T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ÜRETİM YATIRIMLARI OPTİMİZASYONUNDA YENİLENEBİLİR ENERJİNİN EKONOMİK KALKINMA VE İSTİHDAMA ETKİSİ

Hazırlayan
Atabek MOVLYANOV

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2019
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ÜRETİM YATIRIMLARI OPTİMİZASYONUNDA YENİLENEBİLİR ENERJİNİN EKONOMİK KALKINMA VE İSTİHDAMA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Atabek MOVLYANOV

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU

Haziran 2019
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki bütün bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Atabek MOVLYANOV

İmza :

"Türkiye'nin Elektrik Üretim Yatırımları Optimizasyonunda Yenilenebilir Enerjinin Ekonomik Kalkınma Ve İstihdama Etkisi" adlı Yüksek Lisans / Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Atabek MOVLYANOV

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU

Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin YAPICI

Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU danışmanlığında **Atabek MOVLYANOV** tarafından hazırlanan **"Türkiye'nin Elektrik Üretim Yatırımları Optimizasyonunda Yenilenebilir Enerjinin Ekonomik Kalkınma ve İstihdama Etkisi"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalında **yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

24 / 06 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU .....

Üye : Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İlyas KARASU .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 02/07/2019 tarih ve 2019/37-11 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

02 / 07 / 2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Hazırladığım tez kapsamındaki çalışmalarımın yürütülmesi, yönlendirmesinde katkılarını, bilgilerini esirgemeyen ve her zaman destek olan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım konusunda bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan başta Prof. Dr. Hüseyin YAPICI hocam olmak üzere; Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nün değerli hocalarına en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans eğitim hayatımda maddi ve manevi destek veren Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığına (Türkiye Bursları'na) teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme ve tüm arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Atabek MOVLYANOV

Kayseri, Haziran 2019

TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ÜRETİM YATIRIMLARI OPTİMİZASYONUNDA YENİLENEBİLİR ENERJİNİN EKONOMİK KALKINMA ve İSTİHDAMA ETKİSİ

Atabek MOVLYANOV

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı; Türkiye'nin elektrik üretim yatırım optimizasyonunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik büyüme üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. Çalışmanın amacına ulaşmak için optimizasyon modelleri geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonları olarak Ekonomik büyümeyi simgeleyen Gayri Safi Yurtiçi Hasılasının (GSYİH) maksimizasyonu ve istihdam maksimizasyonu olarak seçilmiştir. Elektrik enerjisinin kaynaklara göre üretiminin maliyet minimizasyonu ve karbondioksit salınım minimizasyonu amaç fonksiyonları karşılaştırma amaçlı çözümlenmiştir. Optimizasyon modelinin karar değişkenleri olarak; kaynaklara göre üretilecek elektrik enerjisi ve kaynaklara göre üretilecek elektrik enerji yatırımları seçilmiştir. Kaynaklara göre üretilmekte olan elektrik enerjisinin GSYİH'sına etki payını bulmak için bazı ekonometri metotları denenmiştir. Optimizasyon çalışması GAMS uygulaması CPLEX çözüm algoritması ile yapılmıştır. Amaç fonksiyonunun değişimine göre alınan ortalama sonuçlar bunu ifade etmekte; Türkiye için en önemli ve en çok destek gösterilmesi gereken enerji kaynağı bu hidrolik enerjidir, ülkenin ekonomisine ve istihdamın artmasına neden olan diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı bu rüzgardır, birim fiyatının ucuzluğundan ve ekonomik büyümeye neden olan nükleer enerji kaynağı tüm amaç fonksiyonları için ortalama %8 oranda kendi payını almakta.

Anahtar kelimeler: Ekonomik kalkınma, İstihdam, Optimizasyon, GAMS

OPTIMIZATION INVESTMENTS ELECTRICITY GENERATION, RELATIONS BETWEEN RENEWABLE ENERGY, ECONOMIC GROWTH AND UNEMPLOYMENT, IN CASE OF TURKEY

Atabek MOVLYANOV

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, June 2019
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Saltuk Buğra SELÇUKLU

ABSTRACT

The purpose in this study, investigation investment optimization electricity production what included relations of electricity production and economic growth. In order to achieve the aim of the study, we have been developed optimization models. The objective functions were chosen as the maximization employment and maximization of the Gross Domestic Product (GDP), which represents economic growth. Cost minimization of the generation of electrical energy according to sources and carbon dioxide emission minimization objective functions are analyzed for comparison purposes. As the decision variables of the optimization model, electricity energy to be generated by resources and investments to generate electricity by resources are selected. We are have been tried some econometrics methods to find the share of the impact of electricity production on GDP. The optimization study was performed with CPLEX algorithm on the GAMS solution. The results showed, the most important source of energy and should be shown the most support for Turkey this is hydraulic energy, the wind is another source of renewable energy that increased the country's economy and employment, nuclear energy source which causes economic growth due to the cheapness of the unit price, gets its own share of 8% on average for all purpose functions.

Keywords: Economic growth, Employment, Optimization, GAMS

İÇİNDEKİLER

TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ÜRETİM YATIRIMLARI OPTİMİZASYONUNDA YENİLENEBİLİR ENERJİNİN EKONOMİK KALKINMA ve İSTİHDAMA ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ..... **i**

YÖNERGEYE UYGUNLUK ..... **ii**

KABUL VE ONAY ..... **iii**

TEŞEKKÜR ..... **iv**

ÖZET ..... **v**

ABSTRACT ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

KISALTMALAR VE SİMGELER ..... **xi**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **xii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **xiii**

GİRİŞ **1**

1. BÖLÜM

ENERJİ, ELEKTRİK ENERJİSİ VE EKONOMİK BÜYÜME TANIMI. GENEL KAVRAMLAR

1.1. Enerji Tanımı ve Biçimi **3**

1.2. Enerji Verimliliği **3**

1.3. Elektrik Enerjisi Kavramı, Elektrik Santralleri ve Tarihçesi **3**

1.3.1. Fosil Yakıtlarından Elektrik Üretimi **5**

1.3.2. Nükleer Elektrik Enerji Üretimi ve Tarihçesi **5**

1.3.3. Yenilenebilir Enerji Türleri ve Dünya Genelindeki İstatistikleri **7**

1.3.3.1. Güneş Enerjisi **7**

1.3.3.2. Rüzgar Enerji 8

1.3.3.3. Hidrolik Enerji 9

1.3.3.4. Jeotermal Enerji 9

1.3.3.5. Biyoenerji 10

1.4. Ekonomik Büyüme ve Kullanılan Bazı Terimler 10

2. BÖLÜM

TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ, SEKTÖRE GENEL BAKIŞ

2.1 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretim Tarihçesi ve Mevcut Duruma Bakış 12

2.2. Türkiye'de Enerji ve Elektrik Enerjisi Kullanımının Verimliliği 14

2.3. Türkiye'nin Doğalgazdan Elektrik Enerjisinin Üretimi 14

2.4. Türkiye'nin Kömürden Elektrik Enerjisinin Üretimi 15

2.5. Türkiye'nin Hidrolikten Elektrik Enerjisinin Üretimi 16

2.6. Türkiye'nin Rüzgardan Elektrik Enerjisinin Üretimi 17

2.7. Türkiye'nin Güneşten Elektrik Enerjisinin Üretimi 18

2.8. Türkiye'nin Jeotermalden Elektrik Enerjisinin Üretimi 19

2.9. Türkiye'nin Biyoenerjiden Elektrik Enerjisinin Üretimi 20

2.10. Türkiye'nin Atom Enerjisinden Elektrik Enerjisinin Üretimi 21

3. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

3.1 Elektrik Enerji Üretiminin Ekonomi Kalkınması Üzerinde Etkisi 28

3.2. Enerji Üretiminin İstihdam Üzerindeki Etkisi 33

4. BÖLÜM

ELEKTRİK ENERJİSİNİN EKONOMİ KALKINMA ÜZERİNDE ETKİSİ: ÖRNEK UYGULAMA

4.1. Metodoloji ve Model 37

4.1.1. Birim Kök Testi. 39

4.1.2. Değişkenler Arasında Uzun Dönem İlişkisi. En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi. 40

4.1.3. Eş-Bütünleşme Testi. Johansen Yaklaşımı. 41

4.1.4. Nedensellik Kavramı ve Analizi. Granger Testinin Özellikleri. 42

4.2. Veri Seti 42

4.3. Ampirik Sonuçlar 43

4.3.1. Birim Kök Testi. 43

4.3.2. Regresyon Analizi 44

4.3.2.1. Eviews Analizi 44

4.3.2.2. Spss Analizi 46

4.3.4. Eş-Bütünleşme 47

4.3.5. Nedensellik Test Sonuçları 49

5. BÖLÜM

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ YATIRIM VE ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

5.1 Elektrik Üretiminin GSYİH Etkisi 56

5.2 Elektrik Üretiminin İstihdam Etkisi 60

6. BÖLÜM

ÇÖZÜMLER VE SONUÇLAR 61

6.1. Çözüm Seti 1-4: Literatür Parametreleri ile Çözümler 61

6.2 Çözüm Seti 9-12: Kriging Parametreleri ile Çözümler 65

6.3 Çözüm Seti 21-24: Eviews Parametreleri ile Çözümler 68

6.4 Değerlendirmeler ve Tartişmalar 70

KAYNAKÇA 73

EKLER **79**

EK 1. ..... **79**

Ek 2. ..... **81**

Ek 3. ..... **82**

ÖZGEÇMİŞ **84**

KISALTMALAR VE SİMGELER

Kısaltma	Anlamı
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IEA	Uluslararası Enerji Ajanslığı
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
FMOLS	Fully Modified Ordinary Least Squares (Düzeltilmiş En Küçük Kareler)
DOLS	Dynamic Ordinary Least Squares (Dinamik En Küçük Kareler)
VECM	Vector Error-Correction Model
VAR	Vector Autoregression
ARDL	Auto Regressive Distrubuted Lag Models
ADF	Augmented Dickey Fuller
PP	Phillips ve Pheron
EKK	En Küçük Kareler
Bio	Atıklar + Biyoyakıt

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. Türkiye'nin Elektrik Sisteminin Kaynaklara Göre Kurulu Gücü (2018 sene sonu verileri) 13
Tablo 3. 1. Literatür taraması tablosu 23
Tablo 3. 2. OECD ülkeleri için enerji kaynaklarının GSYİH-na etkisi 29
Tablo 3. 3. MW elektrik üretimi sistemlerinin inşaatı için gerekli olan iş gücü (kişi sayısı cinsinden) 34
Tablo 3. 4. MW elektrik üretim sisteminin operasyonel aşamasında sağlanan istihdam (kişi sayısı cinsinden) 34
Tablo 3. 5. Türkiye'nin elektrik üretimi için gerekli olan iş gücü 36
Tablo 4. 1. Modelde kullanılmakta olan tüm zaman serileri için ADF testlerinin Seviyesinde ve 1. Farkında alınmış sonuçları 44
Tablo 4. 2. 1990-2016 sene aralığı için verilerin logaritması için regresyon analizinin sonuçları. 45
Tablo 4. 3. 1990-2016 sene aralığı için verilerin parasal değerleri için regresyon analizinin sonuçları. (Eviews uygulamasında) 46
Tablo 4. 4. 1990-2016 sene aralığı için verilerin parasal değerleri için regresyon analizinin sonuçları. (IBM SPSS uygulamasında) 47
Tablo 4. 5. Gecikme uzunluğu aramada kullanılmış testler ve sonuçları 48
Tablo 4. 6. Johansen eş-bütünleşme testi 48
Tablo 4. 7. Granger nedensellik testleri 49
Tablo 5. 1. Optimizasyon modeli terimleri 52
Tablo 5. 2. Üretim teknolojileri Türkçe karşılığı 54
Tablo 5. 3. Belirsizliği olan parametrelerin verileri 55
Tablo 5. 4. Kesin parametreler için veriler 56
Tablo 5. 5. Optimizasyon çözüm setleri 57
Tablo 5. 6. Farklı tekniklerle elde edilen GSYİH parametreleri 59
Tablo 5. 7. Teknolojilerin istihdama katkısı 60
Tablo 6. 1. Optimum durumdan sapmalar (Literatür) 65
Tablo 6. 2. Optimum durumdan sapmalar (Kriging) 68
Tablo 6. 3. Optimum durumdan sapmalar (Eviews) 70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Yüklü nesnenin etrafındaki elektrik alan 4
Şekil 1. 2. Nükleer enerji üretiminde zincir tepkimesi..... 6
Şekil 1. 3. Dünyadaki toplam yenilebilir enerji kapasitesinin kaynaklara göre yüzdeleri (2018 sene sonu verilerine göre) 7
Şekik 2. 1. Türkiye'nin son senelerdeki enerji gelişimi..... 14
Şekik 2. 2. Dünya genelinde kömür rezervleri (milyar ton) 16
Şekik 2. 3. Türkiye bölgelere göre rüzgar enerjisinin potansiyeli atlası 18
Şekik 2. 4. Türkiye'nin bölgelere göre güneş radyasyonunun dağılımı 19
Şekik 2. 5. Türkiye'de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanları 20
Şekil 6. 1. Maliyet minimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı 62
Şekil 6. 2. Salınım minimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı 63
Şekil 6. 3. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Literatür) 64
Şekil 6. 4. İstihdam maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı 64
Şekil 6. 5. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Kriging)..... 66
Şekil 6. 6. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Kriging 2. Varsayım) 67
Şekil 6. 7. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Eviews) 69

GİRİŞ

Hızlı bir şekilde gelişmekte olan dünyamızın enerjiye olan talebi günden güne artmaktadır. Bu nedenle enerji üretimi, iletimi ve dağıtımını verimli bir şekilde yürütmek; gelişen ve gelişmekte olan ülkelerin en önemli politik meselelerinden biridir. Yeryüzündeki doğal enerji kaynakları eşit dağılmadığından dolayı; her ülke farklı-farklı enerji politikalarını yürütmek zorundadır. Bu nedenle doğal zenginlikleri olmayan ülkeler sürekli alternatif kaynaklar arayışındadır. Rüzgar, güneş, nehirler ve denizler birer enerji kaynaklarına dönüşmüştür.

