01656), (1992, 0.01623), \\ & (1993, 0.01606), (1994, 0.01602), (1995, 0.01601), (1996, 0.01597), (1997, 0.01585), \\ & (1998, 0.01561), (1999, 0.01529), (2000, 0.01504), (2001, 0.01482), (2002, 0.01447), \\ & (2003, 0.01395), (2004, 0.01336), (2005, 0.01266), (2006, 0.01212), (2007, 0.0121), \\ & (2008, 0.01276), (2009, 0.01384), (2010, 0.01496), (2011, 0.0158), (2012, 0.01632), \\ & (2013, 0.0164), (2014, 0.0161), (2015, 0.01585) \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\text{Nüfus büyüme oranı değerler} = \text{Nüfus büyüme oranı lookup}(\text{Time}) \quad (5.11)$$

$$\text{Kişi başına GSYİH} = \text{GSYİH} / \text{Nüfus} \quad (5.12)$$

2010 yılı dolar sabit fiyat ve satınalma gücü paritesiyle hesaplanan GSYİH ve birincil enerji tüketiminden elde edilen birincil enerji yoğunluğu değerleri 1990'dan 2009 yılına

kadar düzensiz bir dağılım sergilemektedir. Enerji yoğunluğunun 2009'dan 2016 yılına kadar olan geçmiş verilerine bakıldığında ise gitgide azaldığı ve üstel bir eğilim gösterdiği görülür. 2023 yılında Türkiye'nin enerji yoğunluğunun 2015 yılına göre %20 oranında azaltılması hedeflerine de uygun olarak enerji yoğunluğu denklemi (5.13)'teki gibi gösterilir. Burada enerji yoğunluğunun 2030 yılına kadar 0,0562392 TEP/1000 \$ seviyesinde kalacağını ifade etmek için de iç içe if then else fonksiyonu kullanılmıştır. Enerji yoğunluğunun 2009'dan önceki değerleri için denklemler (5.14) ve (5.15)'teki gibidir.

$$\text{Enerji yoğunluğu} = \text{IF THEN ELSE}((\text{Time} \leq 2008), (\text{Enerji yoğunluğu değerler}), (\text{IF THEN ELSE}((\text{Time} \leq 2023), (0.091 * (0.97037^{(\text{Time} - 2008)})), (0.0562392)))) \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} \text{Enerji yoğunluğu lookup} = & (1990, 0.07944), (1991, 0.08055), (1992, 0.07983), \\ & (1993, 0.08007), (1994, 0.0821), (1995, 0.08576), (1996, 0.08749), (1997, 0.08539), \\ & (1998, 0.08498), (1999, 0.08604), (2000, 0.08642), (2001, 0.08398), (2002, 0.08622), \\ & (2003, 0.08685), (2004, 0.08469), (2005, 0.08001), (2006, 0.08312), (2007, 0.08494), \\ & (2008, 0.08463) \end{aligned} \quad (5.14)$$

$$\text{Enerji yoğunluğu değerler} = \text{Enerji yoğunluğu lookup}(\text{Time}) \quad (5.15)$$

5.1.2.2 Yenilenemeyen Kaynaklardan Enerji Üretimi

Bu çalışmada yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi Hubbert Teorisine göre modellenmiştir. Hubbert Teorisi 1956 yılında ABD'de Shell Petrol şirketinde çalışan jeolog M. King Hubbert tarafından ileri sürülmüştür. Burada tepe noktası kavramı ilk kez petrol üretiminin gelecek durumunu hesaplamak için kullanılmıştır. ABD'nin petrol üretiminde tepe noktasına 1965 ve 1970 yılları arasında ulaşacağı doğru olarak tahmin edilmiştir. Bu teoriye göre sınırlı kaynakların üretimi sıfırdan başlayarak tepe noktasına ulaştıktan sonra yeniden azalarak sıfıra yaklaşan bir çan eğrisi grafiğini takip eder.

Hubbert modeli (5.16)'da gösterilen lojistik denkleme dayanır. Denklemden "P" yıllık üretimi, "Q" kümülatif üretimi, "R" elde edilebilir son rezervleri ve "a" iç büyüme oranını ifade eder.

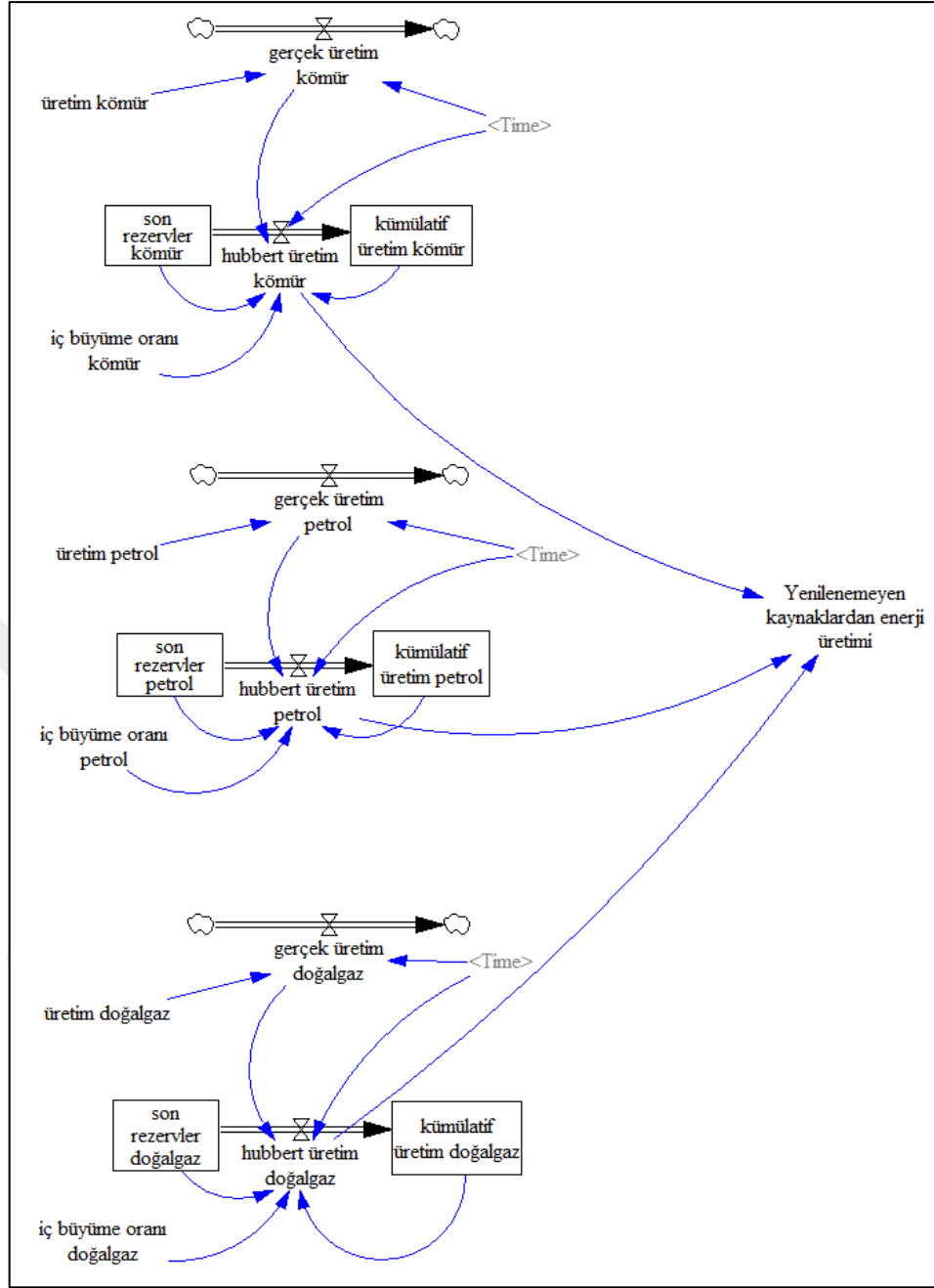
$$P = a \times Q \times (1 - Q/R) \quad (5.16)$$

Hubbert modelinin matematiksel olarak ifadesinde "P" yıllık üretim ve "Q" kümülatif üretim verileri kullanılır. Her yıl için P/Q değerleri hesaplanarak Q'ya karşılık P/Q değerleri grafik üzerinde gösterilir. Burada değerlerin yaklaşık olarak lineer bir negatif

eğilim gösterdiği yıldan itibaren regresyon analizi yapılır. (5.16)'da eşitliğin her iki tarafının Q'ya bölünmesiyle elde edilen denklem (5.17)'de gösterilmiştir. Denklemde “m” a/R'ye eşit olduğundan R değeri de regresyon analizi sonucu a/m'den hesaplanabilmektedir.

$$P/Q = a - (m \times Q) \quad (5.17)$$

Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretiminde kömür, petrol ve doğal gaz için Hubbert modeli uygulanmıştır. Bu çalışmada her bir kaynak için 1972-2016 yılı verileri kullanılmıştır. Ancak elde edilebilir son rezervler ve iç büyüme oranı değerlerinin regresyon analizi sonucu doğru tahmin edilmesi oldukça zor bir iştir. Bu yüzden 2016 yıl sonu itibariyle elde edilebilir son rezerv miktarları kömür için BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporu'ndan, petrol ve doğal gaz için Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Farklı iç büyüme oranı senaryolarıyla da 2010-2016 yıllarında modelin tahmin performansı test edildiğinde en düşük tahmin hatasını veren değerler modelde kullanılmıştır. Modelin akış diyagramı Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Son rezervler ve kümülatif üretim stok değişkeni, gerçek üretim ve hubbert üretim akış değişkeni, iç büyüme oranı ara değişken ve 2016 yılından önceki gerçek üretim değerleri lookup değişken türü ile tablo olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5. 4 Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi akış diyagramı

Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi (5.18)'deki gösterildiği gibi kömür, petrol ve doğal gazdan enerji üretimi toplamını ifade eder.

$$\text{Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi} = \text{Hubbert üretim kömür} + \text{Hubbert üretim petrol} + \text{Hubbert üretim doğalgaz} \quad (5.18)$$

Kömür için iç büyüme oranı 0,037 ve elde edilebilir son rezervler 4000 milyon TEP olarak alınmıştır. Model için başlangıç zamanı 1990 yılı olarak ayarlandığından elde edilebilir son rezervler ve kümülatif üretimin ilk değerleri bu yıla göre değiştirilmiştir. Modelde 1990 yılından 2016 yılına kadar olan kömür üretimi verileri lookup tablo

fonksiyonu seçilerek tanımlanmıştır. Hubbert üretimi denklemi if then else fonksiyonu kullanılarak modele eklenmiştir. Kömür üretimi ile ilgili denklemler (5.19), (5.20), (5.21), (5.22), (5.23) ve (5.24)'te gösterilmiştir.

$$\text{Gerçek üretim kömür} = \text{Üretim kömür (Time)} \quad (5.19)$$

$$\text{Kümülatif üretim kömür} = \text{INTEG (Hubbert üretim kömür, 143.133)} \quad (5.20)$$

$$\text{Hubbert üretim kömür} = \text{IF THEN ELSE ((Time} \leq 2016), (\text{Gerçek üretim kömür}), ((1 - (\text{Kümülatif üretim kömür} / \text{Son rezervler kömür})) * \text{Kümülatif üretim kömür} * \text{İç büyüme oranı kömür})) \quad (5.21)$$

$$\text{İç büyüme oranı kömür} = 0.037 \quad (5.22)$$

$$\text{Üretim kömür} = (1990, 11.401), (1991, 10.664), (1992, 11.483), (1993, 11.215), (1994, 11.666), (1995, 11.673), (1996, 12.089), (1997, 12.819), (1998, 13.447), (1999, 12.956), (2000, 12.951), (2001, 12.417), (2002, 11.54), (2003, 11.571), (2004, 10.511), (2005, 10.975), (2006, 12.945), (2007, 15.068), (2008, 16.375), (2009, 16.743), (2010, 16.782), (2011, 16.553), (2012, 15.556), (2013, 13.553), (2014, 13.812), (2015, 12.625), (2016, 15.459) \quad (5.23)$$

$$\text{Son rezervler kömür} = \text{INTEG} (- \text{Hubbert üretim kömür}, 3857.87) \quad (5.24)$$

Petrol için iç büyüme oranı 0,061 ve son rezervler 300 milyon TEP olarak alınmıştır. Model için başlangıç zamanı 1990 yılı olarak ayarlandığından son rezervler ve kümülatif üretimin ilk değerleri bu yıla göre değiştirilmiştir. Modelde 1990 yılından 2016 yılına kadar olan petrol üretimi verileri lookup tablo fonksiyonu seçilerek tanımlanmıştır. Hubbert üretimi denklemi if then else fonksiyonu kullanılarak modele eklenmiştir. Petrol üretimi ile ilgili denklemler (5.25), (5.26), (5.27), (5.28), (5.29) ve (5.30)'da gösterilmiştir.

$$\text{Gerçek üretim petrol} = \text{Üretim petrol (Time)} \quad (5.25)$$

$$\text{Kümülatif üretim petrol} = \text{INTEG (Hubbert üretim petrol, 51.463)} \quad (5.26)$$

$$\text{Hubbert üretim petrol} = \text{IF THEN ELSE ((Time} \leq 2016), (\text{Gerçek üretim petrol}), ((1 - (\text{Kümülatif üretim petrol} / \text{Son rezervler petrol})) * \text{Kümülatif üretim petrol} * \text{İç büyüme oranı petrol})) \quad (5.27)$$

$$\text{İç büyüme oranı petrol} = 0.061 \quad (5.28)$$

Üretim petrol = (1990, 3.902), (1991, 4.673), (1992, 4.494), (1993, 4.086), (1994, 3.871), (1995, 3.691), (1996, 3.674), (1997, 3.629), (1998, 3.384), (1999, 3.086), (2000, 2.886), (2001, 2.679), (2002, 2.563), (2003, 2.493), (2004, 2.389), (2005, 2.395), (2006, 2.284), (2007, 2.240), (2008, 2.268), (2009, 2.349), (2010, 2.620), (2011, 2.485), (2012, 2.454), (2013, 2.518), (2014, 2.578), (2015, 2.641), (2016, 2.701) (5.29)

Son rezervler petrol = INTEG (– Hubbert üretim petrol, 249.537) (5.30)

Doğal gaz için iç büyüme oranı 0,11 ve son rezervler 30 milyon TEP olarak alınmıştır. Model için başlangıç zamanı 1990 yılı olarak ayarlandığından son rezervler ve kümülatif üretimin ilk değerleri bu yıla göre değiştirilmiştir. Modelde 1990 yılından 2016 yılına kadar olan doğal gaz üretimi verileri lookup tablo fonksiyonu seçilerek tanımlanmıştır. Hubbert üretimi denklemi if then else fonksiyonu kullanılarak modele eklenmiştir. Doğal gaz üretimi ile ilgili denklemler (5.31), (5.32), (5.33), (5.34), (5.35) ve (5.36)'da gösterilmiştir.