Yeni dünyamızda enerji üretimi, yenilenebilir temiz ve fosil kaynaklardan üretmek üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları bu sürekli veya hızlı bir şekilde yenilenebilen, sürdürülebilir ve genellikle hiç bitmeyen doğanın bir parçalarıdır. Bunlara rüzgar, güneş, jeotermal, biokütle, atıklar, dalga gel-git, hidrolik ve diğer enerji kaynakları misal getirilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları genellikle yakıt maliyeti olmayan, çevreye zararlı atık bırakmayan, tükenmeyen enerji kaynağıdır. Çevre dostu ve hızlı bir şekilde yenilenebilen bu kaynaklar yeni nesil akıllı evlerin ve akıllı şebekelerin en önemli parçasıdır. Ancak düşük verimi ve ilk yatırım maliyeti yüksek olan bu kaynaklar, fosil ve nükleer yakıtlarından üretilmekte olan enerjinin birim fiyatına oranından kat-kat yüksektir. Bu nedenle seneden-seneye, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimini ve yapı malzemelerinin daha ucuza indirgeme yöntemlerin bulunmasında kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır. Yakın gelecekte dünyanın birçok yerinde bu kaynaklar en önemli enerji üretim kaynağı olacağı malumdur.

Enerji, ülkenin ekonomisine doğrudan veya dolaylı olarak etki etmektedir. Dünyadaki enerji kaynaklarının fiyatlarındaki değişmeler, ülkenin sanayisinin gelişmesinden veya nüfusunun artmasından dolayı ortaya çıkan enerji talebinin artışı gibi ülke ekonomisini oluşturmakta olan hemen-hemen tüm sektörün içinde enerji üretimi ve tüketimi büyük rol oynamaktadır. Bu nedenle yeni enerji üretim yollarının aranması ve ülkenin enerji sektörüne dahil edilmesi durumunda ekonomi üzerindeki değişimin dikkate alınması şarttır.

Hızlı bir şekilde ekonomik ve endüstriyel olarak gelişmekte olan Türkiye'de senedenseneye yeni üretim noktalarının açılması, enerji talebinin artmasına yol açmaktadır. Endüstrideki bu artış, enerji talebini yeni üretim noktalarının açılmasını teşvik etmektedir. Türkiye ve doğal enerji kaynakları az olan ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bundan dolayı son dönemde ülkede bu konuda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Artmakta olan enerji talebini karşılamak için kullanılan enerji türünün verimiyle beraber ekonomi üzerindeki etkisinin de dikkate alınması gerekmektedir. Gelişmekte olan Türkiye'nin ekonomisine en iyi katkıda bulunacak olan enerji kaynağını bulma amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

1. BÖLÜM

ENERJİ, ELEKTRİK ENERJİSİ VE EKONOMİK BÜYÜME TANIMI. GENEL KAVRAMLAR

1.1. Enerji Tanımı ve Biçimi

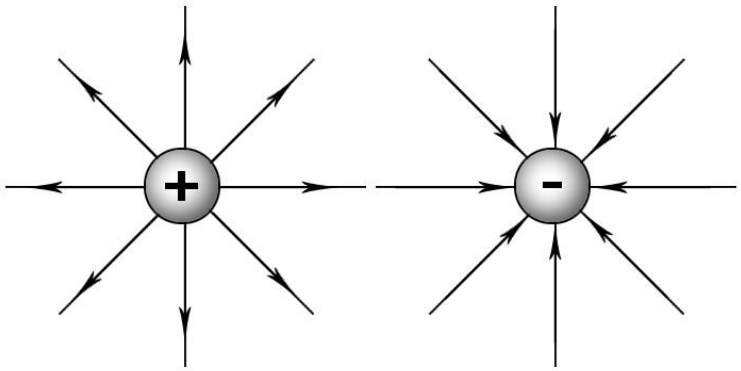
Enerji (Kadim Yunan dilinde- hareket, güç, iş) hareketin her türünü ifade eden ve maddelerin bir formdan başka bir forma geçme hareketini gösteren fiziki birimdir. İlk defa "Enerji" kelimesi Aristo tarafından "Fizik" isimli bilim eserinde insanın yaptığı işi anlatmak için kullanmıştır. Enerji doğadaki biçimlerine göre mekanik, elektromanyetik, ısı, kimyasal, atom, iç, yerçekimi ve vakum enerjisi olarak bölünmektedir.

1.2. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği bu üretilmekte olan enerjinin kalitesini ve miktarında herhangi bir değişim yapmadan, ekonomik büyümeyi ve toplumun sosyal refahını engellemeden, tüketilen enerjinin ürün miktar başına azaltılması. Enerji verimliliği bu buhar, ısı, hava, elektrik enerjilerinin kayıplarını önlemek, üretilmekte olan enerji kaynaklarının verimini arttırmak, fosil ve diğer enerji kaynaklarını tasarruflu kullanmak gibi etkinliklerin toplamıdır. Dünyadaki nüfusun artması ve teknolojik gelişimin ilerlemesiyle enerjiye, dolaysıyla enerji kaynaklarına olan talep artırmaktadır. Dünya genelinde eşit dağılmamış tabii zenginliklere sahip olmayan ülkeler, bu olumsuz durum karşısında krizle karşı karşıya gelebilir. Dolaysıyla enerji üretimi ve tüketiminin verimli kullanımı, yeni çağımızın en önemli unsurlarından biridir.

1.3. Elektrik Enerjisi Kavramı, Elektrik Santralleri ve Tarihçesi

Elektrik enerjisi; bu elektrik alanının başka bir enerji biçimine geçerek, iş yapma yeteneğidir. Elektrik alanı, bu elektrik yüklü nesnelerin etrafındaki vektörel alandır. Elektrik, bu yüklü nesnelerin hareket ve etkileşimini belirten terimdir.



Şekil 1. 1. Yüklü nesnenin etrafındaki elektrik alan

Elektrik terimini ilk defa kullanan İngiliz araştırmacı William Gilbert tarafından ‘Mıknatıslar, Mıknatıslı Cisimler Ve Büyük Yerküre Üstünde’ isimli eserinde 1600’lü yıllarda kullanılmıştır. İnsanlık tarihinde elektrik enerjisi ilk defa 1870’li yılların sonunda üretilip tüketilmeye başlamış ve ilk elektrik santrali 12 sene sonra 1882 yılında İngiltere’de inşa edilmiştir. [1]

Elektrik enerjisi üretim ve dağıtım noktalarına, elektrik santralleri denilmektedir. Çalışma şekline göre elektrik santralleri dörde ayrılmaktadır. Bunlar; Temel Yük, Normal, Puant ve Biriktirmeli santrallerdir. Yakıt maliyeti ucuz olan veya yakıt maliyeti olmayan elektrik üretim santrallerine; ‘Temel Yük Santralleri’ denilmektedir. Köy, kasaba ve şehirleri elektrik enerjisiyle besleyen santrallere ‘Normal Santraller’ denilmektedir. Elektrik tüketiminin maksimum saatlerinde (pik saatler) belli bir süre için çalıştırılan santrallere de ‘Puant Santralleri’ denilmektedir.

Elektrik üretim santralleri; bu ısı, mekanik ve diğer enerji türlerini elektrik enerjisine dönüştüren noktalardır. Mekanik enerjisini, elektrik enerjisine dönüştüren santraller makine farkına göre; Termik, Hidrolik ve Rüzgar santralleri olarak üçe ayrılmaktadır. Termik santralleri, bu fosil yakıtlardan türetilmiş yanıcı kimyasal maddelerin yanmasıyla veya nükleer etkileşiminden açığa çıkan ısı enerjisini daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren santrallere denilmektedir. Hidrolik Santraller, bu nehir ve özenlerin akım gücünün mekanik enerjisi ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren elektrik santrallerine denilmektedir. Basınç farkından dolayı oluşan hava akımının mekanik

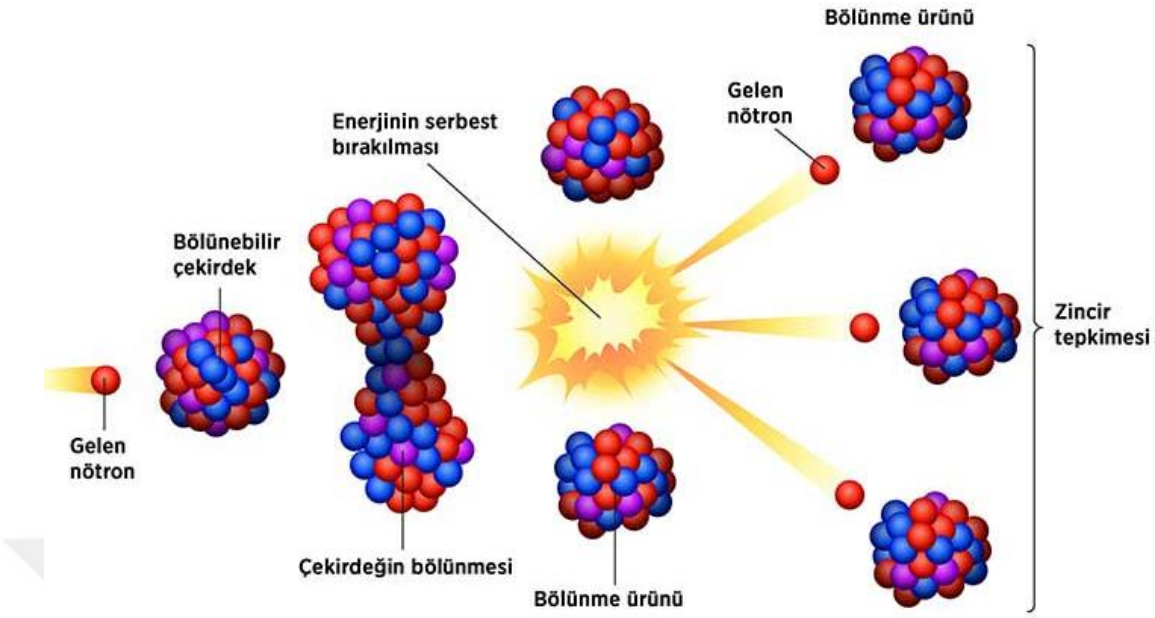
enerjisine ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlere de Rüzgar Enerji Santralleri denilmektedir. [1]

1.3.1. Fosil Yakıtlarından Elektrik Üretimi

Fosil yakıtlar, asırlar boyunca yerin altında bitkilerin ve hayvansal canlıların kalıntılarının havasız ortamda çürümesi ve dağılması ile ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlardan elektrik enerji üretim prosesi bu katı, sıvı ve gaz halinde bulunan petrol ürünlerinin, doğal gazın veya kömürün yakılması ile meydana gelen ısı enerjisinin jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Dünyada üretilmekte olan toplam elektrik enerjisinin 2017 verilerine göre %64,85 (16,653 TW saat) fosil yakıtlardan (%38,39 kömür ve kömür ürünleri, %22,80 doğal gaz ve doğal gaz ürünleri ve %3,66 petrol ve petrol ürünlerinden) üretilmektedir. [1] Geçmiş yüzyılın en önemli enerji kaynağı; fosil yakıtlardan olup, sadece elektrik üretimi için değil; hatta kış aylarındaki ısı enerjisi bu kaynakların yakılmasıyla elde edilmiştir. Oluşan bu yoğun talepten dolayı enerji rezervleri tükenmektedir. Fosil yakıtlarla çalışan enerji santrallerinin verimi oldukça yüksektir, ancak çevreye verdiği zarar miktarı az değildir. Yanmış olan bu kaynakların hepsi çevreye belli bir miktarda zararlı atık bırakmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, insanoğlu temiz ve çevre dostu enerji üretim yollarının arayışındadır.

1.3.2. Nükleer Elektrik Enerji Üretimi ve Tarihçesi

Nükleer enerji, Uranyum-235 veya Plütonyum-239 atomlarının serbest nötron parçacığı ile parçalanmasıyla elde edilen ısı enerjisidir. Parçalanma sonucunda açığa çıkan serbest parçacıklar bölünebilir diğer çekirdekler tarafından yutulmakta ve proses tekrarlanmaktadır. Tüm bu tekrarlanan parçalama ve enerji kazanma prosese zincirleme tepkime veya zincirleme reaksiyonu denilmektedir.



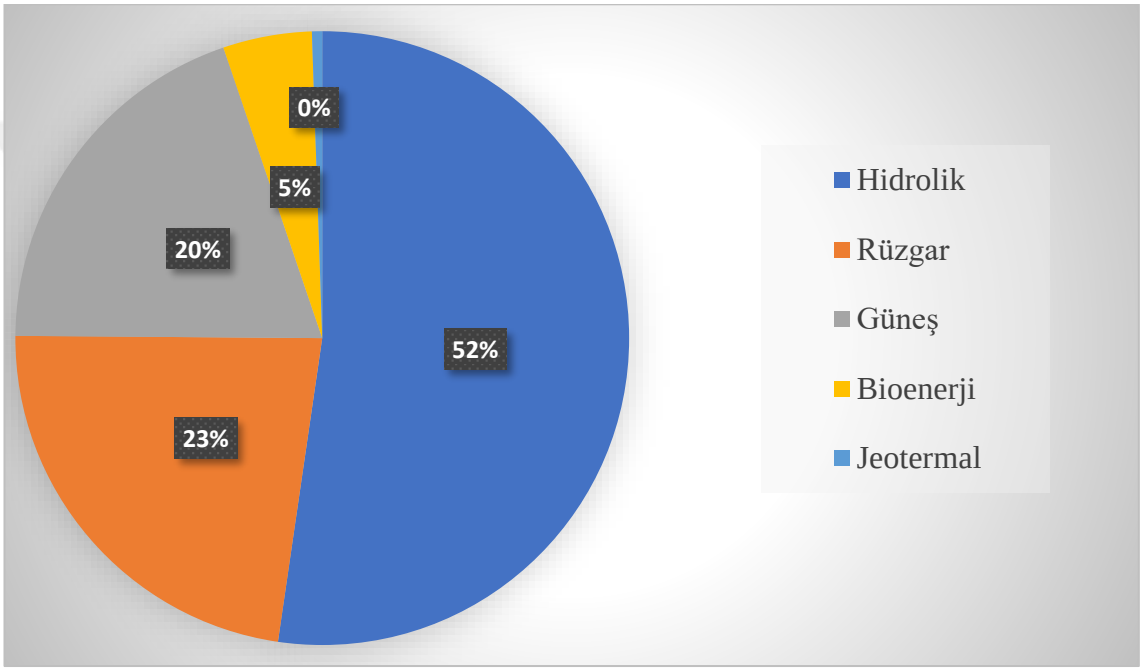
Şekil 1. 2. Nükleer enerji üretiminde zincir tepkimesi

İlk nükleer reaktörü, 27 Haziran 1954 yılında Sovyetler Birliği'nde inşa edilmiştir. 1 Haziran 2018 verilerine göre dünyada bulunan toplam 413 nükleer reaktör, 31 ülkede 363,4 GWh kapasite ile çalışmaktadır. 2017 istatistik verilerine göre dünyada en çok nükleer elektrik enerji üreticileri ABD, Fransa, Çin, Rusya ve Güney Kore'dir. Bu ülkeler dünyadaki toplam nükleer enerjinin %70'ni üretmektedirler. [2] Nükleer enerjinin ilk yatırım maliyeti çok yüksek olmakla birlikte aynı zamanda üretilen enerjinin birim fiyatı diğer kaynaklara göre daha ucuzdur. Çünkü çok az miktarda yakıt kullanarak, büyük miktarda enerji açığa çıkarmaktadır. Ancak nükleer enerji büyük bir tehlike taşımaktadır. Çernobil ve Fukuşima nükleer santrallerinde meydana gelen facialar dünyayı sarsmış ve nükleer enerji kullanımı için tarihte siyah bir leke bırakmıştır. Bundan dolayı Japonya gibi gelişen ülkeler nükleer enerji kullanımını azaltıp, ülke enerji politikalarını diğer kaynaklar üzerin kurmaya başlamıştır.

Temmuz 2018 sene verilerine göre dünyada toplam 453 nükleer reaktörü 31 ülkede elektrik üretmekte olup, 57 adet nükleer reaktörü 17 ülkede inşaat halindedir. Ülke bazındaki istatistiklere göre en çok nükleer enerjisini Fransa (toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %72), Ukrayna (toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %55) ve Belçika (toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %50) üretmektedir. [3]

1.3.3. Yenilenebilir Enerji Türleri ve Dünya Genelindeki İstatistikleri

Yenilenebilir Enerji Kaynakları, sürekli yenilenen veya kainatta bulunan doğa fenomenlerinden üretilen enerjidir. Bunlar; güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyo, jeotermal, deniz dalgası gel-git enerjileridir. Dünyanın yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim kapasitesi; 2.350.755 MW (2018 sene sonu raporlarına göre)dir. [4] Son zamanlarda bu kaynaklara olan ilgi fazlasıyla artmıştır ve bu seneden seneye artacaktır.



Şekil 1. 3. Dünyadaki toplam yenilebilir enerji kapasitesinin kaynaklara göre yüzdeleri (2018 sene sonu verilerine göre)

1.3.3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, dünyada en yaygın bulunan ve kolaylıkla elektrik veya ısı enerjisine dönüştürülebilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Kullanım amacına göre; güneş ışınları, yarı iletken malzemelerden hazırlanmış güneş panelleri ile doğrudan elektrik enerjisi, ya-da güneş ışınlarını doğrudan ısı enerjisini üretmekte kullanılmaktadır. Güneş enerjisi dünyada çok yaygın ve yakıt masrafı olmayan enerji kaynağı olmasına rağmen; yeryüzüne düşmekte olan güneşin sadece % 0.04 kullanılmaktadır. Çünkü yatırım maliyetine göre üretilebilecek enerji miktarı, fosil yakıtlardan üretilmekte olan enerjiye göre daha pahalıdır. Tüm dünyada güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim kapasitesi

485 826 MW ve onun 480 357 MW güneş panellerinden ve 5 469 MW yoğuşturuculardan üretilmektedir. [4] Fotovoltaik güneş sistem kapasitesine en fazla sahip olan ülkeler; Çin, Almanya ve Japonya'dır. Güneş enerjisinin sürdürülebilirliği ve çevre dostu olması geleceğe vaat eden kaynaklardan biri haline gelmiştir. Ancak hava koşullarına bağlı olması, sene içerisinde belli bir periyod aralığında verimli çalışması, ileri teknoloji gerektirmesi, konstrüksiyon malzemelerinin pahalı olması, atmosfer sıcaklığına etki etmesi ve büyük bir alanı kaplaması güneş enerji sistemlerinin kullanımını negatif yönde etkilemektedir. Bu duruma rağmen son üç senede güneş enerjisine olan ilgi ve yatırımın yoğunlaşması, sistemin veriminin artmasına ve teknolojik maliyetinin inmesine vesile olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ülkelerin enerji politikaları arasında güneşe verilen rol büyük ve teşvik mekanizmalarıyla desteklenmektedir. [5]

1.3.3.2. Rüzgar Enerji

Rüzgar enerjisi, yeryüzünde oluşan basınç farkından dolayı akan hava akımının kinetik enerjisidir. Gelen bu hava akımları rüzgar dönüştürücü sistemlerle ilk mekanik enerjisine ve daha sonra elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Kullanılmakta olan bu enerji sistemleri, rüzgar türbinleri diye adlandırılmaktadır. Doğada oluşan bu rüzgar enerji kaynağının her hangi bir yakıt maliyeti olmamakla birlikte dolayısıyla da zararlı atıklar bırakmamaktadır. Ancak rüzgar enerji sistemleri, güneş enerji sistemleri gibi yüksek teknolojik masraflara ve fosil yakıtlara göre kıyaslanırsa, daha yüksek enerji birim fiyatına sahiptir. Bu sistemlerin, özellikle rüzgar akımları yaygın olan bölgelerde inşa edilmesiyle birlikte karaya (onshore) ve denizlere (ofshore) yerleştirilmektedir. Yenilenebilir enerji istatistik verilerine göre [4], 2018 sonundaki dünyada rüzgar enerjisi kullanım kapasitesi 563 726 MW olurken, 2017 verilerine nispeten 49 104 MW daha fazladır. Bu demek ki bir sene içerisinde yaklaşık 50 bin MW'lık yeni rüzgar sitemlerine yatırım yapılmıştır. Rüzgar elektrik enerjisi üretiminde ilk Çin 184696 MW, sonra ABD 94295 MW ve en son da Danimarka 59420 MW gelmektedir. İstatistiksel veriler, son senedeki rüzgar ve güneş enerjilerinden elektrik enerjisi üretimindeki artışın, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nispeten daha fazla tercih edildiğinin kanıtıdır. Bu demek ki bu tür enerji kaynaklarına olan ilgi ve teşvikin artması, yakın gelecekte üretile bilecek olan enerji birim fiyatlarında düşüşe yol açacağı malumdur.

1.3.3.3. Hidrolik enerji

Hidrolik enerji sistemleri, nehir ve ırmakların akış - düşüş hızlarından elde edilen bir elektrik enerji çeşididir. Üretilen elektrik enerjisinin birim fiyatının düşük olması, hidrolik enerjinin dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı haline getirmiştir. Ancak yeryüzünün farklı bölgelerindeki ırmak ve nehirlerinde yaşanan kuraklık problemleri hidrolik enerji kullanımının daha da artmasına engel olmaktadır. Bundan dolayı sürdürülebilir ve ekolojik sınıfına giren hidrolik enerjisi bu hususlarda tartışılır hale gelmiştir. Hidrolik enerjinin sadece özel coğrafik alanlarda (nehir ve ırmak) inşa edilebilmesi, enerji potansiyelini arttırmak için barajların yapılması ve dolaysıyla ekolojiye etki etmesi, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması hidrolik santrallerinin eksi yönleridir. Ancak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha verimli olması ve yakıt maliyetinin olmaması ülkeler tarafından teşvik edilmektedir. Tüm dünyanın hidroelektrik enerji üretim kapasitesi 1 292 595 MW olup, en çok üreticileri ise; Çin Cumhuriyeti 352261 MW, Brezilya 104195 MW ve ABD 103109MW dir. [4]

1.3.3.4. Jeotermal enerji

Yer kabuğunun bazı bölgelerinde, yer altı sıcaklıklardan dolayı ısınmakta olan yer altı suları yüksek sıcaklıklarda buharlaşarak jeotermal bölgeleri oluşturmaktadır. Bu bölgeleri enerji arz güvenliğini sağlayan, düşük maliyetli ve çevre dostu olan enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Jeotermal enerji kaynakları, diğer rüzgar ve güneş enerjileri gibi iklim şartlarına bağımlı olup çalışmadığı için, ülkeler tarafından kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Dünya çapında şimdiki zamanda üretilmekte olan total enerjinin sadece %0.04 jeotermal enerjiden üretilmekte olup, Uluslararası Enerji Ajanslığı'nın hesaplamalarına göre 2050 senesine kadar bu rakamların %3.5 kadar artacağını söylemektedirler. [6] İmalatı için özel coğrafik bölge isteyen bu sistemler bazı ülkeler tarafından desteklenmemekte veya yapılması için öyle tabii şartlar bulunmadığından dolayı, bu rakamlar oldukça düşüktür. Genellikle, volkanik bölgelerde yer altı sularının kaynama sıcaklığını geçmekte ve bu bölgelerde santrallerin yapılması daha verimli olmaktadır. [7] Ancak bu volkanik bölgelerde genelde insan yaşamı olmadığı için üretilecek enerjinin, yüksek voltajlarla iletilmesi gerekmekte ve bu enerji birim fiyatına ekstra masraf olarak yansımaktadır. Dünyada şu anda jeotermal enerji kapasitesi, 13 329 MW olup, en çok jeotermal enerji üreticisi ülkeler ise; ABD 2546 MW, Endonezya 1946 MW ve Filipin 1928. [4]

1.3.3.5. Biyoenerji

Biyoenerji, organik bitki ve maddelerin çürümesi, dağılması ve fermantasyon geçirmesi ile, açığa çıkan yanıcı gazlar ve sıvılardır. Biyoenerji, kendi içinde sert biyoyakıt, biyogaz, akışkan biyoyakıtlar ve biyoatıklar olup yenilenebilir enerji kaynaklarının bir türüdür. Sert biyoyakıtlar, fosil yakıt olmayan, etkileşime geçerek ısı enerjisi çıkarta bilen sert biyolojik organik malzemelerdir. Biyogaz, sert biokütlelerin fermantasyonu ile organik yanıcı gazların (genellikle metan) bölünmesi veya sıvı biyoyakıtların gazlaştırılmasına denilmektedir. Biyoyakıtlar, organik malzemelerden sıvı yakıtların üretilmesidir. [8] Son yıllarda ülkelerin enerji talebini karşılamak amacıyla kullanılan çevre dostu enerji yakıtı olan biyoenerji türlerini üretmeye ilgi çoğalmıştır. Ancak ülkelerin enerji politikalarından ve petrol fiyatlarının yükselip düşmesinden dolayı bu ilgi sadece alternatif olarak ikinci planda kalmaktadır. 2018 verilerine göre dünyadaki biyoenerji üretim kapasitesi 115731 MW olup, ülke kapasiteleri ise şu şekildedir; Brezilya 14782 MW, Çin Cumhuriyeti 13235 MW ve ABD 12928 MW. [4] Dünya genelinde üretilmekte olan bu enerji, elektrik, yakıt ve ısı enerjisinde kullanılmakta olan total enerjinin %14'nü kapsamaktadır. Bu oranın %74'ü etanol, %22'si biyodizel ve %4'ü hidrojen ile zenginleştirilmiş yağlar tutmaktadır. [9] Teknolojinin ve fermantasyon yöntemlerinin gelişmesi ile birlikte biyoenerji üretim birim fiyatının azalacağı ve fosil yakıtların yerine alternatif olarak biyoyakıtların geçeceği yüksek olasılıktır. Bundan dolayı gelişmekte olan ülkeler, bu yöndeki araştırma ve projeler için yüksek yatırımlar yapmaktadırlar.

1.4. Ekonomik Büyüme ve Kullanılan Bazı Terimler

Ülkenin ekonomik büyümesi ve gelişmesi o ülkenin Gayrisafi Yurt İçi Hasılası'ndaki artış ile ifade edilmektedir. Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH), ülke sınırları içinde bir yıl içindeki kullanımı ve ihracatı için üretmiş olduğu tüm sektörlerdeki ürünlerin ve tüm hizmetlerin değer toplamıdır. Ülke ekonomisinin altyapısını oluşturan elektrik enerji üretimi ve tüketimi, doğrudan veya dolaylı olarak tüm ekonomiye etkilemektedir. Bu da demektir ki ekonomideki katma değeri olan her şeyin içinde elektrik enerjisinin bir payı vardır.

Sermaye, ekonomi bilimlerinde ülke sınırları içinde mal, ürün üretmek için kullanılan fiziksel araçlardır (makineler, fabrikalar). Finansal sermaye, ülke sınırları içerisindeki işletmelerin yatırımı için kullandıkları paralar ve kredilerdir.