Gerçek üretim doğalgaz = Üretim doğalgaz (Time) (5.31)

Kümülatif üretim doğalgaz = INTEG (Hubbert üretim doğalgaz, 2.241) (5.32)

Hubbert üretim doğalgaz = IF THEN ELSE ((Time <= 2016), (Gerçek üretim doğalgaz), ((1 – (Kümülatif üretim doğalgaz / Son rezervler doğalgaz))*Kümülatif üretim doğalgaz*İç büyüme oranı doğalgaz)) (5.33)

İç büyüme oranı doğalgaz = 0.11 (5.34)

Üretim doğalgaz = (1990, 0.174), (1991, 0.167), (1992, 0.163), (1993, 0.165), (1994, 0.165), (1995, 0.15), (1996, 0.169), (1997, 0.208), (1998, 0.465), (1999, 0.603), (2000, 0.527), (2001, 0.257), (2002, 0.312), (2003, 0.462), (2004, 0.583), (2005, 0.74), (2006, 0.747), (2007, 0.736), (2008, 0.838), (2009, 0.564), (2010, 0.562), (2011, 0.627), (2012, 0.521), (2013, 0.443), (2014, 0.395), (2015, 0.314), (2016, 0.302) (5.35)

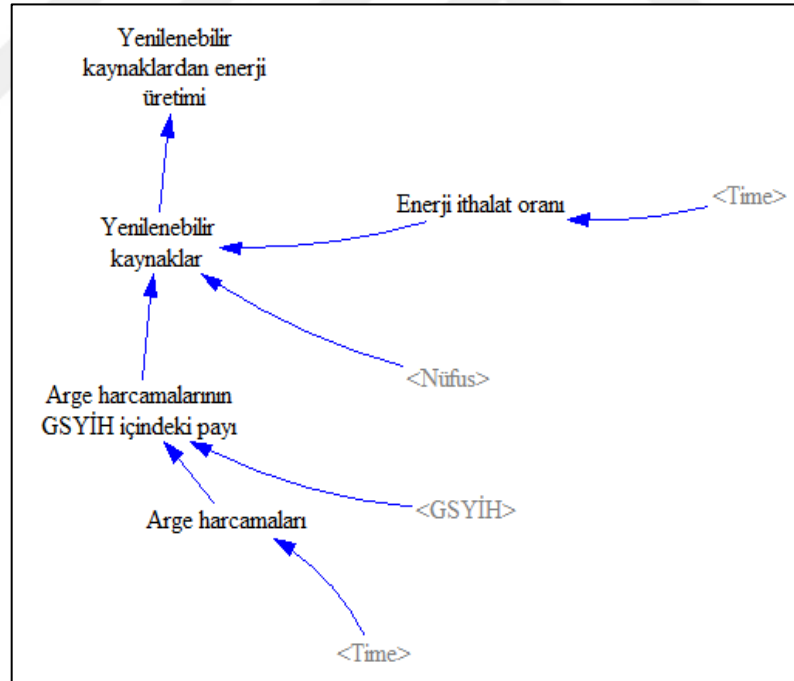
Son rezervler doğalgaz = INTEG (– Hubbert üretim doğalgaz, 28.759) (5.36)

5.1.2.3 Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretimi

Türkiye’de yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi hidroelektrik enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisini kapsamaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak yüksek yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesi için teşvik ve destekleme

mekanizmaları geliştirilmiştir. Türkiye’de yenilenebilir enerji teşviklerinde ilk düzenlemeler 2005 yılında yapılmaya başlanmıştır. 2010 yılı ve sonrasında tarifelerde güncellemeler, sabit fiyat garantisi ve vergi muafiyetleri gibi yeni düzenlemelerle birlikte yenilenebilir enerji kullanımı da giderek artmaktadır.

Nüfustaki artış, enerji ithalatı ve teknoloji alanında kaydedilen ilerlemeler yenilenebilir enerji kullanımında belirleyici bir role sahiptir. Teknolojiyle bağlantılı diğer bir kavram olan Ar-Ge araştırma sonucunda yeni bir süreç, sistem ve uygulamaları geliştirme ve yenileme faaliyetlerini içerir. Bu kapsamda yapılan Ar-Ge harcamaları ekonomik büyümeye ve refah artışına katkıda bulunur. Ülkelerin teknolojik gelişme anlamında birbirine karşı üstünlük kurmada Ar-Ge harcamalarına ayırdıkları paylar belirleyici olmakta ve Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı teknolojik gelişmenin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi, nüfus, enerji ithalat oranı ve Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı ile ilişkilendirilmiştir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi için akış diyagramı Şekil 5.5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. 5 Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi akış diyagramı

Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payında Ar-Ge harcamaları ve GSYİH için 2010 yılı dolar sabit fiyat ve satınalma gücü paritesiyle hesaplanan değerler kullanılmıştır. 1990-2016 yılları verileriyle yapılan regresyon analizi sonucu elde edilen denklem (5.37)’de gösterilmiştir. Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı, nüfus ve enerji

ithalat oranı verilerinde ln dönüşümü yapıldığı için yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin hesaplanmasında denklem (5.38)'de gösterildiği gibi üs fonksiyonu kullanılmıştır. Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı için ilgili denklem (5.39)'da ve Ar-Ge harcamalarının zamana bağlı olarak gösterdiği üstel eğilim denklemi (5.40)'da yer almaktadır. Enerji ithalat oranı verilerinde ln dönüşümü yapıldığında elde edilen zamana bağlı s eğrisi denklemi (5.41)'de gösterilmiştir. Burada if then else fonksiyonu kullanılarak 1990, 1991 ve 1992 yılları için denklemden elde edilen çok düşük değerler gerçeğe yaklaştırılmıştır. Ar-Ge harcamaları ve enerji ithalat oranı için elde edilen denklemlerde de 1990 ve 2016 yılları arasındaki veriler dikkate alınmıştır.

$$\text{Yenilenebilir kaynaklar} = -134.3 - (0.758 * \text{LN}(\text{Arge harcamalarının GSYİH içindeki payı})) + (7.5 * \text{LN}(\text{Nüfus})) - (2.66 * \text{Enerji ithalat oranı}) \quad (5.37)$$

$$\text{Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi} = \text{EXP}(\text{Yenilenebilir kaynaklar}) \quad (5.38)$$

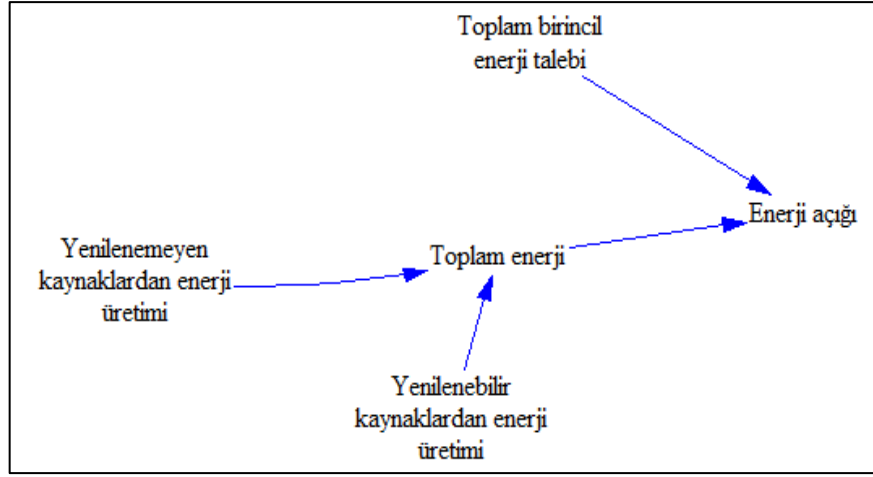
$$\text{Arge harcamalarının GSYİH'ya oranı} = (\text{Arge harcamaları} / \text{GSYİH}) * 100 \quad (5.39)$$

$$\text{Arge harcamaları} = 1337.87 * (1.09912^{(\text{Time}-1989)}) \quad (5.40)$$

$$\text{Enerji ithalat oranı} = \text{IF THEN ELSE}((\text{Time} \leq 1992), (-0.55), ((10^1)/(-32.895 + 25.7005 * (0.872626^{(\text{Time}-1989))}))) \quad (5.41)$$

5.1.2.4 Enerji Açığı

Hızla artan enerji talebi karşısında yerli kaynakların enerji arzı içerisindeki payının hemen hemen aynı kalması enerji ithalatını artırmaktadır. Bu durum dış ticaret açığının en büyük sebeplerinden birini meydana getirmektedir. Türkiye'de 1990 yılında enerji ihtiyacının yaklaşık %56'sı ithalat yoluyla karşılanırken, şu an bu oran %75'e kadar yükselmiştir. İthalat oranındaki bu yükselişte artan petrol ve doğal gaz talebi etkili olmaktadır. Enerji konusunda Türkiye'nin büyük oranda dışa bağımlılığı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yeni yatırımların yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Enerji açığı ile ilgili akış diyagramı Şekil 5.6'da ve denklemler (5.42) ve (5.43)'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 6 Enerji açığı akış diyagramı

$$\text{Enerji açığı} = \text{Enerji talebi} - \text{Toplam enerji} \quad (5.42)$$

$$\text{Toplam enerji} = \text{Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi} + \text{Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi} \quad (5.43)$$

5.1.3 Modelin Geçerliliği

Sistem dinamiği modeli Vensim yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Vensim, akış diyagramlarına dayalı sistem dinamiği modellerini oluşturmak ve analiz etmek için kullanılan güçlü bir modelleme aracıdır. Modeli doğrulamak için değişkenlerin gerçek değerleri ile simülasyon sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmaktadır. Tahmin hassasiyetinin değerlendirilmesinde hataların mutlak değerlerinin ortalaması, hataların karelerinin ortalaması, hatalarının karelerinin ortalamasının karekökü gibi farklı performans ölçütleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada hataların mutlak değerlerinin ortalamasının gerçek değerlerin yüzdesi olarak gösterildiği MAPE değerleri kullanılmıştır. Gerçek değer ile tahmin değeri arasındaki fark diğer bir ifadeyle hata e_i , gerçek değer Y_i ve n veri sayısı olmak üzere MAPE (5.44) denklemi yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu değerlerin %10'un altında olması tahmin doğruluğunun yüksek, %10-%20 arasında olması iyi, %20-%50 arasında olması kabul edilebilir ve %50'nin üzerinde olması hatalı olduğunu gösterir [158].

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|e_i|}{Y_i} \times 100 \quad (5.44)$$

Bu çalışmada, birincil enerji talebi ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi değişkenleri için MAPE değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Seçilen bu değişkenler için MAPE değerleri 2010'dan 2016 yılına kadar olan gerçek değerler ile simülasyon

sonucunda elde edilen değerlerden hesaplanmıştır. Birincil enerji talebi ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi için hesaplanan MAPE değerleri sırasıyla %2,85 ve %8,08'dir. Sonuçların %10'un altında olması modelin tahmin doğruluğunun yüksek olduğunu gösterir.

Çizelge 5. 1 MAPE değerleri

	Birincil enerji talebi			Yenilenebilir enerji üretimi		
	Tahmin	Gerçek	MAPE	Tahmin	Gerçek	MAPE
2010	108,097	110,9662	0,025857	11,7929	12,6	0,064056
2011	116,551	114,9481	0,013945	13,2248	13,2	0,001879
2012	118,514	120,148	0,0136	14,2842	14,8	0,034851
2013	124,768	118,5491	0,052459	15,9102	15,7	0,013389
2014	127,325	122,555	0,038922	17,3271	12	0,443925
2015	131,071	131,9115	0,006372	18,9612	19	0,002042
2016	131,235	137,8752	0,048161	20,2877	20,4	0,005505
			2,85%			8,08%

5.2 Senaryo Analizi ve Simülasyon Sonuçları

Türkiye'nin toplam birincil enerji talebi ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin gelecekteki eğilimlerini araştırmak için senaryo analizi uygulanmıştır. GSYİH ve nüfus büyüme oranı ortalama değerlerinin kullanıldığı temel senaryo ile düşük ve yüksek büyüme senaryoları oluşturulmuştur. Mevcut eğilimlerin korunduğu temel senaryoda GSYİH büyüme oranı %6 ve nüfus büyüme oranı %1,51 olarak ayarlanmıştır. Mevcut eğilimlerin en düşük ve en yüksek seviyelerde devam edeceğinin varsayıldığı düşük ve yüksek büyüme senaryolarında sırasıyla GSYİH büyüme oranı %4, nüfus büyüme oranı %1,21 ve GSYİH büyüme oranı %8, nüfus büyüme oranı %1,68 olarak değiştirilerek model simüle edilmiştir. Senaryolar için büyüme oranı değerleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