2. BÖLÜM

TÜRKİYE'NİN ELEKTRİK ENERJİ ÜRETİMİ, SEKTÖRE GENEL BAKIŞ

2.1 Türkiye'de Elektrik Enerjisi Üretim Tarihçesi ve Mevcut Duruma Bakış

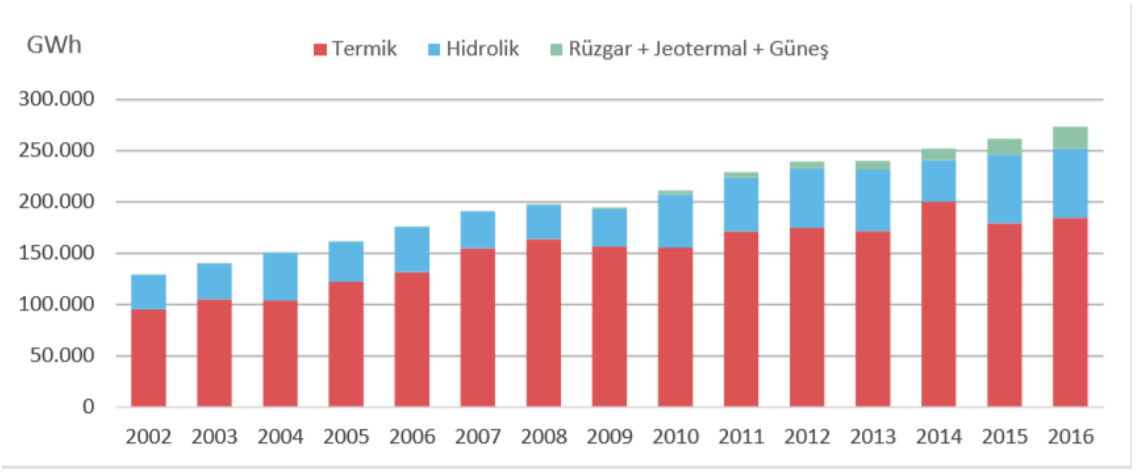
Türkiye tarihinde ilk elektrik enerji üretim santrali İsviçre ve İtalyan grupları ile ortaklaşa 1902 yılında Tarsus ilçesinde inşa edilmiştir. Santral ırmak tarafına monte edilmiş, su değirmenine bağlanmış 2 KW'lık kapasiteye sahip olan dinamo ile çalışmaktaydı. Daha sonra elektrik santralleri Osmanlı İmparatorluğu'nun hükümdarlığında olan Selanik'te, Şam'da ve Beyrut'ta yapılmıştır. 1914 senesinde Türkiye tarihinde ilk taşkömürü santrali İstanbul'da Silahtarağa Santrali ismiyle çalıştırılmaya başlamıştır. 1923 yılında cumhuriyetin ilan edilmesiyle birlikte Türkiye'de toplam 32.8 MW kurulu gücüne ve 44.5 GW saat yıllık üretim kapasitesine sahipti. [1]

TEİAŞ'nin verdiği 2018 sonu raporuna göre toplam 7423 elektrik üretim santrali 88.550,8 MW kurulu gücüne sahiptir. Ülkenin kaynaklara göre sahip oldukları kurulu güç miktarı ve santral sayıları tablo 2.1'de verilmiştir:

Tablo 2. 1. Türkiye'nin Elektrik Sisteminin Kaynaklara Göre Kurulu Gücü (2018 sene sonu verileri)

Yakit Cinsleri	Kurulu Güç MW	Katkı %	Santral Sayısı Adet
Fuel-Oil + Nafta + Motorin	294	0,3	11
Yerli Kömür(Taş Kömürü + Linyit + Asfaltit)	10.203,5	11,5	31
İthal Kömür	8.793,9	9,9	11
Doğalgaz + Lng	22.437,8	25,3	251
Yenilen.+Atık+Atıkısı+Pirolitik Yağ	738,8	0,8	127
Çok Yakıtlılar Katı+Sıvı	697,1	0,8	22
Çok Yakıtlılar Sıvı+D.Gaz	3.443,2	3,9	48
Jeotermal	1.282,5	1,4	48
Hidrolik Barajlı	20.536,1	23,2	118
Hidrolik Akarsu	7.747,7	8,7	524
Rüzgar	6.942,3	7,8	175
Güneş	81,7	0,1	9
Termik (Lisanssız)	300,5	0,3	104
Rüzgar (Lisanssız)	63,1	0,1	74
Hidrolik(Lisanssız)	7,6	0	11
Güneş (Lisanssız)	4.981,2	5,6	5.859
TOPLAM	88.550,8	100	7.423

2018 senesinde üretilmiş elektrik enerjisi, bir önceki seneye göre %2.2 yani 303.9 kWh miktarda artışa geçmiştir. Bu durum enerjiye olan talebin yıllara göre artmakta olduğunun kanıtıdır. [10] Son senelerde meydana gelen artışları Şekil 2.1'de görebiliriz;



Şekil 2. 1. Türkiye'nin son senelerdeki enerji gelişimi [11]

2.2. Türkiye'de Enerji ve Elektrik Enerjisi Kullanımının Verimliliği

Türkiyedeki sanayileşme, nüfusta olan artış ve toplum refahının artmasıyla birlikte enerjiye olan talebi büyük bir miktarda etkilemektedir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun verdiği tahmin rapora göre; 2050 yılına kadar ülke nüfusu 94.6 milyona kadar artacaktır. Nüfustaki bu artış, beraberinde enerji talebine olan artışı da getirmektedir. Dolayısıyla yeni enerji üretim yatırımlarından ötürü, mevcut kaynaklardan olan üretim ve kullanımındaki verimi arttırmak, büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin sektörlere göre enerji tasarrufu araştırmaları, bina sistemlerinde %30, sanayide %20 ve ulaşımda %15'e kadar önemli düzeyde elektrik enerji kullanımının azaltılabileceğini göstermektedir. Ülkede elektrik enerjisi üretiminde, iletiminde ve dağıtımında oluşan %2.5-3'lük kayıp ekonomiye ciddi bir zarar vermektedir. [12] Bu zararların en aza indirilmesi için ülke bazında ciddi işlemlerin yapılması gerekmektedir. Yapılacak olan yeni yatırımlardan maksimum fayda alabilmek için, verimlilik hesaplamalarının yapılması şarttır.

2.3. Türkiye'nin Doğalgazdan Elektrik Enerjisinin Üretimi

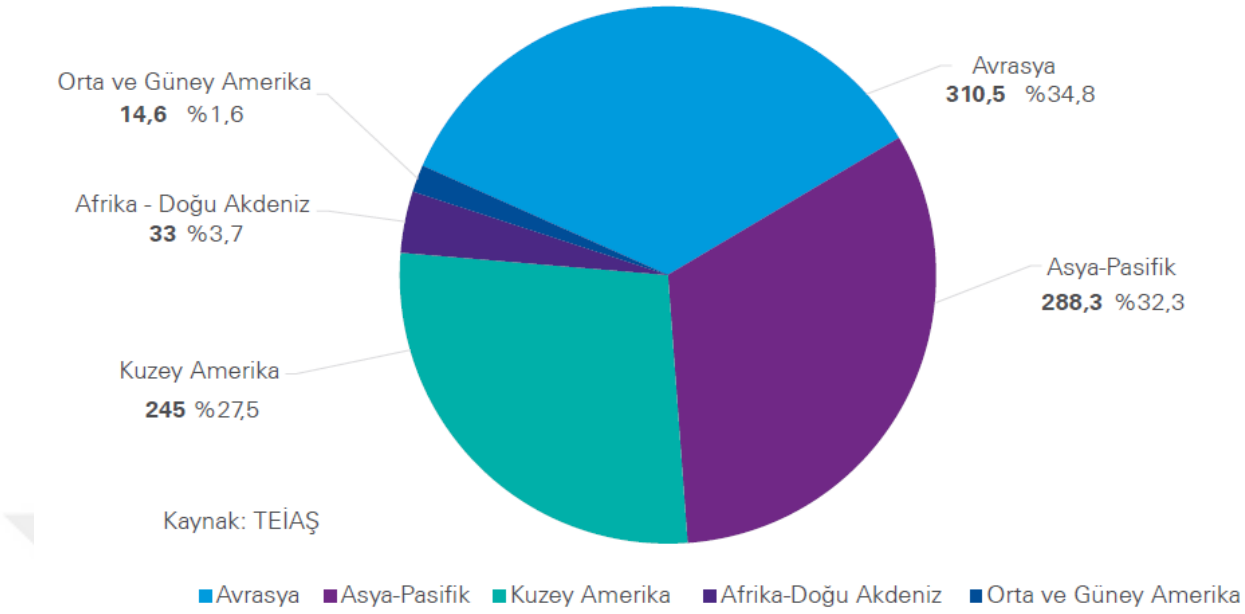
Doğalgaz, bir petrol türevi olup yanıcı, renksiz ve kokusuz karbonhidrat gazların karışımıdır. Dünyadaki doğalgaz rezervlerinin 79,1 trilyon metreküpü (%40,9) Orta Doğu ülkelerinde, 62,2 trilyon metreküpü (%32,1) Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, 33,1 trilyon metreküpü (%17,1) Afrika/Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır. Dünya doğalgaz rezervleri sırasıyla şu şekildedir; Rusya, İran, Katar ve Türkmenistan. Doğalgaz,

dünyanın diğer ülkelerine bu ülkeler tarafından ithal edilmektedir. Türkiye'nin 2017 yılı verilerine göre doğalgaz tüketimi 53,5 milyar m^3 olarak gerçekleşmiştir. [13]

Türkiye'nin doğalgaz ile üretilen elektrik enerjisinin kurulu gücü 2016 yılında 22.156 MW ile %28,2'lik paya sahipti. 2017 yılı ekim sonu verileri 23.259 MW ve %28,3 olarak gerçekleşmiştir. Doğalgazın elektrik üretimine yönelik kurulu gücü, önceki seneye göre anlamlı bir farklılık göstermezken, iklim ve yağış koşulları nedeniyle, elektrik üretimdeki payı yılın son aylarında önemli ölçüde artış göstermiştir. Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimi için en önemli kaynağı olan doğalgaz %99 oranda ithal edilmektedir. 2016 sene sonu raporlarına göre Türkiye'de üretilmekte olan doğalgazın miktarı sadece 0.8 yüzdelik ihtiyacı kapatmaktadır. Bu rakamları yükseltmek üzere, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ciddi bir teşvik üzerinde yatırımlar yapmaktadır. [14]

2.4. Türkiye'nin Kömürden Elektrik Enerjisinin Üretimi

Kömür, asırlar boyunca yer altında oksijensiz ortamda muhafaza edilen organik bitkilerin ve canlılıkların çürümüş, dağılmış halidir. Dünyadaki kömür rezervlerinin 323,6 milyar tonu (%31,3) Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, 424,2 milyar tonu (%41,0) Asya ve Pasifik ülkelerinde, 258,7 milyar tonu (%25,0) Kuzey Amerika ülkelerinde, 14,4 milyar ton (%1,4) Afrika ve Doğu Akdeniz ülkelerinde ve 14,0 milyar ton (%1,4) Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır. Dünya Enerji Konseyi'nin yapmış olduğu araştırma sonucunda dünya kömür rezervi toplam 892 milyar ton olup, onun 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu ise linyit kategorisindedir. Toplam yer yüzündeki linyit rezervinin yaklaşık %3,2'si Türkiye'de bulunmakta olup bu rezervlerin büyük miktarı yaklaşık %46 Afşin-Elbistan bölgesinde bulunmaktadır. [14]



Şekil 2. 2. Dünya genelinde kömür rezervleri (milyar ton) [14]

2018 yılında kömüre dayalı santrallerden toplam 113,3 TWsaat elektrik üretilmiş olup, ülkenin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %37,3 düzeyindedir. [15] TEİAŞ'nin verdiği raporlara göre, 2018 sene sonunda toplam kömür ve ürünlerinden elektrik üretimi için 42 elektrik santrali üretim yapmaktadır. Ülkede doğalgaz ihtiyacının tamamen ithal edilmesinden dolayı, elektrik enerjisinin yerli üretimi olan kömür ürünlerinin üretimine büyük bir destek verilmektedir. [14]

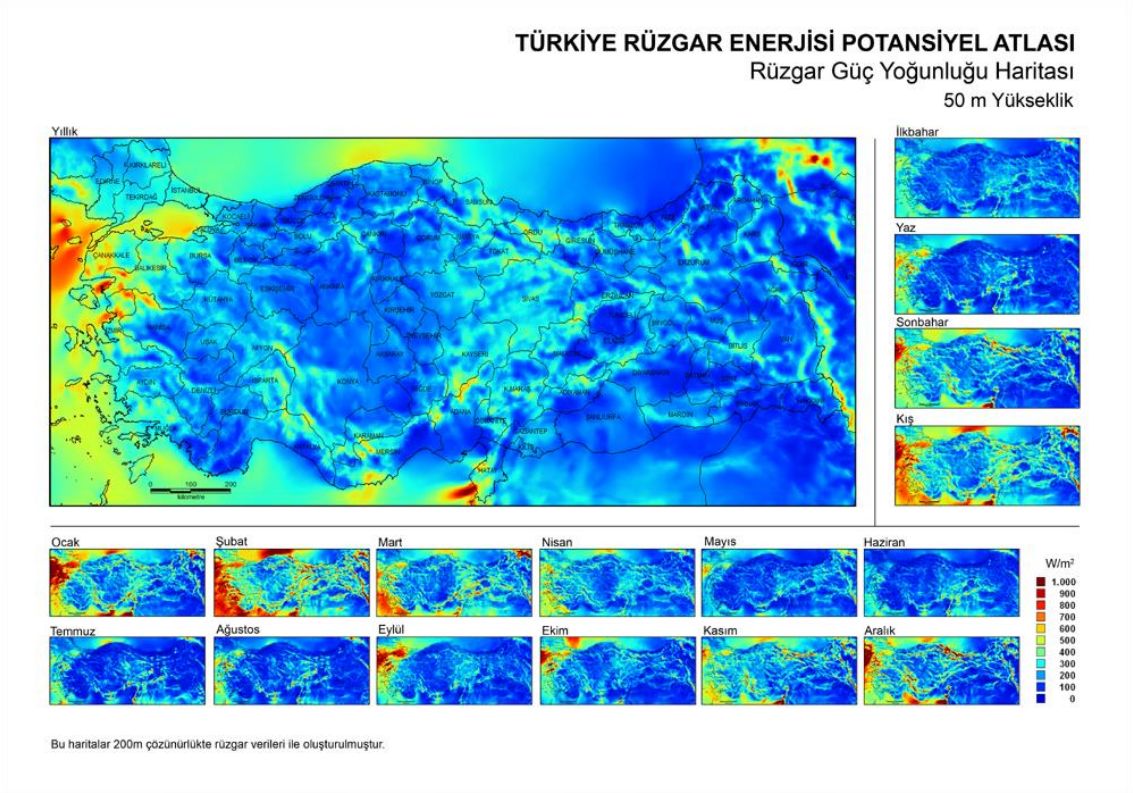
2.5. Türkiye'nin Hidrolikten Elektrik Enerjisinin Üretimi

Türkiye'nin toplam elektrik enerjisinin yaklaşık %32'sini tutmakta olan hidrolik enerjisi; yenilenebilir, temiz, çevre dostu, yakıt masrafı olmayan ve yüksek verimli enerji kaynağıdır. Türkiye'nin hidrolik enerji potansiyeli tüm dünya bazında %1 oranda olup yaklaşık Avrupa'da %16 orana sahiptir. Türkiye enerji sektörünün en önemli parçası olan hidrolik enerjisinin potansiyeli 433 milyar KW saat olup bunun sadece 216 milyar KW saati teknik açıdan kullanışlıdır. Ülkenin 2018 yıl sonu verilerine göre sahip olduğu 27,912 MW'lik kurulu gücü, 636 hidroelektrik santralleri ile üretilmektedir. [16]

2.6. Türkiye'nin Rüzgardan Elektrik enerjisinin üretimi

Sıcaklık ve basınç farkı sonucunda oluşan hava akımından üretilmekte olan enerji biçimine rüzgar enerjisi denmektedir. Atmosfere düşen güneş ışınları yeryüzüne eşit dağılmamaktadır ve bundan dolayı yerin farklı noktaları arasında sıcaklık farkı oluşmaktadır. Yeryüzüne yayılan güneş ışınlarının yaklaşık %2'si rüzgar enerjisinin oluşumuna harcanmaktadır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretim sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, enerji üretim hava durumuna bağlı olup sürekli olmaması ve kapasite faktörünün düşük olması ciddi bir dezavantajdır. Ancak yakıt masraflarının olmaması, temiz ve çevre dostu olması, enerji birim fiyatının diğer kaynaklara benzer olması, bakım ve işletme fiyatının düşük olması kullanımına yol açmaktadır.

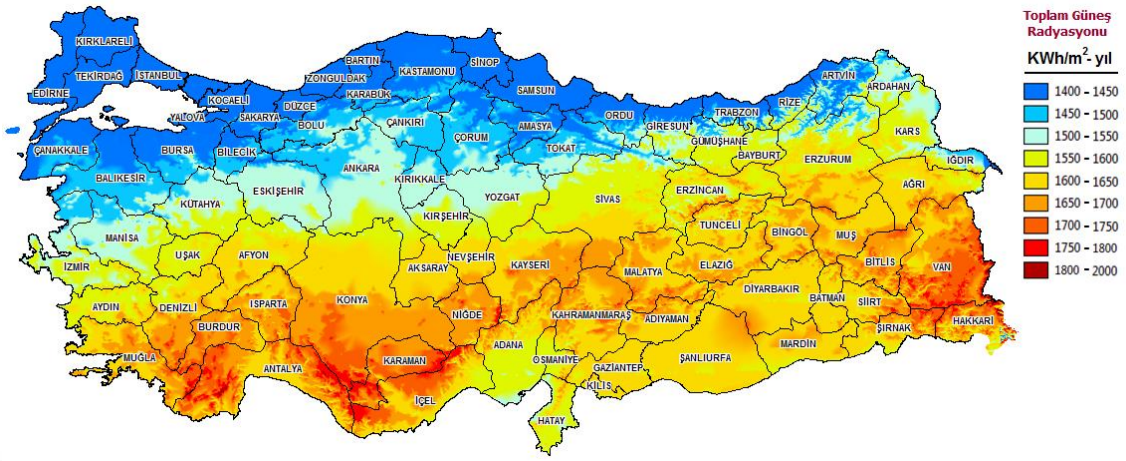
Türkiye'nin, üç tarafının denizlerle çevrili olması, yüksek rüzgar enerjisi potansiyelinin olduğunun kanıtıdır. Yapılan hesaplamalara göre Türkiye OECD ülkeleri arasında en yüksek rüzgar enerji potansiyeline sahip ülkedir. Alınan sonuçlar, Türkiye'de rüzgar türbinlerinin inşa edilmesi için, 7,5 m/s ve üzeri rüzgar hızına ulaşabilmesine, yer seviyesinden 50 m yükseklikte (Yenilenebilir enerji Genel Müdürlüğünün Türkiye için verdiği rüzgar enerji güç yoğunluğu atlası Resim-x gösterilmektedir) 5 MW'lik elektrik santrallerinin yapılabileceğini göstermektedir. Bu kriterlere uygun olarak Türkiye'nin rüzgar enerji potansiyeli 48000 MW olarak hesaplanmakta ve bu potansiyelin tamamını kullanmasına Türkiye'nin sadece %1,30'luk yüz ölçümüne denk gelmektedir. En yüksek potansiyele sahip bölgeler Ege, Doğu Akdeniz ve Marmara bölgeleridir. 2006 senesinde sadece 59 MW'lik rüzgar enerji kurulu gücüne sahip olan Türkiye'nin, 2018 senesinde toplam 7005 MW kurulu güce sahip olması bir yılda 19,882 milyar kW saat rüzgar enerjisi üretmesini sağlamıştır. [14] [17]



Şekil 2. 3. Türkiye bölgelere göre rüzgar enerjisinin potansiyeli atlası [18]

2.7. Türkiye'nin Güneşten Elektrik Enerjisinin Üretimi

Güneş ışınlarının, elektrik enerjisine dönüştürme potansiyeli Türkiye için oldukça yüksektir. Türkiye enerji bakanlığının hazırlamış olduğu Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre günlük ortalama 7,5 saat ve yıllık toplam 2741 saat güneşleme süresi, ya da günlük ortalama 4,18 kWh/m² gün ve yıllık 1.527 kWh/m² yıl güneş enerjisi kazanmaktadır. Türkiye'de güneş enerjisi potansiyelinin, en çok Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmak üzere, en az Doğu Karadeniz ve Marmara bölgelerinde olduğu Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2. 4. Türkiye'nin bölgelere göre güneş radyasyonunun dağılımı [19]

Türkiye'de, güneş ışınlarının çok farklı alanlarda kullanılmasıyla birlikte; elektrik enerjisi üretiminde çoğunlukla iki farklı teknolojiden faydalanılmaktadır. Bunlar; yarı iletken malzemelerden oluşan, güneş panelleri ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren Fotovoltaik PV sistemleri ve güneş ışınlarını bir alana odaklayarak ısı enerjisine ve daha sonra elektrik üretim sistemleriyle elektrik üretimine yol açan Isı Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi CSP'dir.

2018 sene sonu verilerine göre toplamda 5063 MW'lik kurulu gücüne (bunların 4.981,2 MW'i lisanssız, 81,8 MW'si de lisanslı) sahip olan 5868 adet güneş enerji santrali güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bu da demektir ki güneş enerjisi sistemleri senede 7477,3 GW saat enerji üretmekte olup; ülkenin toplam %2,5 payını almaktadır. [20] Türkiye'nin, yüksek güneş enerjisi potansiyelinin olmasına rağmen; birtakım zorunluklarla karşı karşıya olmasından dolayı yavaş adımlarla gelişmektedir. Bu zorunluluklarda enerji üretim teknolojilerinin maliyetinin aşırı yüksek olması ve bu teknolojilerin büyük kısmının yurt dışından ithal edilmesinden dolayı, üretilmekte olan enerjinin birim fiyatına yansımaktadır. [14]

2.8. Türkiye'nin Jeotermalden Elektrik Enerjisinin Üretimi

Yenilenebilir, temiz, ucuz ve çevre dostu olan jeotermal enerji kaynağı Türkiye için büyük önem taşımaktadır. Coğrafik ve jeolojik yerleşimine göre Türkiye'nin bulunduğu konum; jeotermal enerji kaynak sayısı bakımından zengin olmasını sağlarken, dünya

sıralamasında da Türkiye'yi üst sıralara çıkarmaktadır. Ülkede yaklaşık 1000 civarında doğal jeotermal kaynağı bulunmakta olup, bunların en yaygın bölgesi Batı Anadolu bölgesidir (yaklaşık %78). Bu doğal kaynakların %90'nı düşük ve orta sıcaklıklarda olup; ısıtma, termal turizm ve diğer sektörlerde kullanılmakta ve sadece %10'luk payı elektrik enerji üretimine uygundur. [21]



Şekil 2. 5. Türkiye'de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanları [22]

Türkiye sınırlarında yapılmış olan ilk jeotermal enerji santrali 1975 senesinde inşa edilmiş 0,5 MW'lik Kızıldere Santrali'dir. Dünyada jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı boyunca ABD, Filipin ve Endonezya'dan sonra 4'üncü sırada Türkiye yer almakta olup son senede toplamda 14369 GW'lik (2018 yılı için) jeotermal elektrik enerjisi üretilmiştir. [21] TEİAŞ'nin vermiş olduğu verilere göre; 2018 sene sonundaki, Türkiye'nin toplam jeotermal enerji kurulu gücü 1.282,5 MW'ye kadar yettiğini ve ülkenin toplam enerji üretimine katkı payını ise %1.4'e kadar çıktığını raporlamaktadır.

2.9. Türkiye'nin Biyoenerjiden Elektrik Enerjisinin Üretimi

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde son yıllarda öne çıkan kaynaklarından biyoenerji çeşitleri söylenebilir. Biyokütle, belirli bir türe veya türlere sahip olan organizmaların veya organik bitkilerin sahip oldukları kütleye denilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda Türkiye'nin biyokütleden üretebileceği biyogaz miktarının 1,5-2 Milyon Ton

Eşdeğer Petrol (MTEP) olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ülkenin deniz kıyılarında yer alan ormanlardan elde edilebilecek biyoatık miktarı 4,5 tona denk gelmekte ve bu hammaddenin niteliği ise1,5 MTEP'tir. Buna ek olarak tarla ve bahçelerden 15,3 milyon tonluk atık yani; 7,24 MTEP değerindeki rezervleri bulunmaktadır. Bu kadar potansiyele sahip olmasına rağmen; Türkiye'nin biyoenerji üretiminin, ülke bazında popülerleşmesi için daha gelişme aşamasındadır. Diğer taraftan ülkenin enerji politikaları diğer yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğunlaşmasından dolayı; biyoenerjinin gelişmesini yavaşlatmaktadır. [5] 2018 sene sonu verilerine göre toplam 811 MW'lik kurulu gücüne sahip olan Türkiye'de, toplamda 3216 GW'lik elektrik enerjisi üretilmiştir. [23]

2.10. Türkiye'nin Atom Enerjisinden Elektrik Enerjisinin Üretimi

1955 yılında Atom Enerjisinin Barışçıl Amaçlarla Kullanılması konu başlığında 1. Cenevre konferansından sonra, 1956 yılında Türkiye'de Atom Enerji Komisyonu kurulmuştur. Bu yıllardan itibaren bu güne kadar nükleer enerjisini hedefleyen Türkiye, belirli sebeplerden dolayı bu hedefine erişememiştir. Ülkenin sürdürülebilir gelişimi için yapmak istediği nükleer santralleri sürekli tartışılır bir konuya dönüşmüştür. Türkiye'nin nükleer enerji üretim hedefi ilk olarak 12 Mayıs 2010 tarihinde Rusya Federasyonu ile gerçekleştirilmiş ve santral kurulumu için ülkeler arası anlaşmaya imza atılmıştır. Akkuyu Sahasında kurulacak olan bu santral, 'Rosatom' firması tarafından VVER-1200 tipli, dört reaktörden ve toplam 4800 MW kurulu gücüne sahip olacaktır. Türkiye, bu santralden ülke ihtiyacının %5 payını üretmeyi hedeflemektedir. Santralin ilk kulesi 2023 senesinde kullanıma verilip elektrik üretimine başlanacaktır. [24]

3. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Çalışmanın amacı olan yenilenebilir enerji üretimi ve ekonomik kalkınma arasındaki etkilerin, ülke yatırım planlaması optimizasyonu yapması ve dolaysıyla veri tabanın oluşturulmasına detaylı literatür taraması yapılmıştır. Tarama sonucunda, ülkenin yatırım planlamasında, herhangi bir optimizasyon modellerin yapılmadığının sonucuna varılmıştır. Enerji üretiminin ekonomik kalkınma üzerindeki etkisi, son zamanda araştırmacıların ilgi konusu olmak üzere gündemde olup, enerji tüketimi ve ekonomik büyüme arasındaki ilişkiler 21. yüzyılın başından beri araştırılmaktadır. Pakistan, Polonya, Bangladeş gibi bazı ülkeler için ve OECD ülkelerine yapılmış olunan panel çalışmalarından, aranmakta olan verilere ulaşılmıştır. Türkiye'nin kaynaklara göre elektrik enerjisinin üretimi ve ekonomik kalkınma arasındaki ilişkileri yansıtmakta olan veriler bulunmadığından dolayı, 4. bölümde istatistik hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalar tablo 3.1'de yer alan literatürdeki çalışmalardan örnek alınarak çözümleme yapılmıştır.