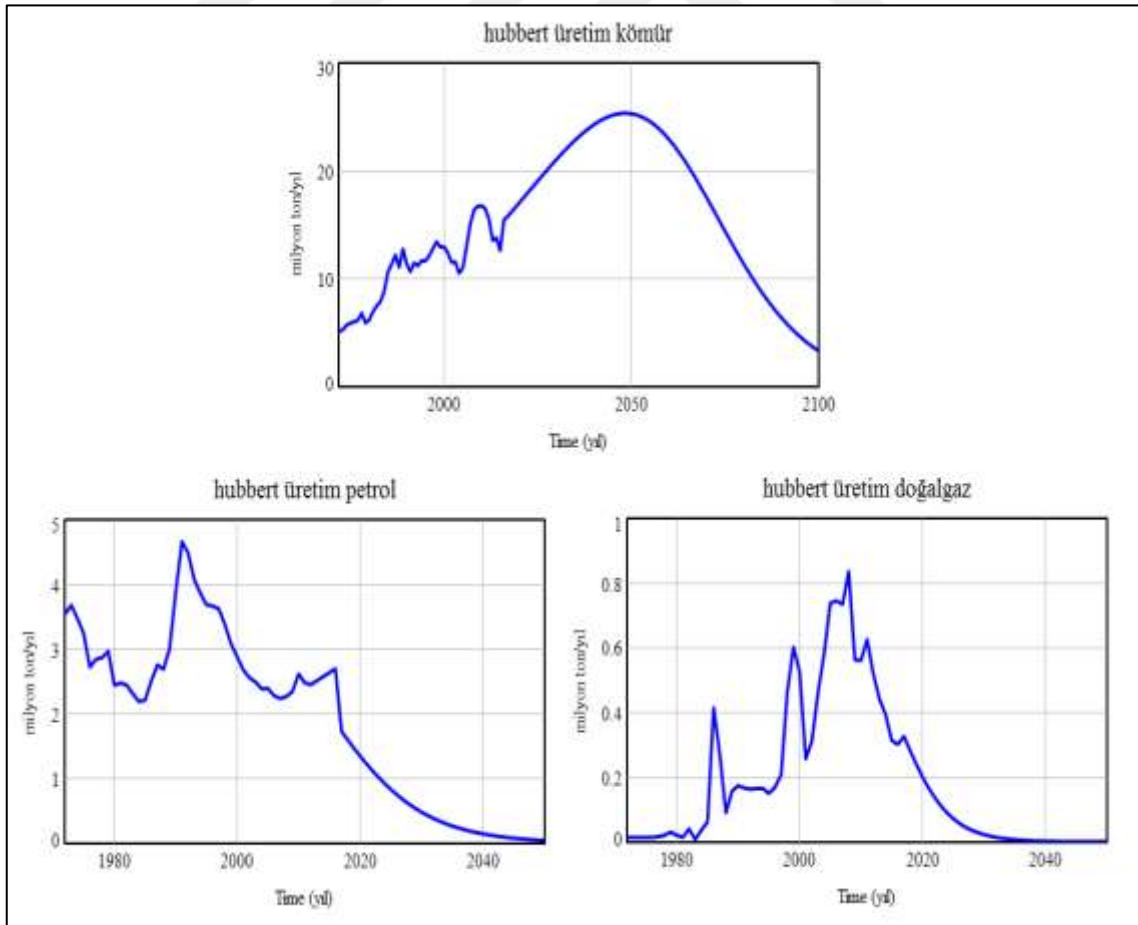
Çizelge 5. 2 Senaryo analizi

Senaryo	GSYİH büyüme oranı	Nüfus büyüme oranı
Düşük Senaryo	4%	1,21%
Temel Senaryo	6%	1,51%
Yüksek Senaryo	8%	1,68%

5.2.1 Temel Senaryo

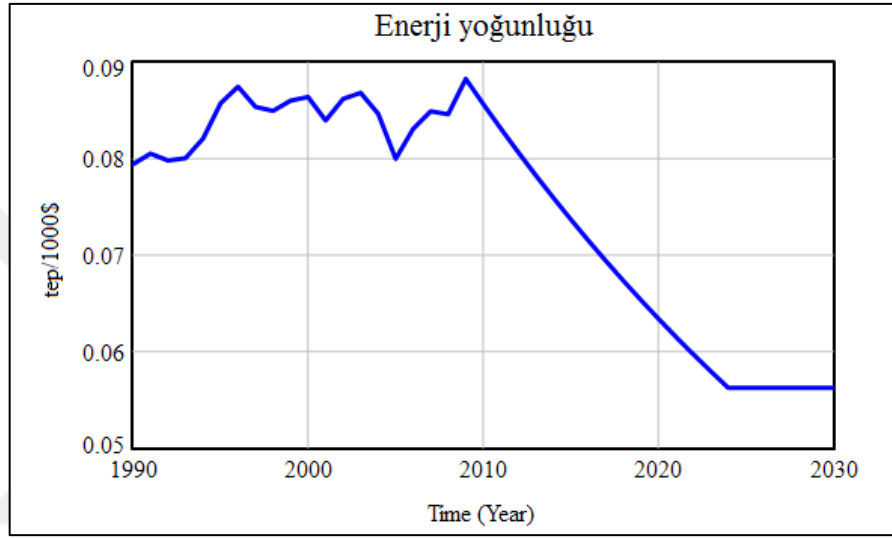
GSYİH büyüme oranının %6 ve nüfus büyüme oranının %1,51 olduğu temel senaryoda model simüle edildiğinde elde edilen kömür, petrol ve doğal gaz üretimi, enerji yoğunluğu, nüfus, GSYİH, toplam birincil enerji talebi, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ve enerji açığı grafikleri Şekil 5.7-13'te gösterilmiştir. Kömür, petrol ve doğal gaz üretimi ile enerji yoğunluğu GSYİH ve nüfus büyüme oranındaki değişimlerden etkilenmediğinden diğer senaryolarda da aynı sonuçları vereceği için bu değişkenlerin grafiksel gösterimine sadece bu başlık altında yer verilmiştir.

Hubbert teorisine göre modellenen yenilenemeyen enerji kaynaklarının tepe noktasına ulaştıktan sonra gittikçe azalarak yakın bir gelecekte tamamen tükeneceği Şekil 5.7'de görülmektedir. Petrol 1991 ve doğal gaz 2008 yıllarında tepe noktasına sırasıyla yıllık 4,673 milyon TEP ve 838,65 bin TEP üretimle ulaşmıştır. Kömür ise 2048 yılında 25,3963 milyon TEP yıllık üretim değeriyle tepe noktasına ulaşacaktır. 2030 yılında kömür üretiminin yaklaşık olarak 21 milyon TEP, petrol üretiminin 480 bin TEP ve doğal gaz üretiminin ise sadece 22 bin TEP olacağı tahmin edilmektedir.



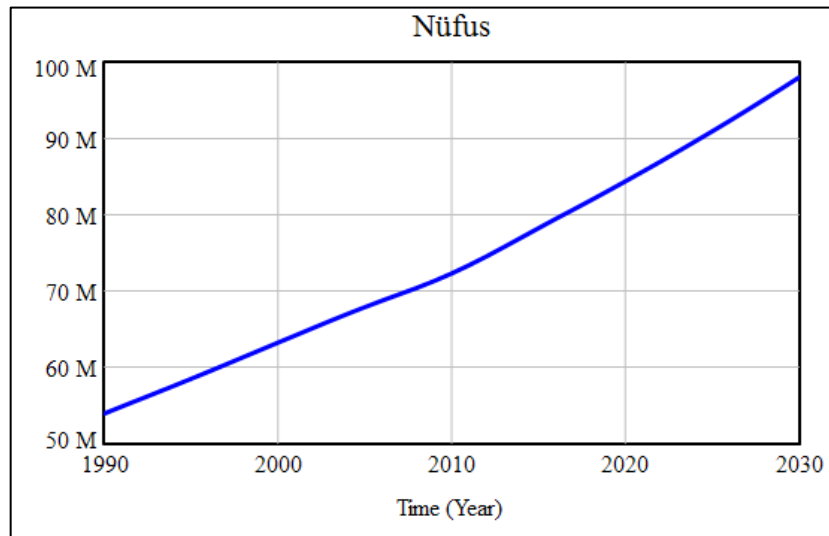
Şekil 5. 7 Temel senaryoda kömür, petrol ve doğal gaz için Hubbert üretimi

Enerji yoğunluğu Şekil 5.8’de görüldüğü gibi 1990 yılından 2009 yılına kadar 0,08 ve 0,09 TEP/1000 \$ arasında değişen değerler almakta ve 2009 yılı sonrasında azalma eğilimi göstermektedir. Simülasyon sonuçlarına göre 2015 yılında 0,073 TEP/1000 \$ olan enerji yoğunluğu 2023 yılında 0,057 TEP/1000 \$’a düşecek ve 2030 yılına kadar 0,056 TEP/1000 \$ seviyesinde devam edecektir. Böylece ETKB tarafından belirlenen 2023 yılında enerji yoğunluğunun 2015 yılına göre %20 oranında azaltılması hedefine ulaşılabacaktır. Bu hedefe ulaşılmasında sektörel enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenmesi ve enerjinin etkin kullanılması gerekmektedir.



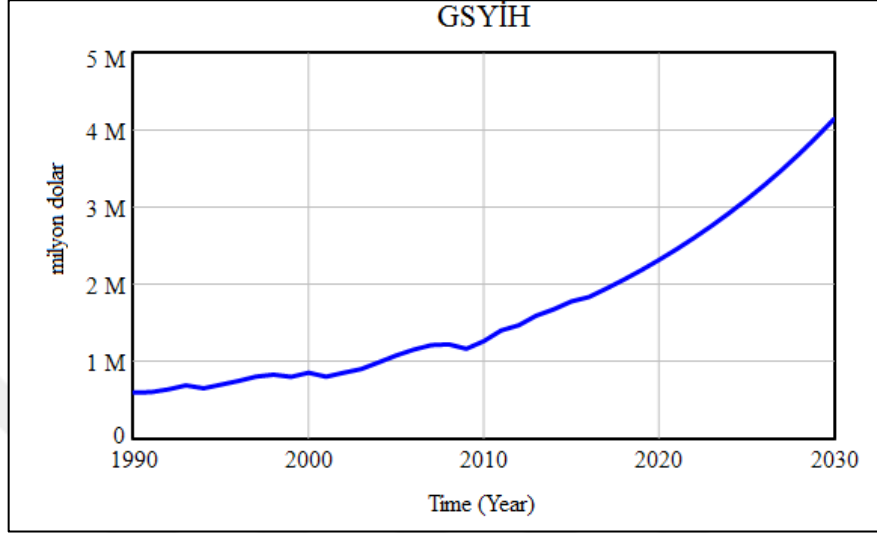
Şekil 5. 8 Temel senaryoda enerji yoğunluğu

2016 yılından sonra nüfus büyüme oranı temel senaryoda %1,51 olarak belirlenmiştir. Buna göre 2016 yılında 79512426 olan nüfus 2030 yılında 98062300’e ulaşacaktır. Son 15 yılda yaklaşık 20 milyonluk bir nüfus artışı gözlenecektir.



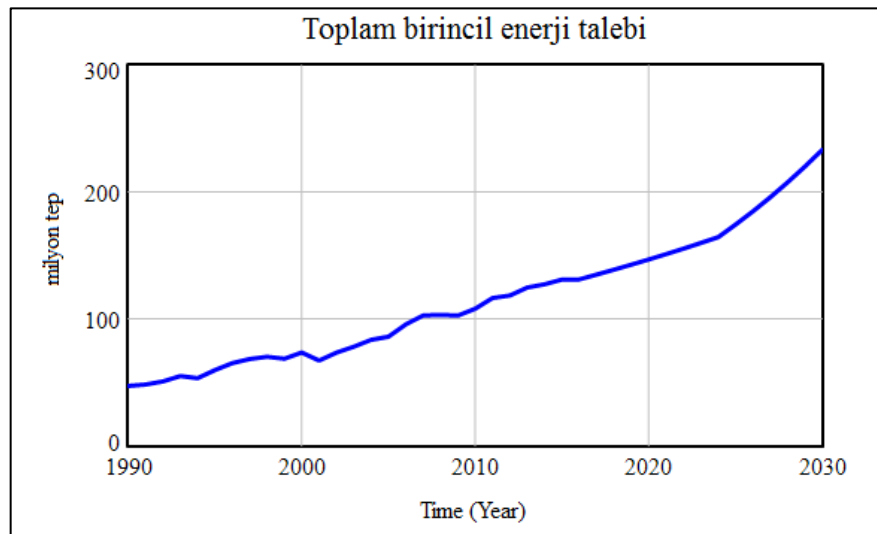
Şekil 5. 9 Temel senaryoda nüfus

1990 yılından itibaren Türkiye ekonomisinin ekonomik krizlerin yaşandığı yıllar dışında büyüme gösterdiği görülmektedir. Ekonomideki bu büyümenin devam edeceği varsayılarak GSYİH büyüme oranının %6 olarak belirlendiği temel senaryoda GSYİH'nın 2016 yılında 1836,3787 milyar dolar iken 2030 yılında 4147,56 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir.



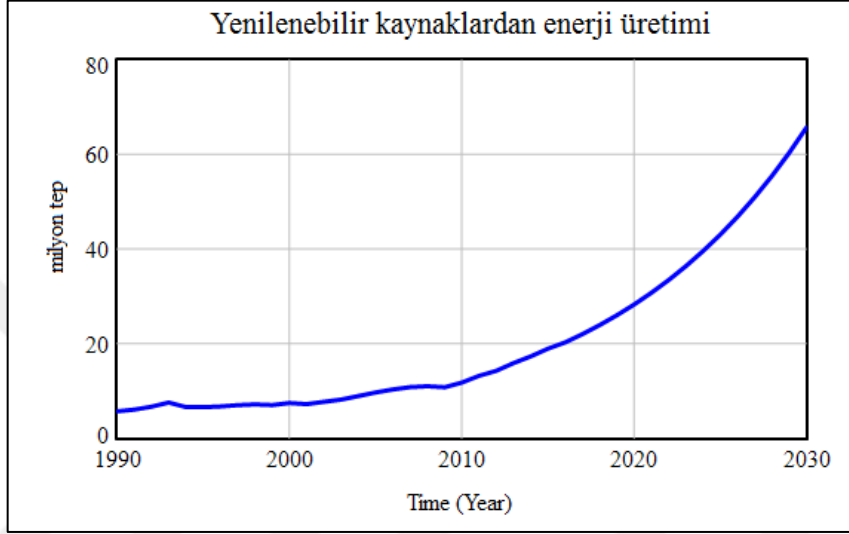
Şekil 5. 10 Temel senaryoda GSYİH

Nüfus artışı ve ekonomik büyümeye paralel olarak toplam birincil enerji talebi de hızla artmaktadır. Enerji verimliliği çalışmalarıyla enerji yoğunluğunun 2015 yılına kıyasla 2023 yılında %20 oranında düşeceği tahmin edilse de birincil enerji talebi artmaya devam edecektir. 2016 yılında 137,875 milyon TEP iken 2030 yılında 233,256 milyon TEP'e ulaşacaktır.