Tablo 3. 1. Literatür taraması tablosu

No	Konu	Metod	Açıklama	Yazar	Ülke
1	Fossil fuel power generation and economic growth in Poland.	Eşbütünleşme (kointegrasyon) ve Granjer Nedensellik Analizi	Doğal gazdan elektrik üretiminin %1 artmasında ekonomik kalkınmaya en az %0.05 miktarda etki ettiğinde, kömürden elektrik üretiminde %1 artmasında ekonomik kalkınma %0.27 kadar artmakta.	*João Paulo Cerdeira Bento, Nina Szczygiel & Victor Moutinho (2017)*	POLONYA
2	Nexus between Electricity Generation and Economic Growth in Bangladesh.	Genişletilmiş Dikey-Fuller ve Philips-Peron testleri (Birim Kök Testi), Granjer nedensellik testleri, Eşbütünleşme (kointegrasyon testi)	Enerji üretim miktarının artması, ekonomik büyümeye neden olacaktır ve diğer önemli nokta ekonomik kalkınma elektrik üretimine etkide bulunmadı.	*Abdur Rashid Sarker, Khorshed Alam (2010)*	BANGLADEŞ
3	Nexus between Electricity Generation and	Durağanlık ve birim kök testi, Eşbütünleşme	Ekonomik kalkınmayla enerji üretiminin tek yönlü nedensel ilişkilerinin olduğunu, yani	*Anzoo Sharma (2015)*	NEPAL

	Economic Growth of Nepal.	(Cointegration), Granjer Nedensellik testleri.	ekonomik kalkınmanın enerji üretiminin artmasına getirdiğini ima etmektedir.		
4	Electricity generation and economic growth in Indonesia.	Granjer Nedensellik ve Durağanlık testleri, Eşbütünleşme testleri, Standart Granjer nedensellik testleri, Granjer Nedensellik testlerinin Hsiao versiyonu.	Endonezya'nın gerçek GSYH-sının artması enerji üretiminin miktarının artması getirmektedir. Ekonomik kalkınmanın artması enerji üretimine harcanacak olan GSYH-sının payını arttıracak ve bununla enerji üretiminde yeni teşviklere yol açacaktır.	*Seung-Hoon Yoo, Yeonbae Kim (2005)*	ENDONEZYA
5	The effect of renewable and nonrenewable electricity generation on economic growth.	System Generalized Methods of Moments (GMM) yöntemiyle. Yöntem için Hansen testi, Arellano ve Bond testleri kullanılmış.	Çalışmada yenilenebilir ve yenilenmeyen enerji kaynaklarının ekonomik kalkınmaya etkisi olumlu sonuçlar vermiştir. Fakat bazı devletlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yaptığı yatırımlar ekonomik kalkınmaya olumsuz etki etmektedir. Bununla beraber enerji kayıplarının, ülkenin kötü enerji	*Bebonchu Atems, Chelsea Hotaling (2017)*	174 ÜLKE (ABD)

			yapısının, enerji kaçağının, ekonomi büyümede ters etki gösterdiği görülmüştür.		
6	Multivariate Granger Causality between Electricity Generation, Exports, Prices and Economic Growth in Turkey.	İlk Birim Kök Testleriyle değişkenlerin integralleme sırası bulundu. Daha sonra değişkenlerle otoregresiv dağıtılmış gecikme modeli arasındaki eştümleşme ilişkilerinin olması incelenmiş.	Alınan ilk sonuçlar ekonomik kalkınmadan enerji tüketimine iki yönlü granger nedensellik ilişkilerinin olduğunu göstermekte. Türkiye için en önemli elektrik tüketicisi üretim sektörünün olması ve dolaysıyla elektrik üretiminin azalması ekonomik kalkınmaya ters etkide bulunduğu görülmekte.	*Halil Altıntas, Melike Kum (2013)*	TÜRKİYE
7	Electricity generation mix and economic growth: What role is being played by nuclear sources and carbon	Otoregresiv Dağıtılmış Gecikme	Yenilenebilir enerji kaynakları ekonomik kalkınmaya yüksek yatırım maliyeti olduğundan olumsuz etki ettiği görülmekte. Rüzgar enerji kaynakları Fransa'nın ekonomik kalkınmasını yavaşlatırken, güneş enerji kaynakları ekonomik kalkınmayı canlandırır.	*António CardosoMarques, José Alberto Fuinhas, André Roque Nunes. (2016)*	FRANSA

	dioxide emissions in France?				
8	Interactions between electricity generation sources and economic activity in Greece: A VECM approach.	VECM modeli ile çözümleme yapılmış	Kısa vadeli çözümlemede fosil yakıtlardan üretilen enerjinin ekonomik kalkınmaya olumlu etkide bulunduğu görülmekte. Uzun veya kısa vadeli çözümlemeler için yenilebilir enerji kaynaklarıyla ekonomik kalkınma arasındaki nedensellik ilişkilerin olması hakkında bir kanıt yoktur. Sadece ekonomik kalkınma uzun ve kısa vadeli yenilenebilir kaynaklarının kullanılmasına neden olacağı görülmekte.	*Antynio Cardoso Marques, Josŭ Alberto Fuinhas, Angeliki N. Menegaki. (2014)*	YUNANİSTAN
9	Multivariate Granger causality between electricity generation,	Eşbütünleşme (kointegrasyon) ve Granjer Nedensellik Analizi	Ekonomik kalkınmadan, enerji üretimine kadar tek-taraflı Granger nedensellik ilişkilerinin olduğu görülmekte. Yani ekonomik kalkına enerji üretiminin artmasına yol açmakta.	*Hooi Hooi Lean, Russell Smyth (2010)*	MALEZYA

	exports, prices and GDP in Malaysia.				
10	The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: A study of energy sources.	Birim Kök Testleri, Eşbütünleşme testleri, Uzun-dönem denge parametreleri.	Esneklik tahminlerinin sonucuna göre biokütle, hidroelektrik ve atık enerji kaynakları en çok gerçek GSYH-ya etki etmekte ve sırasıyla 0.129, 0.114 ve 0.096 esneklik tahminine sahiptir. Jeotermal, güneş ve rüzgar en düşük sırasıyla 0.085, 0.055 ve 0.053 esneklik tahminlerine sahiptirler ve dolaysıyla en az GSYH-ya etkide bulunmaktalar.	*Adrienne Ohler, Ian Fetters (2014)*	20 OECD
11	Total Electricity Generation and its Relation to Economic Growth: The Case of Turkey.	Birim Kök Testleri, Johansen Eşbütünleşme testleri, Vektör Hata Düzeltme Modeli, Granger Nedensellik testi.	Elektrik üretimi ile GSYİH arasında uzun dönemde tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur	*Ahmet UZUN. Selçuk EMSEN, Ömer YALÇIKAYA, İbrahim HÜSEYNİ* (2013)	TURKEY

3.1 Elektrik Enerji Üretiminin Ekonomi Kalkınması Üzerinde Etkisi

Seung ve Yeonbae yaptığı çalışmada Endonezya için elektrik üretiminin ekonomik kalkınmaya etkisini araştırmış. Araştırmacılar 1971- 2002 periyot için, zaman serisi tekniklerinin yardımıyla, enerji üretimi ile ekonomik kalkınma arasındaki nedensel ilişkileri hesaplamışlar. Hesaplamalar durağan Granger nedensellk testleri, eş-bütünleşme testleri, standart Granger ve Granger Hsiao versiyonu testlerinin yardımlarıyla yapılmıştır. Çözümleme için elektrik enerjisinin hidrolik, kömür, petrol, doğal gaz, ve nükleer enerjisiyle beraber, yenilenebilir olan güneş, rüzgar, jeotermal, dalga ve organik atıklardan üretilen enerji kaynakları incelenmiş. GSYİH değerleri 1995 sene ortalama dolar kuru ile kabul edilmiş. Çalışmanın sonuçları ekonomik kalkınmadan enerji üretimine kadar tek taraflı her-hangi bir geri-dönüşümsüz ilişkilerin olduğunu göstermekte. Bu demek ki enerji üretimine harcanan GSYİH payının artması enerji üretiminin armasına neden olmakta. [25]

Akhtar ve arkadaşları, Pakistan'daki kömürden üretilmiş olan elektrik enerjisinin ekonomik büyüme üzerindeki etkileri araştırmışlar. Karşılaştırma amaçlı modele diğer enerji kaynakları olan hidrolik, petrol, doğal gaz ve nükleer enerji kaynakları eklenmiştir. Çalışma Pakistan için 1995-2007 seneler aralığındaki veriler ile yapılmıştır. Çözümleme OLS metodu ile yapılmıştır. Çalışma sonucu kömürden elektrik üretiminin diğer kaynaklara göre daha etkili olduğunu göstermiş. Kömürün 1 birim artması, toplam elektrik üretiminin 15.52 birim civarında artmasına sebep olmakta. Doğal gazın 1 birim artması, elektrik enerjisinin üretimini 1.22 birim arttırmakta, hidrolik enerjisinin 1 birim artması, enerji üretimini 2.541 birim arttırmakta, nükleerin enerjisinin 1 birim artması durumunda, elektrik üretiminin 11.69 birim arttırmakta, petrolün 1 birim artması elektrik enerji üretiminin 0.27 birim artmasına neden olmaktadır. Elektrik enerji üretiminin 1 birim artması ise, toplam ekonomik kalkınmayı 9.04 birim artmasına neden olmakta. Sonuçlar Pakistan için kömürden elektrik üretiminin ekonomiye diğer enerji kaynaklarına karşılık daha etkili olduğunu göstermekte. Bununla birlikte kömür diğer fosil enerji kaynaklardan daha ucuzdur. [26]

Ohler ve Fetters yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin ekonomik kalkınmaya etkisi üzerinde çalışma yapmışlar. Çalışma OECD ülkeleri için 1990-2008 yıllar arası kaynaklara göre elektrik enerji üretim veri setinden yararlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak biokütle, hidrolik, jeotermal, güneş, atıklar ve

rüzgar alınmıştır. Araştırmanın amacı olan uzun vadeli ilişkileri bulmak için Dinamik OLS (DOLS) ve Tamamen Değiştirilmiş OLS (FMOLS) modelleri kullanılmıştır. Alınan sonuçlar tüm yenilenebilir kaynakları için bulunan katsayıların pozitif ve istatistik anlamlı olduğu göstermekte. DOLS yenilenebilir enerji üretiminin %1 artması GSYİH-da %0.012 artmasına getirdiğini, FMOLS yenilenebilir enerji üretiminin %1 artmasının GSYİH-da %0.149 arttırdığını göstermektedir. Tablo-3.2 enerji kaynağının %1 artmasının ne kadar GSYİH etki ettiğini göstermektedir. [27]

Tablo 3. 2. OECD ülkeleri için enerji kaynaklarının GSYİH-na etkisi

Kaynak	**Model**	**Parametre**	**Bölge**
Biokütle	FMOLS	0.129	20 OECD Ülkesi
Jeotermal		0.085	
Hidroelektrik		0.114	
Güneş		0.055	
Atıklar		0.096	
Rüzgar		0.053	
Yenilenebilir enerji		0.149	
Diğer enerji kaynakları		0.329	
Yenilenebilir enerji	DOLS	0.012	
Diğer enerji kaynakları		0.013	

Uzun ve arkadaşları, Türkiye'nin elektrik üretimi ve onun ekonomik büyümeye etkisi üzerindeki etkisini araştırmışlar. Araştırma istatistik bir çalışma olup Türkiye'nin 1980-2010 seneler arasındaki verileri ile Vektör Hata Düzeltme Metoduyla (VECM) yapılmıştır. Sonuçlara ulaşmak için ilk eş-bütünleşme katsayılarını elde etmişler ve daha sonra bağımlı değişken olan GSYİH ile bağımsız değişken Enerji Kaynaklarından elektrik üretimi arasındaki uzun dönemli ilişkilerin olup olmadığını incelemişlerdir. Tespit edilen uzun dönemli ilişkilerin Vektör Hata Düzeltme Modelleri ile nedensellik ilişkiler aranmıştır. Alınan sonuçlar enerji üretiminin GSYİH'na tek yönlü nedensel ilişkilerin olduğunu göstermektedir. Bu demek ki Türkiye için GSYİH'nın büyümesi, daha fazla enerji üretimine yol açtığını göstermektedir. [28]

Marques ve arkadaşları Yunanistan için farklı enerji kaynaklarından enerji üretimiyle endüstriyel gelişim arasındaki ilişkileri araştırmışlar. Çalışma Temmuz 2004-Ekim 2013 arasında Yunanistan için linyit, petrol, doğalgaz, hidrolik ve yenilenebilir enerji kaynaklarından MW/saatte üretilen enerji, ithal ve ihraç olan enerji miktarı ve su pompalama sistemlerinden üretilen enerji verileriyle çözümleme yapılmıştır. Verilerin gerçek zamanda çözülmesi için ekonometri VAR/VEC modelleri kullanılmıştır. Sonuç olarak %1 endüstriyel gelişimin artması, %1.3 yenilenebilir enerji üretimini ve %0.15 fosil yakıtlardan üretilen enerji miktarını arttırmaktadır. [29]

Marques ve arkadaşları Fransa için Ocak 2010 tarihinden, Kasım 2014 tarihine kadar farklı enerji kaynaklarından elektrik üretimi, CO_2 emisyonu ile ekonomik kalkınma arasındaki ilişkileri araştırmışlar. Çözümleme için ARDL sınır testleri ile uzak ve kısa döneme ayrılarak yapılmıştır. Çalışma sonucu olarak Fransa ekonomisine en etkili bulunan enerji kaynağı nükleer enerji olduğu tespit edilmiştir. Ek olarak ta nükleer enerji kaynakları uzun ve kısa vadeli çözümlemeler için aynı sonuç vermektedir. Nükleer enerjiyle beraber yenilenebilir enerji kaynaklarına bakılmıştır ve sonuçların bir taraftan rüzgar enerjisinin ekonomik kalkınmayı durdururken, diğer taraftan güneş PV sistemleri ekonominin gelişmesine sebep olduğunu göstermiştir. [30]

Lea ve Smith yaptıkları araştırmada 1970-2008 seneler arasındaki Malezya için Yıllık verileri kullanarak Elektrik üretimi, Ekonomik kalkınma, İthalat ve fiyatlar arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Çalışma birkaç hipotezin üzerinde yürütülmüş olup, çalışmanın ilk hipotezi enerji üretim ile GSYİH arasındaki ilişkileri incelemektedir. Araştırma eş-bütünleşme ve Granger nedensellik testleri ile yürütülmüştür. Eş-bütünleşme ARLD kenar testlerini uygulamadan önce Augmented Dickey Fuller (ADF) ile Phillips ve Pheron (PP) testleri yapılmıştır. Alınan sonuçların Malezya için ekonomik gelişmenin enerji üretimine neden olduğunu göstermektedir. İlk olarak ekonomik kalkınma ticaretin ve endüstrinin artmasına, daha doğrusu enerjinin en çok tüketildiği endüstriyel üretime yol açmaktadır. [31]

Cerderia Bento ve takım arkadaşları Polonya için fosil yakıtlarından üretilen elektrik enerjisinin ekonomik kalkınmaya etkisi üzerinde bir çalışma yapmışlar. Çalışma 1970-2014 seneler arasındaki veriler ile, fosil yakıtlar olan petrol, gaz ve kömür üzerinden eş-bütünleşme ve Granger nedensellik testleri ile ekonomi kalkınmaya etkisi araştırılmıştır.