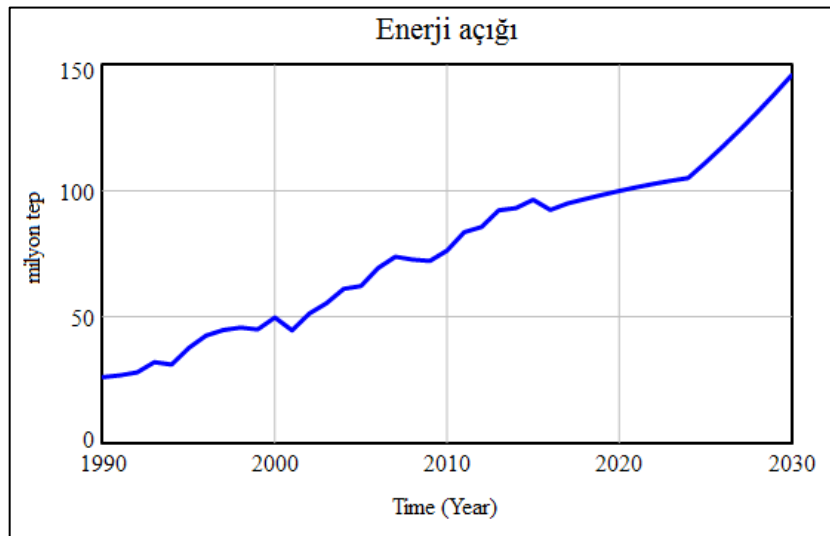
Şekil 5. 11 Temel senaryoda toplam birincil enerji talebi

Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin de birincil enerji talebiyle benzer olarak 1990 yılından itibaren artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 2000’li yılların başlarında 7 milyon TEP olan yenilenebilir enerji üretiminin 2016 yılında yaklaşık olarak 3 katına çıkarak 20 milyon TEP noktasına ulaştığı görülmektedir. Temel senaryoda elde edilen sonuçlara göre ise 2030 yılında 65,7047 milyon TEP olacağı tahmin edilmektedir. Böylece yenilenebilir enerjinin toplam birincil enerji talebi içindeki payı 2016 yılında %14 iken 2030 yılında %28 olacaktır.



Şekil 5. 12 Temel senaryoda yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi

1990 yılından günümüze kadar artma eğiliminde olan enerji açığı temel senaryoda artmaya devam edecektir. 2024 yılından sonra ise bu artış hızlanacak ve 2030 yılında enerji açığı 145,968 milyon TEP olacaktır. Bu durumda toplam talebin yaklaşık %62’si enerji ithalatı yoluyla karşılanacaktır.

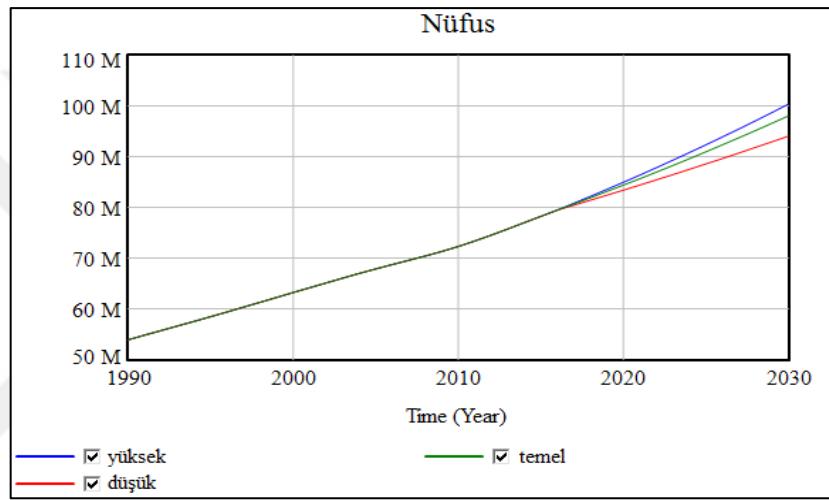


Şekil 5. 13 Temel senaryoda enerji açığı

5.2.2 Senaryo Karşılaştırmaları

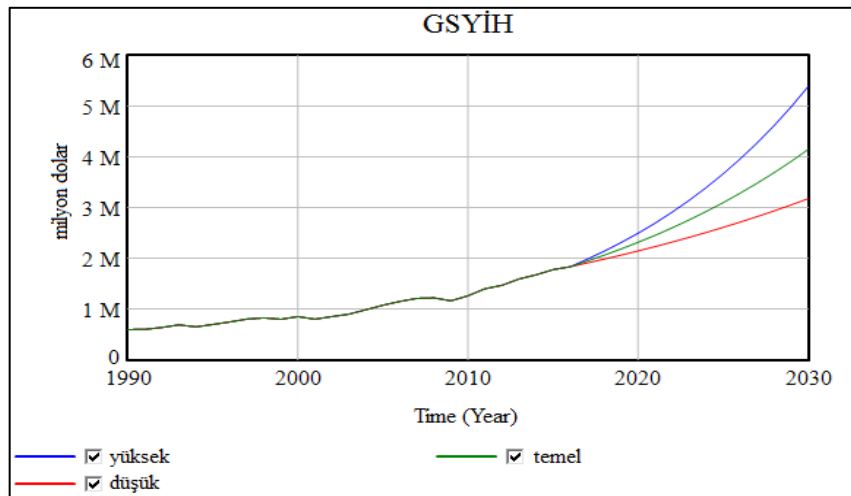
Model temel senaryodan sonra GSYİH büyüme oranının %4, nüfus büyüme oranının %1,21 olduğu düşük büyüme senaryosunda ve GSYİH büyüme oranının %8, nüfus büyüme oranının %1,68 olduğu yüksek büyüme senaryosunda simüle edilmiştir. Elde edilen nüfus, GSYİH, toplam birincil enerji talebi, yenilenebilir enerji üretimi ve enerji açığının bu üç senaryo için karşılaştırmalı grafikleri Şekil 5.14-18’de gösterilmiştir.

Nüfusun 2030 yılında düşük büyüme senaryosunda 94082000, temel senaryoda ise 98062300 olacağı tahmin edilmektedir. Yüksek büyüme senaryosunda nüfus 100 milyonu aşarak 100387000’e ulaşacaktır.



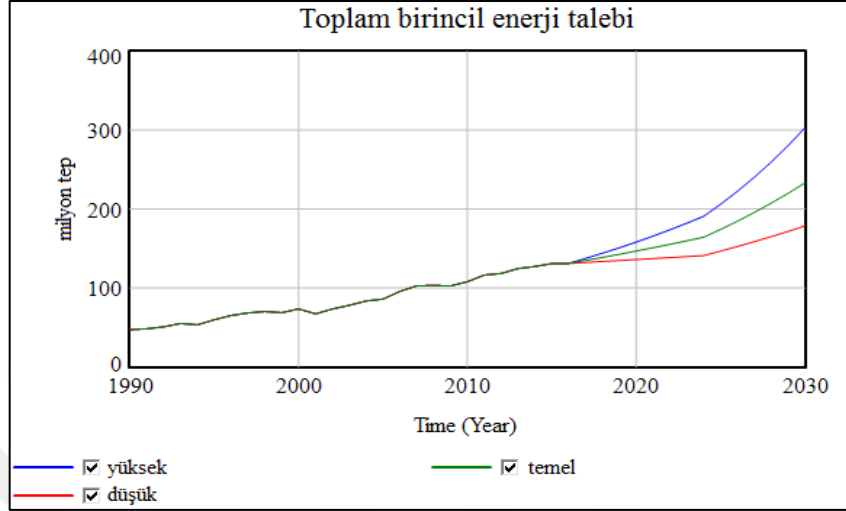
Şekil 5. 14 Nüfus senaryo karşılaştırma

Türkiye ekonomisinin üç senaryoda da büyümeye devam edeceği ve GSYİH’nın 2030 yılında düşük büyüme senaryosu, temel senaryo ve yüksek büyüme senaryosunda sırasıyla 3176,71, 4147,56 ve 5388,2 milyar dolar olacağı tahmin edilmektedir.



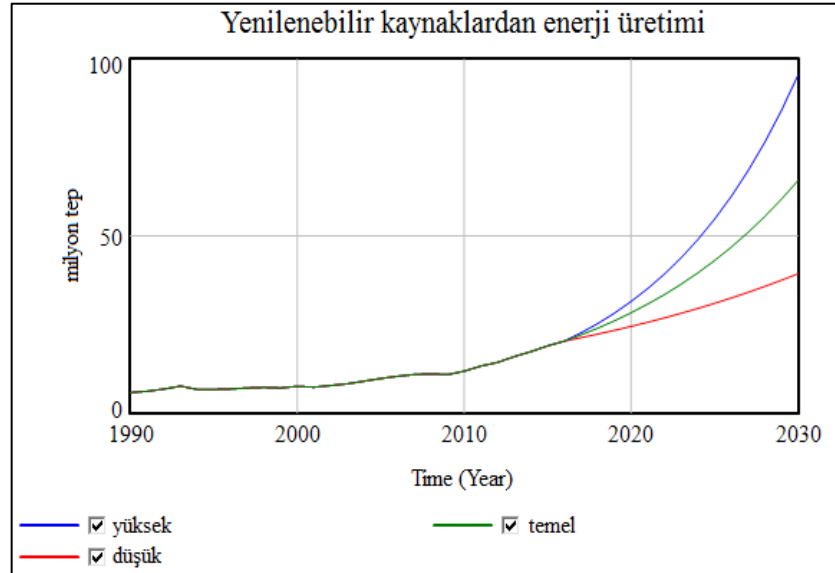
Şekil 5. 15 GSYİH senaryo karşılaştırma

Toplam birincil enerji talebi 2030 yılında düşük büyüme senaryosunda 178,656 milyon TEP'e ulaşacaktır. Temel senaryoda bu değer 233,256 milyon TEP olarak tahmin edilmektedir. Yüksek büyüme senaryosunda ise birincil enerji talebi 2016 değerinin yaklaşık 2,5 katına çıkarak 303,028 milyon TEP olacaktır.



Şekil 5. 16 Toplam birincil enerji talebi senaryo karşılaştırma

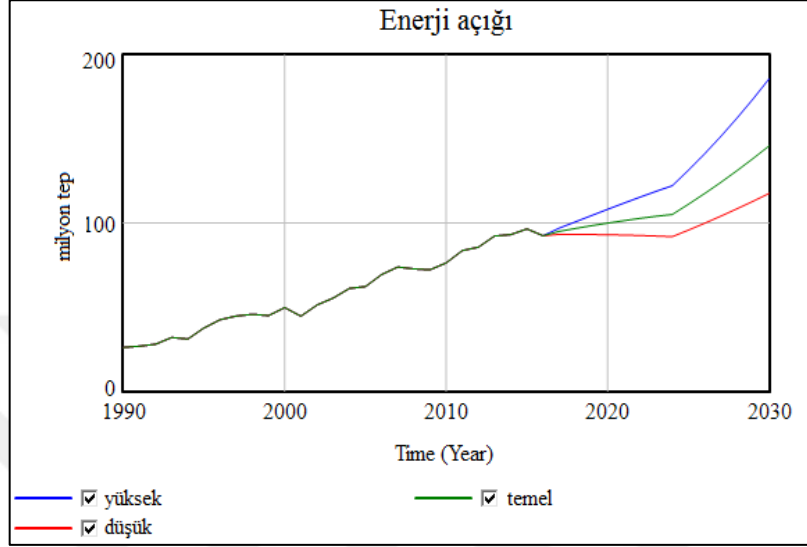
Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin 2030 yılında düşük büyüme senaryosunda 39,3408 milyon TEP, temel senaryoda 65,7047 milyon TEP ve yüksek büyüme senaryosunda 95,5108 milyon TEP olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 5. 17 Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi senaryo karşılaştırma

1990 yılından itibaren Türkiye enerji açığı, hızla artan enerji talebi karşısında yerli kaynakların yetersiz kalması sonucu gittikçe artmaktadır. Simülasyon sonucuna göre 2024 yılına kadar temel senaryo ve yüksek büyüme senaryosunda enerji açığındaki artış

yavaş olacak; 2024 yılından 2030 yılına kadar daha hızlı artışlar gözlenecektir. Enerji açığı yalnızca düşük büyüme senaryosunda 2016-2024 yılları arasında düşme eğilimi gösterecek olsa da 2024 yılından sonra artmaya başlayacaktır. 2030 yılında düşük büyüme senaryosu, temel senaryo ve yüksek büyüme senaryosunda sırasıyla 117,732 milyon TEP, 145,968 milyon TEP ve 185,935 milyon TEP olacaktır.



Şekil 5.18 Enerji açığı senaryo karşılaştırma

5.2.3 Sonuçların Önceki Çalışmalar ile Karşılaştırılması

Türkiye'nin 2030 yılına kadar toplam birincil enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretiminin düşük büyüme senaryosu, temel senaryo ve yüksek büyüme senaryosu olmak üzere üç senaryoda simülasyon sonuçları Çizelge 5.3'te yer almaktadır. Elde edilen bu sonuçlar literatürde yapılan önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılacaktır. Türkiye'de yapılan çalışmalar içerisinde yenilenebilir enerji üretimine yönelik tahmin çalışmaları bulunmadığından bu karşılaştırma yalnızca birincil enerji talebi tahmin çalışmaları için yapılacaktır.

Çizelge 5. 3 Birincil enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretimi sonuçları

	Birincil Enerji Talebi (milyon TEP)			Yenilenebilir Enerji Üretimi (milyon TEP)		
	Düşük Senaryo	Temel Senaryo	Yüksek Senaryo	Düşük Senaryo	Temel Senaryo	Yüksek Senaryo
2016	131,235	131,235	131,235	20,2877	20,2877	20,2877
2017	132,441	134,988	137,535	21,247	22,0398	22,6363
2018	133,657	138,847	144,136	22,2571	23,9496	25,2641
2019	134,885	142,817	151,055	23,3216	26,0306	28,2034
2020	136,124	146,901	158,305	24,4416	28,2992	31,4911
2021	137,374	151,101	165,904	25,6197	30,7706	35,1685
2022	138,636	155,421	173,867	26,8596	33,4631	39,2814
2023	139,909	159,865	182,213	28,1629	36,3961	43,8813
2024	141,194	164,436	190,959	29,5334	39,5914	49,0256
2025	146,842	174,302	206,236	30,9732	43,0704	54,7786
2026	152,716	184,76	222,735	32,4862	46,8607	61,213
2027	158,824	195,846	240,553	34,0752	50,9884	68,4075
2028	165,177	207,597	259,798	35,7453	55,481	76,4528
2029	171,784	220,052	280,581	37,499	60,3757	85,4506
2030	178,656	233,256	303,028	39,3408	65,7047	95,5108

Ceylan ve Öztürk [9] genetik algoritma yaklaşımını kullanarak geliştirdikleri modelde 2025 yılı enerji talebini iki farklı senaryo için de üstel formda yaklaşık olarak 300 milyon TEP ve doğrusal formda yaklaşık olarak 130 milyon TEP olarak tahmin etmişlerdir. Üçüncü senaryoda zaman serileri modeli uygulanmıştır. Polinom eğilim denkleminde göre hesaplanan enerji talebi 2025 yılında yaklaşık olarak 175 milyon TEP olarak tahmin edilmiştir. Toksarı [29] karınca kolonisi optimizasyonu algoritmasını kullanarak doğrusal formda geliştirdiği modelde 2025 yılı enerji talebini üç farklı senaryo için yaklaşık 130-150 milyon TEP değerlerinde ve kuadratik formda geliştirdiği modelde üç farklı senaryo için sırasıyla 200 milyon TEP, 330 milyon TEP ve 200 milyon TEP olarak tahmin etmiştir. Ünler [4] parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını kullanarak doğrusal formda geliştirdiği modelde 2025 yılı enerji talebini üç farklı senaryo için sırasıyla 147 milyon TEP, 133 milyon TEP ve 120 milyon TEP değerinde ve kuadratik formda geliştirdiği modelde üç farklı senaryo için sırasıyla 200 milyon TEP, 340 milyon TEP ve 200 milyon TEP olarak tahmin etmiştir. Kıran vd. [45] parçacık sürü optimizasyonu ve karınca kolonisi optimizasyonunu kullanarak önerdikleri yeni hibrit modelde doğrusal formda 2025 yılı enerji talebini üç farklı senaryo için sırasıyla 145 milyon TEP, 140 milyon TEP ve 126 milyon TEP değerinde ve kuadratik formda geliştirdiği modelde üç farklı senaryo için sırasıyla 173 milyon TEP, 174 milyon TEP ve 96 milyon TEP olarak tahmin etmiştir. Aydın [3] regresyon

analizini kullanarak 2025 yılı enerji talebini üç farklı senaryo için sırasıyla 175 milyon TEP, 190 milyon TEP ve 203 milyon TEP olarak tahmin etmiştir. Es vd. [50] geliştirdikleri yapay sinir ağları modeline göre 2025 yılı enerji talebini üç farklı senaryoda sırasıyla 162 milyon TEP, 190 milyon TEP ve 212 milyon TEP olarak tahmin etmişlerdir. 2025 yılı birincil enerji talebi için önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve kullanılan tahmin yöntemleri Çizelge 5.4'te yer almaktadır. Senaryo analizlerinin yapıldığı bu çalışmalarda tahmin yöntemlerinin karşısındaki 2025 yılı birincil enerji talebi değerleri tahmin edilen en düşük ve en yüksek değerler olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5. 4 2025 yılı birincil enerji talebi için önceki çalışmaların sonuçları

Yazar(lar)	Tahmin Yöntemi	2025 yılı Birincil Enerji Talebi
Ceylan ve Öztürk [9]	Genetik Algoritma (Üstel)	300 milyon TEP
	Genetik Algoritma (Doğrusal)	130 milyon TEP
Toksarı [29]	Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Doğrusal)	130-150 milyon TEP
	Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Kuadratik)	200-330 milyon TEP
Ünler [4]	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Doğrusal)	120-147 milyon TEP
	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Kuadratik)	200-340 milyon TEP
Kıran vd. [45]	Karınca Kolonisi-Parçacık Sürü Optimizasyonu (Doğrusal)	126-145 milyon TEP
	Karınca Kolonisi-Parçacık Sürü Optimizasyonu (Kuadratik)	96-174 milyon TEP
Aydın [3]	Regresyon Analizi	175-203 milyon TEP
Es vd. [50]	Yapay Sinir Ağları	162-212 milyon TEP

Bu tez çalışmasında modelden elde edilen simülasyon sonuçlarına göre 2025 yılı birincil enerji talebi üç farklı senaryo için sırasıyla 146 milyon TEP, 174 milyon TEP ve 206 milyon TEP olarak tahmin edilmiştir. Önerilen model önceki çalışmalardan elde edilen değerlere yakın değerler tahmin ederek literatür ile benzerlik göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji sistemlerinin karmaşıklığı enerji arz ve talebinin modellenmesini ve doğru tahminlerin yapılmasını da zorlaştırmaktadır. Karmaşık sistemleri anlamaya yönelik güçlü bir teknik olan sistem dinamiği yaklaşımı bu yönüyle enerji sistemlerinin modellenmesi için oldukça uygundur. Sistem dinamiği yaklaşımıyla sistemler bütünsel bir bakış açısıyla ele alınarak sistem bileşenleri arasındaki ilişkilerin meydana getirdiği sistem yapısı daha anlaşılır hale gelir. Ayrıca senaryo analizleriyle değişen koşulların sistemin gelecekte göstereceği davranışlara etkileri de incelenmektedir.

Türkiye'nin 2030 yılına kadar birincil enerji talebi, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji üretimini tahmin etmek amacıyla yapılan bu çalışmada Türkiye'nin enerji arz ve talep yapısı sistem dinamiği yaklaşımı kullanılarak modellenmiştir. Geliştirilen modelin tahmin konusundaki performansı değerlendirilmiş ve elde edilen tahmin sonuçları önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte enerji talep tahmini ile ilgili yapılan geçmiş çalışmaların kapsamlı bir incelemesi sunulmuştur. Türkiye ve dünya genelinde yapılan çalışmalarda enerji üretim ve tüketimini tahmin etmek için kullanılan yöntemler üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada Türkiye enerji sistemi bütünsel bir bakış açısıyla ele alınmıştır. Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi için Hubbert modeli uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar tepe noktasına ulaştıktan sonra giderek azalan bu sınırlı kaynakların yakın bir gelecekte tamamen tükeneceğini göstermektedir. Kömür üretiminin 2048 yılında 25,3963 milyon TEP üretim miktarıyla tepe noktasına ulaşacağı, petrol ve doğal gaz üretiminin ise tepe noktasına ulaştığı görülmektedir. 2030 yılında kömür üretiminin yaklaşık olarak 21 milyon TEP, petrol üretiminin 480 bin TEP ve doğal gaz üretiminin ise 22 bin TEP olacağı tahmin edilmiştir. Yenilenebilir kaynaklar için bu kaynaklardan üretilen enerji ile nüfus, Ar-Ge harcamalarının GSYİH içindeki payı ve enerji ithalat

oranı arasındaki ilişki kullanılarak bir matematiksel model oluşturulmuştur. Toplam birincil enerji talebini etkileyen faktörler ise enerji yoğunluğu, kişi başına GSYİH ve nüfus olarak belirlenmiştir. Nüfus ve GSYİH için gelecekte de mevcut eğilimlerin devam ettiği temel senaryoda 2030 yılında birincil enerji talebinin artarak 233,256 milyon TEP'e, yenilenebilir enerjinin 65,7047 milyon TEP'e ulaşacağı tahmin edilmiştir. Bu durumda yenilenebilir enerjinin toplam enerji talebi içindeki payı 2016 yılında %14 iken 2030 yılında %28 olacaktır. Birincil enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretiminde nüfus ve GSYİH çok önemli bir rol oynadığından ikisi de benzer eğilimler göstermektedir. 2030 yılına kadar düşük ve yüksek büyüme senaryolarında sırasıyla birincil enerji talebi 178,656 milyon TEP, 303,028 milyon TEP ve yenilenebilir enerji üretimi 39,3408 milyon TEP, 95,5108 milyon TEP'e ulaşacaktır. Yenilenebilir enerji üretimindeki artışa rağmen enerji açığı da temel senaryo ve yüksek büyüme senaryosunda artmaya devam edecektir. Yalnızca düşük büyüme senaryosu 2016-2024 yılları arasında düşme eğilimi gösterse de 2024 yılından sonra bu senaryoda da artmaya başlayacaktır.

Türkiye'de yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde her yıl artışlar görülse de üretim seviyesi oldukça düşüktür. Yenilenebilir enerji kullanımının artması nüfus ve ekonomik büyümenin yanında teknoloji üretimi ve gelişimini ifade eden ve ekonomik büyüme için de itici bir güç haline gelen Ar-Ge faaliyetlerinin artmasına bağlıdır. Bu alanda yapılan yatırımların artması ve yenilenebilir enerji kullanımının devlet tarafından teşvik edilmesi oldukça önemlidir. Bununla birlikte enerji tasarruflarına yönelik çalışmaların artırılması gerekmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin artması ve enerjinin etkin kullanılmasına bağlı olarak dışa bağımlılık ve enerji ithalat maliyetleri azalacaktır. Ayrıca yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararın da önüne geçilecektir. Modelden elde edilen sonuçlar Türkiye'nin birincil enerji talebi ve yenilenebilir enerji üretiminin gelecekteki durumu hakkında bir öngörü sunduğundan sürdürülebilir enerji politikalarının oluşturulması konusunda yol gösterici olmaktadır. Gelecek çalışmalarda çevre bir alt sistem olarak değerlendirilerek karbon yoğunluğu ile ilgili değişkenler modele eklenecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Wu, Z. ve Xu, J., (2013). "Predicting and optimization of energy consumption using system dynamics-fuzzy multiple objective programming in world heritage areas", *Energy*, 49: 19-31.
- [2] Ghalehkhondabi, I., Ardjmand, E., Weckman, G.R. ve Young, W.A., (2017). "An overview of energy demand forecasting methods published in 2005-2015", *Energy Systems*, 8(2): 411-447.
- [3] Aydın, G., (2014). "Modeling of energy consumption based on economic and demographic factors: The case of Turkey with projections", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35: 382-389.
- [4] Ünler, A., (2008). "Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025", *Energy Policy*, 36: 1937-1944.
- [5] Gümrah, F., Katırcıoğlu, D., Aykan, Y., Okumuş, S. ve Kılınçer, N., (2001). "Modeling of Gas Demand Using Degree-Day Concept: Case Study for Ankara", *Energy Sources*, 23: 101-114.
- [6] Ediger, V.Ş. ve Tatlıdil, H., (2002). "Forecasting the primary energy demand in Turkey and analysis of patterns", *Energy Conversion and Management*, 43: 473-487.
- [7] Topallı, A.K. ve Erkmén, İ., (2003). "A hybrid learning for neural networks applied to short term load forecasting", *Neurocomputing*, 51: 495-500.
- [8] Sarak, H. ve Satman, A., (2003). "The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study", *Energy*, 28: 929-939.
- [9] Ceylan, H. ve Öztürk, H.K., (2004). "Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach", *Energy Conversion and Management*, 45: 2525-2537.
- [10] Ceylan, H. ve Öztürk, H.K., (2004). "Modeling Hydraulic and Thermal Electricity Production Based on Genetic Algorithm-Time Series (GATS)", *International Journal of Green Energy*, 1(3): 393-406.
- [11] Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., (2004). "Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 Yılına Kadar Tahmini", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(3): 227-233.

- [12] Öztürk, H.K., Ceylan, H., Hepbaşlı, A. ve Utlu, Z., (2004). "Estimating petroleum exergy production and consumption using vehicle ownership and GDP based on genetic algorithm approach", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8: 289-302.
- [13] Yumurtacı, Z. ve Asmaz, E., (2004). "Electric Energy Demand of Turkey for the Year 2050", *Energy Sources*, 26: 1157-1164.
- [14] Yalçınöz, T. ve Eminoğlu, U., (2005). "Short term and medium term power distribution load forecasting by neural networks", *Energy Conversion and Management*, 46: 1393-1405.
- [15] Öztürk, H.K. ve Ceylan, H., (2005). "Forecasting total and industrial sector electricity demand based on genetic algorithm approach: Turkey case study", *International Journal of Energy Research*, 29: 829-840.
- [16] Haldenbilen, S. ve Ceylan, H., (2005). "Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey", *Energy Policy*, 33: 89-98.
- [17] Öztürk, H.K., Ceylan, H., Canyurt, O.E. ve Hepbaşlı, A., (2005). "Electricity estimation using genetic algorithm approach: a case study of Turkey", *Energy*, 30: 1003-1012.
- [18] Tunç, M., Çamdalı, Ü. ve Parmaksızoğlu, C., (2006). "Comparison of Turkey's electrical energy consumption and production with some European countries and optimization of future electrical power supply investments in Turkey", *Energy Policy*, 34: 50-59.
- [19] Murat, Y.S. ve Ceylan, H., (2006). "Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling", *Energy Policy*, 34: 3165-3172.
- [20] Sözen, A., Akçayol, M.A. ve Arcaklıoğlu, E., (2006). "Forecasting Net Energy Consumption Using Artificial Neural Network", *Energy Sources Part B*, 1(2): 147-155.
- [21] Canyurt, O.E. ve Öztürk, H.K., (2006). "Three different application of genetic algorithm (GA) search techniques on oil demand estimation", *Energy Conversion and Management*, 47: 3138-3148.
- [22] Ediger, V.Ş., Akar, S. ve Uğurlu, B., (2006). "Forecasting production of fossil fuel sources in Turkey using a comparative regression and ARIMA model", *Energy Policy*, 34: 3836-3846.
- [23] Hamzaçebi, C., (2007). "Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases", *Energy Policy*, 35: 2009-2016.
- [24] Ediger, V.Ş. ve Akar, S., (2007). "ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey", *Energy Policy*, 35: 1701-1708.
- [25] Sözen, A. ve Arcaklıoğlu, E., (2007). "Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey", *Energy Policy*, 35: 4981-4992.
- [26] Akay, D. ve Atak, M., (2007). "Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey", *Energy*, 32: 1670-1675.
- [27] Erdoğan, E., (2007). "Electricity demand analysis using cointegration and ARIMA modelling: A case study of Turkey", *Energy Policy*, 35: 1129-1146.