Çalışma modeli bağımlı değişken olan ekonomiyi simgeleyen GSYİH ve bağımsız değişkenler olan sermaye, iş gücü ve fosil yakıtları kullanılmıştır. ARDL testlerin sonuçlarına göre GSYİH, sermaye, iş gücü, petrol, doğal gaz, kömür üzerinden üretilen elektrik enerjisi ile uzun-dönemli ilişkilerin olduğunu göstermektedir. Alınan sonuçlarda enerji kaynaklarından en büyük katsayıya kömür ve en düşük katsayıya petrol sahiptir. Daha net olarak %1 petrolden enerji üretiminin artması en az %0.02 ekonomik kalkınmaya etki ettiği, %1 doğal gazdan elektrik enerji üretimi %0.05 ekonomik kalkınmaya etki ettiğini ve %1 kömürden elektrik üretiminin ekonomik kalkınmaya en az %0.27-e kadar etki gösterdiği görülmektedir. [32]

Altıntaş ve Kum yaptıkları çalışmalarında 1970-2010 seneleri için Türkiye'nin ekonomik kalkınması, enerji üretimi, ihracatı ve fiyatlar arasındaki uzun ve kısa-vadeli ilişkileri araştırmışlar. Çalışmada ekonomik kalkınma, enerji üretimi, ihracat ve fiyatlar üzerindeki ilişkileri üç adım üzerinden yapılmış. İlk adımda birim kök testleri ile değişkenlerin entegrasyon sıralaması incelenmektedir. Değişkenlerin sıralaması belirlendikten sonra, eş-bütünleşme testindeki değişkenler arasındaki otoregresyon ilişkilerin olup olmadığı incelenmiştir. En sonunda da ekonomik kalkınma, elektrik üretimi, ihracat ve fiyatlar üzerindeki nedensel ilişkilerin olup olmadığı incelenmiştir. Alınan ilk sonuçlar ekonomik kalkınmadan enerji üretimine kadar iki taraflı Granger nedenselliklerinin olduğunun tespitine varıldı. Türkiye ekonomisi, üretim sektörüne bağlı olduğu ve elektrik en çok üretim sektöründe tüketildiği net. Endüstriyel üretim miktarının düşmesi, enerji üretiminin de azalmasına yol açması iki taraflı ilişkilerin olduğunun kanaatidir. [33]

Sarker ve Alam Bangladeş için 1973-2006 seneler arasında ekomik kalkınmasıyla enerji üretiminin Granger nedensellik ilişkilerini araştırmışlar. Çalışmada kullanılan değişkenler enerji üretimi ve ekonomik kalkınmayı gerçek GSYİH ile çözümlemişler. Değişkenler natürel logoritmesinde almış. VAR modelinden alınan sonuçlar enerji üretiminden ekonomik kalkınmaya tek taraflı ilişkilerin olduğunu göstermekte. Bu demek ki daha fazla enerji üretimi, ekonominin artmasında daha fazla etkide bulunacağını söylemekte. [34]

Sharma yaptığı araştırma sonucunda, enerji tüketiminin ekonomi üzerinde etkisi son 20 senedir araştırma konusu olduğunun ve enerji üretiminin ekonomi üzerinde etkisi yeni konu olduğun tespitine varmış. Araştırmacı çalışmasında, Nepal için 1980-2011 seneler

arasındaki ekonomik değişimin üzerinde araştırma yapmıştır. Çözüm sonuçlarına erişmek için Birim Kök Testleri, eş-bütünleşme testi ve Granger nedensellik testleri yapılmıştır. Eş-bütünleşme testleri ekonomik kalkınmadan enerji üretimine kadar tek taraflı nedensellik ilişkilerinin olduğunu göstermekte. Daha doğrusu ekonomik kalkınmadaki artış, enerji üretimine yol açtığı görülmektedir. [35]

Ogbonna ve takım arkadaşları Nijerya için 1980-2015 seneler arasında enerji kapasitesinin, ekonomik kalkınma üzerindeki etkisini araştırmışlar. Çalışmada ilk başta ADF testlerinin yardımlarıyla, değişkenler arasındaki sabitlik derecesini belirlemek amacıyla birim kök testi yapılmış. Daha sonra değişkenler arasında uzun ve-ya kısa dönemli ilişkilerin olup olmadığını eş-bütünleşme testlerinin yardımlarıyla test edilmiştir. Alınan sonuçlar bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin olduğunu göstermekte. Bu demek ki enerji üretim kapasitesinin artması, ekonomik kalkınmadaki artışa neden olmakta. Çünkü uzun dönemli ilişkilerin verdiği sonuç olumlu ve istatistik olarak anlamlıdır. Kısa dönemli hesaplamalar, değişkenler arasında düşük olumlu ilişkilerin olduğunu göstermekte. Granger nedensellik testleri GSYİH ve enerji üretimi arasındaki nedensel sonuçların vermediğini göstermekte. Bu demek ki elektrik güç sistemlerinin ekonomik kalkınmaya etki etmediğini beyan etmekte. [36]

Atems ve Hotaling 174 Ülke için ekonomik kalkınmanın enerji üretimi üzerindeki etkisini araştırmışlar. Çalışma ülkelerin 1980-2012 seneler arasındaki verilerin kullanılmasıyla yapılmış. Araştırmacılar özellikle enerji üretiminin yenilenebilir ve tradisyonel olarak grupladırarak ayrı-ayrı hesaplamalar yapmışlar. Çalışmada iki farklı verilerin kullanımıyla aynı GMM modeline eklenerek yapılmıştır. İlk çözümleme için Enerji Bilgisi İdaresinden alınan verilerle yapılmıştır. Modele yenilenebilir ve tradisyonel kaynakları sırasıyla eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar Yenilenebilir enerji kaynakları için 0.0328 ve tradisyonel kaynaklar için 0.0197 katsayıları elde edilmiştir. Bulunan iki katsayıda istatistik olarak anlamlıdır. Bu demek ki yenilenebilir enerji üretim miktarının %1 artması, GSYİH'da %0.0328 artışa yol açmaktadır. Diğer veriler Dünya Bankasından alınan veriler üzerinden çözümleme yapılmıştır. Veriler aynı şekilde modele sırasıyla eklenmiştir. Elde edilen sonuçlar 0.0192 birim yenilenebilir enerji kaynakları için ve 0.0211 birim tradisyonel enerji kaynakları için bulunmuştur. [37]

3.2. Enerji Üretiminin İstihdam Üzerindeki Etkisi

Chaudhry ve arkadaşları 1972-2014 seneler için Pakistan'ın enerji üretiminin istihdam üzerindeki etkisini incelemiştirler. İlk olarak değişkenlerin durağanlığını incelemek için Birim Kök Testleri kullanılmış. Uzun vadeli çözümlemeler için Johansen Eşbütünleşme testleri kullanılmış. Değişkenlerin hepsi Birim Kök Testlerinde ilk farkta durağan sonucunu vermiş. Bilgi kriterler değerlerinin minimumu için en uygun durağanlık uzunluğu '1'. İz istatistikleri ve Maksimum Eigen istatistikleri tüm değişkenler arasında uzun dönemli ilişkilerin olabileceğini söylemekte. Alınan sonuçlara göre enerji üretimi, iş gücü, gerçek GSYİH, ihracat, yurt dışı yatırımları ve serbest döviz piyasası istihdamı olumlu etki etmekte. Error Correction katsayısı eksik alınmıştır ve bu demek ki ekonomi uzun vadeli dengede bulunacaktır. [38]

Rashid ve Ul Haq çalışmalarında, literatürlerde yapılan ekonomik kalkınmadan işsizlik oranın azalmasına ek olarak, elektrik üretiminin işsizlik oranına etkisi üzerinde araştırma yapmışlar. İşsizlik nedenlerini bulmak için modeli, esas makroekonomik faktörlerden ve işsizlik oranına doğrudan veya dolaylı etki eden sebeplerden yapılmıştır. Model kendi içine işsizliğin makroekonomik belirleyicilerini ve enerji üretim işlemini kapsamakta. Daha sonra bu model yapısal otoregresyön vektör (VAR) ve dürtü yanıt fonksiyonu ile ampirik test edilmiştir. Çalışma 1975-2013 seneler arası yıllık verilerin kullanımıyla, uluslararası dünya istihdam kurumundan ve diğer değişkenlerin dünya kalkınma kurumlarından toplanmasıyla yapılmıştır. Araştırma sonucunda enerji üretimi işsizlik oranına olumsuz etki gösterdiği göstermekte. Bu etkinin, hatta uzun dönem için daha fazla ve küçük dönem için daha az olduğunu kanıtlamakta. Buda enerji üretiminin işsizlik oranına direkt etki ettiğini, fakat bu etkinin tamamen işsizlik problemini yok etmekte büyük rol oynamayacağını göstermekte. [39]

Bryan ve arkadaşları Birleşik Krallıklar için elektrik üretiminin istihdam oranına etkisi üzerinde bir bölgesel çalışma yapmışlar. Çalışma Galler için elektrik enerjisi üretimi ve imalatı için sağlanan istihdam üzerinde 2011-2013 seneler arasındaki farklı teknolojiler üzerinden yapılmış. İngiltere istatistikler kurumunun verdiği rapora göre 2012 senesinde 26,568 GW saat enerji üretilmekte. Bunların %24 doğal gazdan, %40 kömürden, %9 yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir. Alınan sonuçlar inşaat ve geliştirme için en az doğal gazdan 1 MW elektrik üretimi için 4.5 iş yeri ve en fazla dalga gel-git sistemlerinden 1MW elektrik üretimine 35.3 işçi ihtiyaç duydurduğunu göstermekte. Bu

demek ki doğal gaz sistemlerinin inşası için daha az iş gücüne ve aksine deniz dalga gel-git enerji teknolojilerin inşası için daha fazla iş gücüne talep olmaktadır

Tablo 3. 3. MW elektrik üretimi sistemlerinin inşaatı için gerekli olan iş gücü (kişi sayısı cinsinden)

	Her bir 1 MW-lık sistemin inşası için
Doğal gaz	4.5
Nükleer	8.6
Biokütle	14.8
Karada esen rüzgar	12.8
Kıyıda esen rüzgar	8.3
Güneş PV	20.8
Dalga gel-git	35.3
Atıklar	32.3

Ancak inşa edilen enerji üretim sistemlerinin çalıştırma aşamasında sağlanan istihdam sayısı 1 MW elektrik üretimine en az doğal gaz sistemlerinde 0.6 kişi ve en fazla kömürden enerji üretimi 1.4 kişi sayısı olarak hesaplanmaktadır. [40]

Tablo 3. 4. MW elektrik üretim sisteminin operasyonel aşamasında sağlanan istihdam (kişi sayısı cinsinden)

	1 MW elektrik üretim İşletilmesi için gereken iş gücü
Doğal gaz	0.3
Nükleer	0.7
Kömür	1.4
Karada esen rüzgar	0.6
Kıyıda esen rüzgar	0.6
Güneş PV	0.4
Dalga gel-git	0.9
Atıklar	0.9

Moreno ve Lopez yaptığı araştırmada yenilenebilir enerji ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin istihdam ve CO_2 üzerinde etkisini araştırmışlar. Çalışma 2006-2010 seneler arasındaki, İspanya'nın endüstriyel bölgesi olarak önem taşıyan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının arttırılması önemli olan Asturias şehrinin verileri ile yapılmıştır. Çalışma daha verimli ve bölgenin enerji yatırımlarının daha etkili olması amacıyla üç farklı senaryo üzerinde yapılmış. Alınan sonuçlar İspanya'nın Asturias şehrindeki en çok istihdam sağlayan enerji üretim santralleri termal, güneş veya fotovoltaik ve rüzgar enerji kaynakları olmaktadır. Çalışma sonucu yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgedeki işsizlik oranını azaltmış olup, daha doğrusu bölgede istihdam sağlamakta olan madencilik sektörinden iş gücünü kendine çekeceğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji üretim santrallerinin çalıştırmadan ziyade inşaatı için daha da fazla işçiye ihtiyaç duyulmakta ve ilerleyen zamanda bölgede iş gücü eksikliğine yol açabileceğin tespitine varılmıştır. [41]

Türkiye için enerji üretiminin istihdama etkisin Energy [R]evolution tarafından araştırılmıştır. Yapılan araştırmada; ülkenin 2015, 2020 ve 2030 yılları için enerji üretiminin artmasıyla istihdam üzerindeki değişmeleri bulmaktır. Çalışmada Rutovitz & Harris (2012) [42] metoduna dayalı hesaplanmıştır. İş gücü; elektrik üretim sistemlerinin inşaatı, elektrik üretim sitemlerinin üretimi, operasyon/yönetim ve elektrik üretimi için gerekli olan yakıtının üretimi için iş gücü olarak ayrılmıştır. Alınan sonuçlar tablo 3.4 verilmekte.

Tablo 3. 5. Türkiye'nin elektrik üretimi için gerekli olan iş gücü

	İnşat Süresi	**İnşaat**	**Malzeme Üretimi**	**Operasyon/ Yönetim**	**Yakıt Üretimi**
	Yıl	**İşçi yıl/MW**	**İşçi yıl/MW**	**İşçi/MW**	**İşçi/PJ**
Kömür	5	7.7	3.5	0.1	350.7
Linyit	5	7.7	3.5	0.1	61.0
Doğal gaz	2	1.7	1.0	0.1	21.9
Nükleer	8	13.7	1.3	0.3	0
Bioenerji	2	14.0	2.9	1.5	32.2
Hidrolik	2	6.0	1.5	0.3	0
Rüzgar onshore	2	2.5	6.1	0.2	0
Rüzgar offshore	4	7.1	10.7	0.2	0
PV	1	10.9	6.9	0.3	0
Jeotermal	2	6.8	3.9	0.4	0
Güneş termal	2	8.9	4.0	0.5	0
Deniz	2	9.0	1.0	0.3	0

4. BÖLÜM

ELEKTRİK ENERJİSİNİN EKONOMİ KALKINMA ÜZERİNDE ETKİSİ: ÖRNEK UYGULAMA

Çalışmanın amacı, elektrik enerji üretim yatırım optimizasyonunun, yenilenebilir enerji üretiminin ekonomik kalkınmaya etkisini araştırmak için optimizasyon analizi yapmak. Amaca ulaşmak için, literatür taraması sonucunda farklı ülkelere yapılmış olan çalışmaların kaynaklara göre üretilmiş elektrik enerjisinin ekonomik kalkınma üzerindeki etki payını simgeleyen verilere ulaşıldı. Ancak Türkiye için bu veriler bulunmamaktadır ve bu yüzden analiz araştırması yapma kararı alınmıştır. Gerekli katsayılara ulaşma amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Literatürde, ülkelere göre yapılan çalışmaları örnek alarak, karşılaştırma amaçlı Excel, SPSS, Ewievs, Kriging ve GPR uygulamaları üzerinde çözülmüştür. Testlerde kullanılan yıllık, kaynaklara göre enerji üretimi verileri Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nden ve Uluslararası Enerji Ajanslığından (UEA) alınmıştır. Elde edilen sonuçlar her yöntemde farklı farklı alınmıştır.