- [28] Çınar, D. ve Kayakutlu, G., (2007). "Forecasting Production of Renewable Energy Using Cognitive Mapping and Artificial Neural Networks", 19th International Conference on Production Research, 29 July - 2 August 2007, Valparaiso.
- [29] Toksarı, M.D., (2007). "Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey", *Energy Policy*, 35: 3984-3990.
- [30] Aras, N., (2008). "Forecasting Residential Consumption of Natural Gas Using Genetic Algorithms", *Energy Exploration and Exploitation*, 26(4): 241-266.
- [31] Toksarı, M.D., (2009). "Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey", *Energy Policy*, 37: 1181-1187.
- [32] Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Öztürk, H.K. ve Canyurt, O.E., (2009). "Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks", *Energy Conversion and Management*, 50: 2719-2727.
- [33] Sümer, K.K., Göktaş, Ö. ve Hepsağ, A., (2009). "The application of seasonal latent variable in forecasting electricity demand as an alternative method", *Energy Policy*, 37: 1317-1322.
- [34] Küçükdeniz, T., (2010). "Long Term Electricity Demand Forecasting: An Alternative Approach with Support Vector Machines", *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1: 45-53.
- [35] Küçükali, S. ve Barış, K., (2010). "Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach", *Energy Policy*, 38: 2438-2445.
- [36] Çunkaş, M. ve Altun, A.A., (2010). "Long Term Electricity Demand Forecasting in Turkey Using Artificial Neural Networks", *Energy Sources Part B*, 5(3): 279-289.
- [37] Akkurt, M., Demirel, Ö.F. ve Zaim, S., (2010). "Forecasting Turkey's Natural Gas Consumption by Using Time Series Methods", *European Journal of Economic and Political Studies*, 3(2): 1-21.
- [38] Erdoğan, E., (2010). "Natural gas demand in Turkey", *Applied Energy*, 87: 211-219.
- [39] Demirel, Ö., Kakilli, A. ve Tektaş, M., (2010). "ANFIS ve ARMA Modelleri ile Elektrik Enerjisi Yük Tahmini", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3): 601-610.
- [40] Toksarı, M., (2010). "Predicting the Natural Gas Demand Based on Economic Indicators: Case of Turkey", *Energy Sources Part A*, 32(6): 559-566.
- [41] Çınar, D., Kayakutlu, G. ve Daim, T., (2010). "Development of future energy scenarios with intelligent algorithms: Case of hydro in Turkey", *Energy*, 35: 1724-1729.
- [42] Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M.İ. ve Özşahin, T.Ş., (2011). "Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables", *Applied Energy*, 88: 1927-1939.
- [43] Kavaklıoğlu, K., (2011). "Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Support Vector Regression", *Applied Energy*, 88: 368-375.

- [44] Dilaver, Z. ve Hunt, L.C., (2011). "Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis", *Energy Economics*, 33: 426-436.
- [45] Kıran, M.S., Özceylan, E., Gündüz, M. ve Paksoy, T., (2012). "A novel hybrid approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey", *Energy Conversion and Management*, 53: 75-83.
- [46] Melikoğlu, M., (2013). "Vision 2023: Forecasting Turkey's natural gas demand between 2013 and 2030", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22: 393-400.
- [47] Taşpınar, F., Çelebi, N. ve Tutkun, N., (2013). "Forecasting of daily natural gas consumption on regional basis in Turkey using various computational methods", *Energy and Buildings*, 56: 23-31.
- [48] Gürbüz, F., Öztürk, C. ve Pardalos, P., (2013). "Prediction of electricity energy consumption of Turkey via artificial bee colony: a case study", *Energy Systems*, 4: 289-300.
- [49] Hamzaçebi, C. ve Es, H.A., (2014). "Forecasting the annual electricity consumption of Turkey using an optimized grey model", *Energy*, 70: 165-171.
- [50] Es, H. A., Kalender, F.Y. ve Hamzaçebi, C., (2014). "Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talep Tahmini", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3): 495-504.
- [51] Uzlu, E., Akpınar, A., Öztürk, H.T., Nacar, S. ve Kankal, M., (2014). "Estimates of hydroelectric generation using neural networks with the artificial bee colony algorithm for Turkey", *Energy*, 69: 638-647.
- [52] Yükseltan, E., Yücekaya, A. ve Bilge, A.H., (2015). "Forecasting Electricity Demand for Turkey Using Modulated Fourier Expansion", *American Scientific Research Journal for Engineering Technology and Sciences*, 14(3): 87-94.
- [53] Kaytez, F., Taplamacıoğlu, M.C., Çam, E. ve Hardalaç, F., (2015). "Forecasting electricity consumption: A comparison of regression analysis, neural networks and least squares support vector machines", *Electrical Power and Energy Systems*, 67: 431-438.
- [54] Tutun, S., Chou, C-A. ve Canıyılmaz, E., (2015). "A new forecasting framework for volatile behaviour in net electricity consumption: A case study in Turkey", *Energy*, 93: 2406-2422.
- [55] Ertuğrul, Ö.F., (2016). "Forecasting electricity load by a novel recurrent extreme learning machines approach", *Electrical Power and Energy Systems*, 78: 429-435.
- [56] Günay, M.E., (2016). "Forecasting annual gross electricity demand by artificial neural networks using predicted values of socio-economic indicators and climatic conditions: Case of Turkey", *Energy Policy*, 90: 92-101.
- [57] Ervural, B.C., Beyca, Ö.F. ve Zaim, S., (2016). "Model estimation of ARMA using genetic algorithms: A case study of forecasting natural gas consumption", *12th International Strategic Management Conference*, 28-30 October 2016, Antalya.

- [58] Özdemir, G., Aydemir, E., Olgun, M.O. ve Mulbay, Z., (2016). "Forecasting of Turkey natural gas demand using a hybrid algorithm", *Energy Sources Part B*, 11(4): 295-302.
- [59] Gülcü Ş. ve Kodaz, H., (2016). "The estimation of electricity energy demand using particle swarm optimization algorithm: A case study of Turkey", 8th International Conference on Advances in Information Technology, 19-22 December 2016, Macau.
- [60] Karadede, Y., Özdemir, G. ve Aydemir, E., (2017). "Breeder hybrid algorithm approach for natural gas demand forecasting model", *Energy*, 141: 1269-1284.
- [61] Sönmez, M., Akgüngör, A.P. ve Bektaş, S., (2017). "Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm", *Energy*, 122: 301-310.
- [62] Yükseltan, E., Yücekaya, A. ve Bilge, A.H., (2017). "Forecasting electricity demand for Turkey: Modeling periodic variations and demand segregation", *Applied Energy*, 193: 287-296.
- [63] Karaaslan, A. ve Gezen, M., (2017). "Forecasting of Turkey's Sectoral Energy Demand by Using Fuzzy Grey Regression Model", *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(1): 67-77.
- [64] Mitropoulos, C.S., Samouilidis, J.E. ve Protonotarios, E.N., (1980). "Using Kalman Filtering for Energy Forecasting", *IFAC*, 13(5): 317-324.
- [65] Bokor, J., Tanyi, M. ve Dörfner, P., (1986). "Dynamic Modelling and Forecasting of Monthly Electric Energy Demand in Hungarian Electric Energy System", *IFAC*, 19(10): 205-208.
- [66] Tschang, F.T. ve Dowlatabadi, H., (1995). "A Bayesian technique for refining the uncertainty in global energy model forecasts", *International Journal of Forecasting*, 11: 43-61.
- [67] Nizami, S.S.A.K.J. ve Al-Garni, A.Z., (1995). "Forecasting electric energy consumption using neural networks", *Energy Policy*, 23(12): 1097-1104.
- [68] El-Keib, A.A., Ma, X. ve Ma, H., (1995). "Advancement of statistical based modeling techniques for short-term load forecasting", *Electric Power Systems Research*, 35: 51-58.
- [69] Huang, S-J. ve Huang, C-L., (1996). "Genetic-based multilayered perceptron for Taiwan power system short-term load forecasting", *Electric Power Systems Research*, 38: 69-74.
- [70] Rahman, S. ve Hazim, O., (1996). "Load forecasting for multiple sites: development of an expert system-based technique", *Electric Power Systems Research*, 39: 161-169.
- [71] Lee, D.G., Lee, B.W. ve Chang, S.H., (1997). "Genetic programming model for long-term forecasting of electric power demand", *Electric Power Systems Research*, 40: 17-22.
- [72] Kiartzis, S., Kehagias, A., Bakirtzis, A. ve Petridis, V., (1997). "Short term load forecasting using a Bayesian combination method", *Electrical Power and Energy Systems*, 19(3): 171-177.

- [73] Mohamed, E.A., Mansour, M.M., El-Debeiky, S. ve Mohamed, K.G., (1998). "Egyptian Unified Grid hourly load forecasting using artificial neural network", *Electrical Power and Energy Systems*, 20(7): 495-500.
- [74] Hobbs, B.F., Helman, U., Jitprapaikularn, S., Konda, S. ve Maratukulam, D., (1998). "Artificial neural networks for short-term energy forecasting: Accuracy and economic value", *Neurocomputing*, 23: 71-84.
- [75] Chavez, S.G., Bernat, J.X. ve Coalla, H.L., (1999). "Forecasting of energy production and consumption in Asturias (northern Spain)", *Energy*, 24: 183-198.
- [76] Kodogiannis, V.S. ve Anagnostakis, E.M., (1999). "A study of advanced learning algorithms for short-term load forecasting", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 12: 159-173.
- [77] Darbellay, G.A. ve Slama, M., (2000). "Forecasting the short-term demand for electricity Do neural networks stand a better chance?", *International Journal of Forecasting*, 16: 71-83.
- [78] Yao, S.J., Song, Y.H., Zhang, L.Z. ve Cheng, X.Y., (2000). "Wavelet transform and neural networks for short-term electrical load forecasting", *Energy Conversion and Management*, 41: 1975-1988.
- [79] Tamimi, M. ve Egbert, R., (2000). "Short term electric load forecasting via fuzzy neural collaboration", *Electric Power Systems Research*, 56:243-248.
- [80] Jia, N.X., Yokoyama, R., Zhou, Y.C. ve Gao, Z.Y., (2001). "A flexible long-term load forecasting approach based on new dynamic simulation theory – GSIM", *Electrical Power and Energy Systems*, 23: 549-556.
- [81] Persaud, A.J. ve Kumar, U., (2001). "An eclectic approach in energy forecasting: a case of Natural Resources Canada's (NRCan's) oil and gas outlook", *Energy Policy*, 29: 303-313.
- [82] Saab, S., Badr, E. ve Nasr, G., (2001). "Univariate modeling and forecasting of energy consumption: the case of electricity in Lebanon", *Energy*, 26: 1-14.
- [83] Zhang, B-L. ve Dong, Z-Y., (2001). "An adaptive neural-wavelet model for short term load forecasting", *Electric Power Systems Research*, 59: 121-129.
- [84] Liang, R-H. ve Cheng, C-C., (2002). "Short-term load forecasting by a neuro-fuzzy based approach", *Electrical Power and Energy Systems*, 24: 103-111.
- [85] Kermanshahi, B. ve Iwamiya, H., (2002). "Up to year 2020 load forecasting using neural nets", *Electrical Power and Energy Systems*, 24: 789-797.
- [86] Kalaitzakis, K., Stavrakakis, G.S. ve Anagnostakis, E.M., (2002). "Short-term load forecasting based on artificial neural networks parallel implementation", *Electric Power Systems Research*, 63: 185-196.
- [87] Hsu, C-C. ve Chen, C-Y., (2003). "Regional load forecasting in Taiwan – applications of artificial neural networks", *Energy Conversion and Management*, 44: 1941-1949.
- [88] 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.

- [89] Yao, A.W.L., Chi, S.C. ve Chen, J.H., (2003). "An improved Grey-based approach for electricity demand forecasting", *Electric Power Systems Research*, 67: 217-224.
- [90] Fu, C.W. ve Nguyen, T.T., (2003). "Models for Long-Term Energy Forecasting", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 13-17 July 2003, Toronto.
- [91] Vellasco, M.M.B.R., Pacheco, M.A.C., Neto, L.S.R. ve Souza, F.J.D., (2004). "Electric load forecasting: evaluating the novel hierarchical neuro-fuzzy BSP model", *Electrical Power and Energy Systems*, 26: 131-142.
- [92] Al-Kandari, A.M., Soliman, S.A. ve El-Hawary, M.E., (2004). "Fuzzy short-term electric load forecasting", *Electrical Power and Energy Systems*, 26: 111-122.
- [93] Carpinteiro, O.A.S., Reis, A.J.R. ve Silva, A.P.A.D., (2004). "A hierarchical neural model in short-term load forecasting", *Applied Soft Computing*, 4: 405-412.
- [94] Liao, G-C. ve Tsao, T-P., (2004). "Application of fuzzy neural networks and artificial intelligence for load forecasting", *Electric Power Systems Research*, 70: 237-244.
- [95] Pai, P-F. ve Hong, W-C., (2005). "Support vector machines with simulated annealing algorithms in electricity load forecasting", *Energy Conversion and Management*, 46: 2669-2688.
- [96] Dong, B., Cao, C. ve Lee, S.E., (2005). "Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region", *Energy and Buildings*, 37: 545-553.
- [97] Gonzalez, P.A. ve Zamarreno, J.M., (2005). "Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network", *Energy and Buildings*, 37: 595-601.
- [98] Pai, P-F. ve Hong, W-C., (2005). "Forecasting regional electricity load based on recurrent support vector machines with genetic algorithms", *Electric Power Systems Research*, 74: 417-425.
- [99] Lopes, M.L.M., Minussi, C.R. ve Lotufo, A.D.P., (2005). "Electric load forecasting using a fuzzy ART&ARTMAP neural network", *Applied Soft Computing*, 5: 235-244.
- [100] Zhou, P., Ang, B.W. ve Poh, K.L., (2006). "A trigonometric grey prediction approach to forecasting electricity demand", *Energy*, 31: 2839-2847.
- [101] Tsekouras, G.J., Hatziargyriou, N.D. ve Dialynas, E.N., (2006). "An Optimized Adaptive Neural Network for Annual Midterm Energy Forecasting", *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(1): 385-391.
- [102] Yang, S-X. ve Li, N., (2006). "Power Demand Forecast Based on Optimized Neural Networks by Improved Genetic Algorithm", *Machine Learning and Cybernetics: 5th International Conference*, 13-16 August 2006, Dalian.
- [103] Kareem, Y.H. ve Majeed, A.R., (2006). "Monthly Peak-load Demand Forecasting for Sulaimany Governorate Using SARIMA", *Transmission &*

Distribution Conference and Exposition: Latin America, 15-18 August 2006, Caracas.

- [104] Hor, C-L., Watson, S.J. ve Majithia, S., (2006). "Daily Load Forecasting and Maximum Demand Estimation using ARIMA and GARCH", 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 11-15 June 2006, Stockholm.
- [105] Gonzalez-Romera, E., Jaramillo-Moran, M.A. ve Carmona-Fernandez, D., (2007). "Forecasting of the electric energy demand trend and monthly fluctuation with neural networks", *Computer and Industrial Engineering*, 52: 336-343.
- [106] Fong, W-K., Matsumoto, H., Lun, Y-F. ve Kimura, R., (2007). "System Dynamic Model for the Prediction of Urban Energy Consumption Trends", 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation&Energy Conservation in Buildings, 28-31 October 2007, Sendai.
- [107] Gonzalez-Romera, E., Jaramillo-Moran, M.A. ve Carmona-Fernandez, D., (2008). "Monthly electric energy demand forecasting with neural networks and Fourier series", *Energy Conversion and Management*, 49: 3135-3142.
- [108] Zhang, R. ve Wang, D., (2008). "Forecasting Annual Electricity Demand Using BP Neural Network Based on Three Sub-Swarms PSO", *Control and Decision Conference*, 2-4 July 2008, Yantai.
- [109] Wang, X-P. ve Meng, M., (2008). "Forecasting Electricity Demand Using Grey-Markov Model", *Machine Learning and Cybernetics: 7th International Conference*, 12-15 July 2008, Kunming.
- [110] Hongyan, L., Liya, C. ve Xiaojuan, W., (2008). "Grey-RBF Neural Network Prediction Model for City Electricity Demand Forecasting", 4th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, 12-14 October 2014, Dalian.
- [111] Zhao, H.X. ve Magoules, F., (2009). "Parallel Support Vector Machines Applied to the Prediction of Multiple Buildings Energy Consumption", *Algorithms and Computational Technology*, 4(2): 231-249.
- [112] Elias, C.N. ve Hatziargyriou, N.D., (2009). "An Annual Midterm Energy Forecasting Model Using Fuzzy Logic", *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(1): 469-478.
- [113] Wang, Q., (2009). "Grey Prediction Model and Multivariate Statistical Techniques Forecasting Electrical Energy Consumption in Wenzhou, China", 2nd International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics, 23-25 January 2009, Moscow.
- [114] Setiawan, A., Koprinska, I. ve Agelidis, V.G., (2009). "Very Short-Term Electricity Load Demand Forecasting Using Support Vector Regression", *International Joint Conference on Neural Networks*, 14-19 June 2009, Atlanta.
- [115] Ohtsuka, Y., Oga, T. ve Kakamu, K., (2010). "Forecasting electricity demand in Japan: A Bayesian spatial autoregressive ARMA approach", *Computational Statistics and Data Analysis*, 54: 2721-2735.

- [116] Garcia-Ascanio, C. ve Mate, C., (2010). "Electric power demand forecasting using interval time series: A comparison between VAR and İMLP", *Energy Policy*, 38: 715-725.
- [117] Pappas, S.S., Ekonomou, L., Karampelas, P., Karamousantas, D.C., Katsikas, S.K., Chatzarakis, G.E. ve Skafidas, P.D., (2010). "Electricity demand load forecasting of the Hellenic power system using an ARMA model", *Electric Power Systems Research*, 80: 256-264.
- [118] Wang, Y. ve Li, Y, (2010). "Applying LS-SVM to Predict Primary Energy Consumption", *International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment*, 7-9 November 2010, Henan.
- [119] Antoch, J., Prchal, L., Rosa, M.R.D. ve Sarda, P., (2010). "Electricity consumption prediction with functional linear regression using spline estimators", *Journal of Applied Statistics*, 37(12): 2027-2041.
- [120] Sigauke, C. ve Chikobvu, D., (2011). "Prediction of Daily peak electricity demand in South Africa using volatility forecasting models", *Energy Economics*, 33: 882-888.
- [121] Chang, P-C., Fan, C-Y. ve Lin, J-J., (2011). "Monthly electricity demand forecasting based on a weighted evolving fuzzy neural network approach", *Electrical Power and Energy Systems*, 33: 17-27.
- [122] Wadud, Z., Dey, H.S., Kabir, M.A. ve Khan, S.I., (2011). "Modeling and forecasting natural gas demand in Bangladesh", *Energy Policy*, 39: 7372-7380.
- [123] Wang, J., Chi, D., Wu, J. ve Lu, H-Y., (2011). "Chaotic time series method combined with particle swarm optimization and trend adjustment for electricity demand forecasting", *Expert Systems with Applications*, 38: 8419-8429.
- [124] Yang, S-X., Cao, Y., Liu, D. ve Huang, C-F., (2011). "RS-SVM forecasting model and power supply-demand forecast", *Journal of Central South University of Technology*, 18(6): 2074-2079.
- [125] Zhao, H., Liu, R., Zhao, Z. ve Fan, C., (2011). "Analysis of Energy Consumption Prediction Model Based on Genetic Algorithm and Wavelet Neural Network", *3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, 28-29 May 2011, Wuhan.
- [126] Vaudreuil, M.P., Guerin, D.R., Arnold, M.R. ve Timms, B.S., (2011). *System Dynamics computer simulation modeling to forecast the energy demands for the Montachusett region under a Variety of Simulations and Scenarios*, Lisans Tezi, Worcester Polytechnic Institute, Worcester.
- [127] Wang, Y., Wang, J., Zhao, G. ve Dong, Y., (2012). "Application of residual modification approach in seasonal ARIMA for electricity demand forecasting: A case study of China", *Energy Policy*, 48: 284-294.
- [128] Ansari, N. ve Seifi, A., (2012). "A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry", *Energy*, 43: 334-343.
- [129] Aranda, A., Ferreira, G., Mainar-Toledo, M.D., Scarpellini, S. ve Sastresa, E.L., (2012). "Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector", *Energy and Buildings*, 49: 380-387.

- [130] Kazemi, A., Foroughi, A. ve Hosseinzadeh, M., (2012). "A Multi-Level Fuzzy Linear Regression Model for Forecasting Industry Energy Demand of Iran", *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 41: 342-348.
- [131] Akhwanzada, S.A. ve Tahar, R.M., (2012). "Strategic Forecasting of Electricity Demand Using System Dynamics Approach", *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(4): 328-333.
- [132] Saravanan, S., Kannan, S. ve Thangaraj, C., (2012). "Forecasting India's Electricity Demand Using Artificial Neural Network", *International Conference on Advances in Engineering, Science and Management*, 30-31 March 2012, Nagapattinam.
- [133] Adika, C.O. ve Wang, L., (2012). "Short Term Energy Consumption Prediction Using Bio-Inspired Fuzzy Systems", *North American Power Symposium*, 9-11 September 2012, Champaign.
- [134] Feng, S.J., Ma, Y.D., Song, Z.L. ve Ying, J., (2012). "Forecasting the Energy Consumption of China by the Grey Prediction Model" *Energy Sources Part B*, 7(4): 376-389.
- [135] Ansari, N. ve Seifi, A., (2013). "A system dynamics model for analyzing energy consumption and CO₂ emission in Iranian cement industry under various production and export scenarios", *Energy Policy*, 58: 75-89.
- [136] An, N., Zhao, W., Wang, J., Shang, D. ve Zhao, E., (2013). "Using multi-output feedforward neural network with empirical mode decomposition based signal filtering for electricity demand forecasting", *Energy*, 49: 279-288.
- [137] Avila, F., Saez, D., Jimenez-Estevez, G., Reyes, L. ve Nunez, A., (2013). "Fuzzy demand forecasting in an predictive control strategy for a renewable-energy based microgrid", *European Control Conference*, 17-19 July 2013, Zurich.
- [138] Al-Qahtani, F.H. ve Crone, S.F., (2013). "Multivariate k-nearest neighbour regression for time series data – A novel algorithm for forecasting UK electricity demand", *International Joint Conference on Neural Networks*, 4-9 August 2013, Dallas.
- [139] Shang, H.L., (2013). "Functional time series approach for forecasting very short-term electricity demand", *Journal of Applied Statistics*, 40(1): 152-168.
- [140] Najjar, W.A., (2013). *A System Dynamics Simulation Model for Forecasting Energy Demand in Pueblo County*, Yüksek Lisans Tezi, Colorado State University, Pueblo.
- [141] Feng, Y.Y., Chen, S.Q. ve Zhang, L.X., (2013). "System dynamics modeling for urban energy consumption and CO₂ emissions: A case study of Beijing, China", *Ecological Modelling*, 252: 44-52.
- [142] Rodger, J.A., (2014). "A fuzzy nearest neighbor neural network statistical model predicting demand for natural gas and energy cost savings in public buildings", *Expert Systems with Applications*, 41: 1813-1829.
- [143] Xiong, T., Bao, Y. ve Hu, Z., (2014). "Interval forecasting of electricity demand: A novel bivariate EMD-based support vector regression modeling framework", *Electrical Power and Energy Systems*, 63: 353-362.

- [144] Braun, M.R., Altan, H. ve Beck, S.B.M., (2014). "Using regression analysis to predict the future energy consumption of a supermarket in the UK", *Applied Energy*, 130: 305-313.
- [145] Robalino-Lopez, A., Mena-Nieto, A. ve Garcia-Ramos, J.E., (2014). "System Dynamics modeling for renewable energy and CO₂ consumption emissions: A case study of Ecuador", *Energy for Sustainable Development*, 20: 11-20.
- [146] Hassani, H., Abdollahzadeh M., Iranmanesh, H. ve Miranian, A., (2014). "A Self-Similar Local Neuro-Fuzzy Model for Short-Term Demand Forecasting", *Journal of Systems Science and Complexity*, 27(1): 3-20.
- [147] Mtembo, V., Taylor, G.A. ve Ekwue, A., (2014). "A Novel Econometric Model for Peak Demand Forecasting", 49th International Universities Power Engineering Conference, 2-5 September 2014, Cluj-Napoca.
- [148] Voronin, S. ve Partanen, J., (2014). "Forecasting electricity price and demand using a hybrid approach based on wavelet transform, ARIMA and neural networks", *International Journal of Energy Research*, 38: 626-637.
- [149] Vu, D.H., Muttaqi, K.M. ve Agalgaonkar, A.P., (2015). "A variance inflation factor and backward elimination based robust regression model for forecasting monthly electricity demand using climatic variables", *Applied Energy*, 140: 385-394.
- [150] Liu, X., Mao, G., Ren, J., Li, R.Y.M, Guo, J. ve Zhang, L., (2015). "How might China achieve its 2020 emissions target? A scenario analysis of energy consumption and CO₂ emissions using the system dynamics model", *Journal of Cleaner Production*, 103: 401-410.
- [151] Efendi, R., Ismail, Z. ve Deris, M.M., (2015). "A new linguistic out-sample approach of fuzzy time series for daily forecasting of Malaysian electricity load demand", *Applied Soft Computing*, 28: 422-430.
- [152] Nazari, H., Kazemi, A., Hashemi, M-H., Sadat, M.M. ve Nazari, M., (2015). "Evaluating the performance of genetic and particle swarm optimization algorithms to select an appropriate scenario for forecasting energy demand using economic indicators: residential and commercial sectors of Iran", *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 6(4): 345-355.
- [153] Xiao, B., Niu, D. ve Guo, X., (2016). "Can China achieve its 2020 carbon intensity target? A scenario analysis based on system Dynamics approach", *Ecological Indicators*, 71: 99-112.
- [154] Barak, S. ve Sadegh, S.S., (2016). "Forecasting energy consumption using ensemble ARIMA-ANFIS hybrid algorithm", *Electrical Power and Energy Systems*, 82: 92-104.
- [155] Liu, X., Moreno, B. ve Garcia, A.S., (2016). "A grey network and input-output combined forecasting model. Primary energy consumption forecasts in Spanish economic sectors", *Energy*, 115: 1042-1054.
- [156] Sisodia, G.S., Sahay, M. ve Singh, P., (2016). "System dynamics methodology for the energy demand fulfillment in India: A preliminary study", *Energy Procedia*, 95: 429-434.

- [157] Galvan, I.M., Valls, J.M., Cervantes, A. ve Aler, R., (2017). "Multi-objective evolutionary optimization of prediction intervals for solar energy forecasting with neural networks", *Information Sciences*, 418: 363-382.
- [158] Zeng, Y-R., Zeng, Y., Choi, B. ve Wang, L., (2017). "Multifactor-influenced energy consumption forecasting using enhanced back-propagation neural network", *Energy*, 127: 381-396.
- [159] He, Y., Jiao, J., Chen, Q., Ge, S., Chang, Y. ve Xu, Y., (2017). "Urban long term electricity demand forecast method based on system Dynamics of the new economic normal: The case of Tianjin", *Energy*, 133: 9-22.
- [160] Yuan, X-C., Wei, Y-M., Mi, Z., Sun, X., Zhao, W. ve Wang, B., (2017). "Forecasting China's regional energy demand by 2030: A Bayesian approach", *Resources Conservation & Recycling*, 127: 85-95.
- [161] Tsai, S-B., Xue, Y., Zhang, J., Chen, Q., Liu, Y., Zhou, J. ve Dong, W., (2017). "Models for forecasting growth trends in renewable energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77: 1169-1178.
- [162] Mohanty, S., Patra, P.K., Sahoo, S.S. ve Mohanty, A., (2017). "Forecasting of solar energy with application for a growing economy like India: Survey and implication", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78: 539-553.
- [163] Ruiz, L.G.B., Rueda, R., Cuellar, M.P. ve Pegalajar, M.C., (2018). "Energy consumption forecasting based on Elman neural networks with evolutive optimization", *Expert Systems With Applications*, 92: 380-389.
- [164] Bugala, A., Zaborowicz, M., Boniecki, P., Janczak, D., Koszela, K., Czekala, W. ve Lewicki, A., (2018). "Short-term forecast of generation of electric energy in photovoltaic systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 306-312.
- [165] Encyclopedia Britannica, <https://www.britannica.com/science/energy>, 9 Şubat 2018.
- [166] Çengel, Y.A. ve Boles, M.A., (2011). *Thermodynamics An Engineering Approach*, Seventh Edition, McGraw-Hill, New York.
- [167] Australian Renewable Energy Agency, <https://arena.gov.au/about/what-is-renewable-energy/>, 9 Şubat 2018.
- [168] Koç, E. ve Şenel, M.C., (2013). "Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme", *Mühendis ve Makina*, 54(639): 32-44.
- [169] Demir, A., (2009). "Küresel İklim Değişikliğinin Biyolojik Çeşitlilik ve Ekosistem Kaynakları Üzerine Etkisi", *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2): 37-54.
- [170] BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporları, <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, 9 Şubat 2018.
- [171] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>, 9 Şubat 2018.
- [172] Atalay, M., (2003). "Türkiye’de Petrol Aramacılığının Önemi", *Avrasya Dosyası*, 9(1): 169-191.

- [173] Demirtürk, C., (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgar ve Güneş Enerjisi Karşılaştırmalı Yatırım Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [174] Karagöl, E.T. ve Kavaz, İ., (2017), Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>, 9 Şubat 2018.
- [175] Yiğit, A. ve Atmaca, İ., (2010), Güneş Enerjisi, Birinci Baskı, Alfa Aktüel Yayınları, Bursa.
- [176] Pelc, R. ve Fujita, R.M., (2002). “Renewable energy from the ocean”, Marine Policy, 26: 471-479.
- [177] World Commission on Environment and Development, (1987). Brundtland Report-Our Common Future, Oxford.
- [178] Yılmaz, Z., (2017). “Türkiye’nin mevcut enerji durumu”, 8. Enerji Verimliliği Forumu ve Fuarı, 11-12 Ocak 2017, İstanbul.
- [179] International Energy Agency, (2016). Energy Policies of IEA Countries-Turkey 2016 Review, Paris.
- [180] Kok, B. ve Benli, H., (2017). “Energy diversity and nuclear energy for sustainable development in Turkey”, Renewable Energy, 111: 870-877.
- [181] Arda, K., (2012). Sistem Dinamikleri Yaklaşımlı Proje Yönetimi İçin Karar Destek Sistemi: Savunma Sanayi Örneği, Doktora Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [182] Saysel, A.K. ve Barlas, Y., (2001), Güneydoğu Anadolu Projesi ve Sürdürülebilir Kalkınma: Dinamik Sistem Modellemesi Yaklaşımı, <http://web.boun.edu.tr/ali.saysel/Publications/GAPTurk.pdf>, 9 Şubat 2018.
- [183] Forrester J.W., (1958). “Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers”, Harvard Business Review, 36(4): 37–66.
- [184] Gökçe, M., (2008). Tedarik Zincir Yönetiminin Sistem Dinamiği ve Ajan Bazlı Yaklaşımla Modellenerek Karşılaştırılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- [185] Kirkwood, C.W., (1998), System Dynamics Methods: A Quick Introduction, <http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDIntro/SDIntro.htm>, 9 Şubat 2018.
- [186] Zulfikaroğlu, Y., (2008). Çarpışma Testi ve Benzer Problemlerin Sistem Dinamiği Kapsamında Vensim Yazılımı ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [187] Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sosyo-Ekonomik Sistem Dinamiği Araştırma Laboratuvarı, http://www.ie.boun.edu.tr/labs/sesdyn/sd_tr.php, 9 Şubat 2018.
- [188] Barlas, Y., (2005). “Dinamik sistem yaklaşımı: Modeller, kurumsal öğrenme ve sorun çözme - I”, Endüstri ve Otomasyon Dergisi, 94: 18-21.
- [189] Niculescu, S.I., (2001). Delay Effects on Stability: A Robust Control Approach, First Edition, Springer, Londra.

- [190] Uribe, J., (2008). Print productivity: A System dynamics approach, Printing Industry Center at Rochester Institute of Technology, New York.
- [191] Salkın, S.C., (2014). Geleneksel ve E-Ticaret Tedarik Zinciri Risk Yönetiminin Sistem Dinamiği Yaklaşımıyla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [192] Richardson, G.P., (1986). “Problems with Causal - Loop Diagrams”, System Dynamics Review, 2(2): 158-170.
- [193] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W., (1974). The Limits to Growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, Second Edition, Universe Books, New York.



SİSTEM DİNAMİĞİ MODELİ DENKLEMLERİ

- (01) INITIAL TIME = 1990
- (02) FINAL TIME = 2030
- (03) SAVEPER = TIMESTEP
- (04) TIMESTEP = 1
- (05) Enerji talebi = (Nüfus*Kişi başına GSYİH*Enerji yoğunluğu) / 1000
- (06) GSYİH = INTEG (GSYİH büyümesi, 594861)
- (07) GSYİH büyümesi = GSYİH*GSYİH büyüme oranı
- (08) GSYİH büyüme oranı = IF THEN ELSE ((Time<=2015), (GSYİH büyüme oranı değerler), (6/100))
- (09) GSYİH büyüme oranı lookup = (1990,0.00926), (1991,0.05984), (1992,0.08042), (1993,-0.05455), (1994,0.07191), (1995,0.07005), (1996,0.07528), (1997,0.03091), (1998,-0.03389), (1999,0.0664), (2000,-0.05962), (2001,0.0643), (2002,0.05608), (2003,0.09644), (2004,0.09009), (2005,0.07109), (2006,0.0503), (2007,0.00845), (2008,-0.04704), (2009,0.08487), (2010,0.11113), (2011,0.04789), (2012,0.08491), (2013,0.05166), (2014,0.06085), (2015,0.03183)
- (10) GSYİH büyüme oranı değerler = GSYİH büyüme oranı lookup(Time)
- (11) Nüfus = INTEG (Nüfus büyümesi, 53921699)
- (12) Nüfus büyümesi = Nüfus*Nüfus büyüme oranı
- (13) Nüfus büyüme oranı = IF THEN ELSE ((Time<=2015) , (Nüfus büyüme oranı değerler) , (1.51/100))

(14) Nüfus büyüme oranı lookup = (1990,0.01704), (1991,0.01656), (1992,0.01623), (1993,0.01606), (1994,0.01602), (1995,0.01601), (1996,0.01597), (1997,0.01585), (1998,0.01561), (1999,0.01529), (2000,0.01504), (2001,0.01482), (2002,0.01447), (2003,0.01395), (2004,0.01336), (2005,0.01266), (2006,0.01212), (2007,0.0121), (2008,0.01276), (2009,0.01384), (2010,0.01496), (2011,0.0158), (2012,0.01632), (2013,0.0164), (2014,0.0161), (2015,0.01585)

(15) Nüfus büyüme oranı değerler = Nüfus büyüme oranı lookup(Time)

(16) Kişi başına GSYİH = GSYİH / Nüfus

(17) Enerji yoğunluğu = IF THEN ELSE((Time<=2008), (Enerji yoğunluğu değerler), (IF THEN ELSE((Time<=2023), (0.091*(0.97037^(Time-2008))), (0.0562392))))

(18) Enerji yoğunluğu lookup = (1990,0.07944), (1991,0.08055), (1992,0.07983), (1993,0.08007), (1994,0.0821), (1995,0.08576), (1996,0.08749), (1997,0.08539), (1998,0.08498), (1999,0.08604), (2000,0.08642), (2001,0.08398), (2002,0.08622), (2003,0.08685), (2004,0.08469), (2005,0.08001), (2006,0.08312), (2007,0.08494), (2008,0.08463)

(19) Enerji yoğunluğu değerler = Enerji yoğunluğu lookup(Time)

(20) Gerçek üretim kömür = Üretim kömür (Time)

(21) Kümülatif üretim kömür = INTEG (Hubbert üretim kömür, 143.133)

(22) Hubbert üretim kömür = IF THEN ELSE ((Time <= 2016), (Gerçek üretim kömür),

((1 – (Kümülatif üretim kömür / Son rezervler kömür))*Kümülatif üretim kömür*İç büyüme oranı kömür))

(23) İç büyüme oranı kömür = 0.037

(24) Üretim kömür = (1990, 11.401), (1991, 10.664), (1992, 11.483), (1993, 11.215), (1994, 11.666), (1995, 11.673), (1996, 12.089), (1997, 12.819), (1998, 13.447), (1999, 12.956), (2000, 12.951), (2001, 12.417), (2002, 11.54), (2003, 11.571), (2004, 10.511), (2005, 10.975), (2006, 12.945), (2007, 15.068), (2008, 16.375), (2009, 16.743), (2010, 16.782), (2011, 16.553), (2012, 15.556), (2013, 13.553), (2014, 13.812), (2015, 12.625), (2016, 15.459)

(25) Son rezervler kömür = INTEG (– Hubbert üretim kömür, 3857.87)

- (26) Gerçek üretim petrol = Üretim petrol (Time)
- (27) Kümülatif üretim petrol = INTEG (Hubbert üretim petrol, 51.463)
- (28) Hubbert üretim petrol = IF THEN ELSE ((Time <= 2016), (Gerçek üretim petrol), ((1 - (Kümülatif üretim petrol / Son rezervler petrol))*Kümülatif üretim petrol*İç büyüme oranı petrol))
- (29) İç büyüme oranı petrol = 0.061
- (30) Üretim petrol = (1990, 3.902), (1991, 4.673), (1992, 4.494), (1993, 4.086), (1994, 3.871), (1995, 3.691), (1996, 3.674), (1997, 3.629), (1998, 3.384), (1999, 3.086), (2000, 2.886), (2001, 2.679), (2002, 2.563), (2003, 2.493), (2004, 2.389), (2005, 2.395), (2006, 2.284), (2007, 2.240), (2008, 2.268), (2009, 2.349), (2010, 2.620), (2011, 2.485), (2012, 2.454), (2013, 2.518), (2014, 2.578), (2015, 2.641), (2016, 2.701)
- (31) Son rezervler petrol = INTEG (- Hubbert üretim petrol, 249.537)
- (32) Gerçek üretim doğalgaz = Üretim doğalgaz (Time)
- (33) Kümülatif üretim doğalgaz = INTEG (Hubbert üretim doğalgaz, 2.241)
- (34) Hubbert üretim doğalgaz = IF THEN ELSE ((Time <= 2016), (Gerçek üretim doğalgaz), ((1 - (Kümülatif üretim doğalgaz / Son rezervler doğalgaz))*Kümülatif üretim doğalgaz*İç büyüme oranı doğalgaz))
- (35) İç büyüme oranı doğalgaz = 0.11
- (36) Üretim doğalgaz = (1990, 0.174), (1991, 0.167), (1992, 0.163), (1993, 0.165), (1994, 0.165), (1995, 0.15), (1996, 0.169), (1997, 0.208), (1998, 0.465), (1999, 0.603), (2000, 0.527), (2001, 0.257), (2002, 0.312), (2003, 0.462), (2004, 0.583), (2005, 0.74), (2006, 0.747), (2007, 0.736), (2008, 0.838), (2009, 0.564), (2010, 0.562), (2011, 0.627), (2012, 0.521), (2013, 0.443), (2014, 0.395), (2015, 0.314), (2016, 0.302)
- (37) Son rezervler doğalgaz = INTEG (- Hubbert üretim doğalgaz, 28.759)
- (38) Yenilenebilir kaynaklar = -134.3-(0.758*LN(Arge harcamalarının GSYİH içindeki payı))+(7.5*LN(Nüfus))-(2.66*Enerji ithalat oranı)
- (39) Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi = EXP(Yenilenebilir kaynaklar)
- (40) Arge harcamalarının GSYİH'ya oranı = (Arge harcamaları / GSYİH)*100
- (41) Arge harcamaları = 1337.87*(1.09912^(Time-1989))

(42) Enerji ithalat oranı = IF THEN ELSE((Time<=1992), (-0.55), ((10^1)/(-32.895+25.7005*(0.872626^(Time-1989)))))

(43) Enerji açığı = Enerji talebi – Toplam enerji

(44) Toplam enerji = Yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretimi + Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Burcu GÖKAY
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.03.1992, Bursa
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : burcugky@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Bursa Anadolu Kız Lisesi	2010

YAYINLARI

Bildiri

1. Özgen, D. ve Gökay, B., (2018). “2030 Yılında Türkiye’de Yeşil Enerji Kullanım Oranlarının Tahmin Edilmesi”, Uluslararası Enerji, Ekonomi ve Güvenlik Kongresi, 10-11 Kasım 2018, İstanbul.