4.1. Metodoloji ve Model

Elektrik enerjisi üretiminin, ekonomik kalkınma üzerindeki etkisini araştırmak için ekonometri modeli kurulmuştur. Modelin amacı, Türkiye verilerle regresyon analizi yapılmaktadır. Regresyon analizi bu bir X ya-da birkaç bağımsız X_1, X_2, X_3, X… değişkenlerin, bir Y bağımlı değişkeni üzerindeki etkisini hesaplamak için kullanılan istatistik metot. Metodun formülasyonu (4.1) formülde gösterilmiştir.

$$Y=\alpha+\beta_1 X_1+ \beta_1 X_1+\ldots+ \beta_i X_i+\varepsilon \quad (4.1)$$

Y	-	Bağımlı değişken
α	-	Sabit, X=0 olduğunda Y alacağı değer
β_1, β_2, β_i	-	Regresyon katsayısı
X_1, X_2, X_i	-	Bağımsız değişken
ε	-	Hata terimi

Analizde kullanılan değişkenler zaman içerisinde değişmesi ve sıralanmasına, o birimin zaman serisi denmektedir. Son senelerde yapılmış olan çalışmalarda, regresyon analizlerinde kullanılan değişkenlerin güvenilirliği ve geçerliliği konusunda istatistikçiler tarafından şüpheler oluşmaktadır. Regresyon modelinin sonuçları güvenilir olması için, kullanılan zaman serilerinin durağanlık seviyesi tespit edilmesi, başka bir ifadeyle, değişkenler aynı seviyede durağan olması gerekmektedir. Zaman serilerinin ortalamasında, varyansında (değişkenlerin ortalamadan uzaklıklarının karelerinin ortalaması) sistematik değişim yoksa ve düzenli periyodik değişmeler çıkarmıyorsa, bu zaman serileri durağandır. Başka bir ifadeyle zaman serilerinin belirli bir zaman aralığında belirli bir değere sahip olmasına ve-ya yaklaşmasına durağanlık denir. Eğer, zaman serileri durağanlık şartların herhangi birini karşılamıyorsa, bu durumda değişkenler durağan dışı durumdadır. Bu tür zaman serilerini durağan hale dönüştürülmesi (durağanlaşması) için değişkenleri trend veya mevsim etkisinden (serinin durağanlığını bozan değerlerden) arındırılması gerekmektedir. Ancak bu durum serideki veri kaybına yol açmaktadır. Zaman serileri 1. farkı, 2. farkı ya-da 3. farkı alınmasıyla durağanlaşmaktadır. Analizin durağanlık seviye tespiti, Birim Kök Testlerinin yardımıyla gerçekleştirilmekte. Birim kök testleri bu - bazı durağan olmayan zaman serilerinin karakteristik özellikleri bulmak için kullanılan ekonometrik yöntem.

Durağanlık testi sonucu ile değişkenlerin seviyeleri tespit edilerek regresyon analizi yapılmaktadır. Regresyon analizi bu iki ya-da daha fazla zaman serileri arasındaki sebep-sonuç ilişkilerini tespit etmek için kullanılan istatistik analiz tekniğidir. [43] Regresyon analizi kullandığı değişkenlerin biçimine göre doğrusal ve doğrusal olmayan olarak ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal regresyon analizi, bir bağımlı ve bir bağımsız değişken olması durumunda basit doğrusal regresyon çözümlemesi ya-da bir bağımlı ve birden fazla bağımsız değişken olması durumunda çoklu doğrusal regresyon çözümlemesi olarak ikiye ayrılmaktadır. [44] Regresyon analizinde öngörü için daha çok zaman serisi

modelleri kullanılmaktadır. Zaman serileri, geleceği tahmin etmekte kullanılan araç veya tahminden ziyade bunun bir sebep sonuç bağlantısı olmaktan çok serinin ileriye doğru güvenilir bir uzantılarını bulmasıdır. [45] Regresyon çözümlemesi En Küçük Kareler (EKK) metodu ile gerçekleştirilmektedir. EKK regresyon yöntemi bu, bir-birine bağlı iki farklı değişkenlerin arasındaki ilişkileri gösteren denklemin, mümkün oldukça gerçeğe uygun olarak düzenlenmesinde kullanılan yöntemdir.

Değişkenlerin seviyelerinde durağan olması durumunda zaman serileri arasında uzun dönem ilişkileri olduğunu göstermektedir. Seviyesinde durağan olmayan ancak derecelerinin farkları alındığı zaman durağanlaşmakta olan zaman serileri arasında uzun dönem ilişkilerin olup olmadığını ölçmek amacıyla eş-bütünleşme test yöntemleri geliştirilmiştir. Eş bütünleşme testleri bu herhangi bir iki zaman serisi trendlerinin arasındaki aynı ve-ya ters yönlü benzerlik, ortaklık veya uzun dönemlik ilişki olup olmadığını göstermektedir.

Regresyon analizi zaman serileri arasındaki bağımlılık ilişkilerin olup olmadığını tespit etmektedir. Ancak olabilecek bu bağımlılık ilişkisi, nedensellik ilişkisinin olabileceğini ifade etmemektedir. İstatistik olarak nedensellik bu belirli bir zaman serisi değişkenlerinin geleceğinin tahminini, kendi veya ilişkili olan zaman serisinin geçmişi ile tahmin edilmesidir. [49]

4.1.1. Birim Kök Testi.

Son yıllarda araştırılmış regresyon analizlerin büyük kısmı zaman serisine dayalı olarak yapıldığının tespitine varılmıştır. Fakat, zaman serileri ile çalışmanın bir miktar sorunları vardır. Bunların en önemlisi ve zorunlusu durağanlık sorunudur. Zaman serisi verilerine dayanan bu tür ampirik çalışmalar güvenilirliği açısından durağanlık, büyük bir önem arz etmektedir. Örneğin zaman serilerinin regresyonu hesaplanırken, her bir zaman serisi durağan değil ve güçlü genel eğilimler taşır ise, alınan yüksek R2 standart t-istatistikleri, iki değişken arasındaki gerçek ilişkiden çok değişkenlerde bulunan eğilimden kaynaklanmakta ve bu duruma “sahte regresyon” olarak adlandırılmakta. [28]

Zaman serilerinin durağanlık veya geçerlilik sınamaları Birim kök testleri ile test edilmektedir. Testin formülasyonu (4.2) formülünde gösterilmiştir,

$$Y_t=\rho Y_{t-1}+\varepsilon_t \qquad (4.2)$$

Formülde yer alan hata terimi ε_t beyaz gürültü hata terimidir. Zaman serilerinin durağan olup olmadığı, alınacak ρ katsayısı ile tespit edilmektedir. Test sonucunda bulunan $\rho=0$ ise (H_0'ncı hipotez) bu değişkenlerde birim kök var, dolaysıyla zaman serileri durağan değil denir. Eğer, değişkenler serisi için $\rho<0$ ise (H_1'nci hipotez), zaman serileri birim kök içermemekte ve değişkenler durağandır. Bu testlerin çözümlenmesi için ekonometriciler tarafından birim kök testleri geliştirilmiştir. Geliştirilen en eski ve en güvenilir testleri bu Augmented (Genişletilmiş) Dickey- Fuller (ADF) testleri olup, daha sonradan bulunan yöntemler, bu testlerin sorunlarını gidermek amacıyla geliştirilmiştir. [46]

Zaman serilerinin birim kök içerip içermediğini araştıran sistematik test ADF testleridir. ADF testi sonucunda elde edilen katsayıların karşılaştırılmasıyla sıfırıncı hipotez ret edilirse, seri durağandır ya-da birim kök içermemektedir ve bu durum 'I(0)' olarak gösterilir. Eğer katsayı karşılaştırması sonucunda sıfırıncı hipotez kabul edilirse, bu durumda zaman serisinin birim kökü vardır, dolaysıyla 1. ya-da daha üst seviyeden durağan seri olabileceğini belirtmekte ve test devam edilmektedir. Seviye farkı alınan zaman serileri sıfırıncı yasayı ret etmesi durumunda değişkenler dizisi durağan hale geçmekte ve bu I(1) olarak gösterilmekte, yani birinci dereceden bütünleşik olarak kabul edilir. Aksi durumda test I(2) veya daha yüksek seviyede durağanlaştırılmakta. Teorik olarak seviye farkı durağanlaşana kadar alınması gerekmesine rağmen, seriler en fazla 2. farktan yüksek olmadığını ve çalışmaların büyük çoğunluğu 1. farkından durağanlaştığı gözlemlenmiştir. [46]

4.1.2. Değişkenler Arasında Uzun Dönem İlişkisi. En Küçük Kareler Regresyon Yöntemi.

EKK regresyon yöntemi bu – örnek olarak verilmiş parametrelerden bilinmeyen parametreleri elde etmek için kullanılan temel regresyon yöntemidir. Bu yöntem, kullanılmakta olunan değişkenlerin sabit varyanslılık, sapan değer, normallik içermeme gibi durumlarda güvenilir tahminlerin alınmasını sağlamaktadır. [46] EKK analiz yöntemi için en uygun analiz modeli olarak Gauss-Markov teoremi kabul edilmektedir. Bu teorem ilk defa, EKK yöntemini hesaplayan Gauss'un ve bu yöntemi ekonometri analizlerde kullanmayı keşfeden Markov'un ismini taşımaktadır.

EKK yöntemi için bağımlı ve bağımsız değişkenlerin logartitması alınmaktadır. Birim kök testinde tespit edilen değişkenlerin seviyesi X_i, $d(X_i)$ veya $dd(X_i)$ olarak modele eklenmektedir. Regresyon çözümlemesi sonucunda alınan katsayılar yorumlanmaktadır. Zaman serilerinin β katsayısının geçerliliği, olasılık katsayılarına oluşturulmakta olan H_0 ve H_1 hipotezlerinin kabul veya ret edilmesiyle sınanmaktadır. Olasılık katsayılarına 0.01 0.05 veya 0.1 derecesinde hipotez oluşturulmakta. Oluşturulmakta olan hipotez derecesinden, hesaplanan olasılık derecesi yüksek olması durumunda β katsayısı geçersiz diye kabul edilmekte.

4.1.3. Eş-bütünleşme Testi. Johansen Yaklaşımı.

Eş bütünleşme testleri bu herhangi bir iki zaman serisi trendlerinin arasındaki aynı ve-ya ters yönlü benzerlik, ortaklık veya uzun dönemlik ilişki olup olmadığını göstermektedir. Test edilmekte olan herhangi bir X ve Y değişkenler arasında ilişki yoksa, bu değişkenlerin grafikleri arasında git-gide uzaklaşma olmaktadır. Bu ise iki değişken arasındaki sabit ilişkilerin olmadığını işaretler. Aksine zaman serilerinin grafikleri zaman geçtikçe bir-birinden uzaklaşmıyorsa, zaman serileri arasında uzun dönem ilişkilerin olduğunu göstermekte. [47]

Seviyelerinde durağan olmayan değişkenlerin arasında uzun dönemli ilişkilerin olması durumunda geçici sapmaların olması beklenmekte ve bu sapmaların geçici olması durumunda X ve Y değişkenleri bir-biriyle eş-bütünleşik denir, aralarındaki ilişki ise yanıltıcı olmaz. Diğer kelimeler ile, durağan olmayan zaman serileri bütünleşik ise, o seriler arasında eş-bütünleşme olabilir ve serinin gerçek değerleri arasındaki regresyon modeli sahte değildir, yani anlamlıdır. Eş-bütünleşme testleri seviyelerinde durağan olmayan değişkenlerin birim farkı alındığında veri kaybını önleyen yaklaşımdır. [45]

Eş-bütünleşme terimi ilk olarak 1981 yılında Granger tarafından teklif edilmiş olup, daha sonra Engl, Johansen, Filips ve başka araştırmacılar tarafından araştırılmıştır. Eş-bütünleşme testleri Johansen [SS1] testleri ile yapılmaktadır. Johansen testleri için ilk olarak en uygun gecikme uzunluğu bulunmaktadır. Gecikme uzunluğu 0'dan 6'ya kadar olup Olabilirlik Oran Testi, Son Tahmin Hatası, Akaike Bilgi Kriteri, Schwarz Bilgi Kriteri ve Hannan-Quinn Bilgi Kriterine göre verilen en küçük katsayıyla belirlenmekte. Daha sonra İz ve maksimum öz değerler testleri yapılarak alınan olasılık katsayılarına göre hipotez yorumlanmakta. [28]

4.1.4. Nedensellik Kavramı ve Analizi. Granger Testinin Özellikleri.

Herhangi bir Y serisinin geleceğe yönelik tahmin katsayılarının bulunmasında, ilişkili olan X zaman serisinin kullanımının, Y zaman serisini kullanılmadığı vaziyete göre daha başarılıysa, o zaman X, Y'in Granger nedenidir denmekte. Granger anlamında nedensellik hem X' den Y'ye, hem de Y' den X'e doğru olabilir. Granger testi [49] 1969 yılında hesaplama yöntemini geliştiren C. W. J. Granger İngiliz araştırmacının adıyla adlandırılmaktadır. Granger testinin yapılması için en büyük özellik bu zaman serilerinin durağan olmasıdır. [50] Test sonucu diğer testlerde olduğu gibi hipotezler üzerinde yorumlanmaktadır. Kabul edilen veya ret edilen hipoteze göre nedensellik ilişkilerin geçerliliği ve yönü belirlenmekte. Değişkenlerin nedensel ilişki yönleri bağımsız değişkenden, bağımlı değişkene veya tersine olabilmektedir. İlişkiler iki zaman serisi arasında iki yönlü olabilir. Bu durumda, serilerin her-hangi birinde yükselme veya azalma olduğu taktirde diğerinin değişimine etki göstermektedir.

4.2. Veri seti

Kaynaklara göre enerji üretiminin ekonomik kalkınmaya etki paylarını araştırmak için Türkiye bazında tüm veriler farklı literatür kaynaklarından toplanmıştır. Analiz için en uygun veri seti olarak Uluslararası Enerji Ajanslığının (UEA) enerji kaynaklarına göre 1990-2015 yıllar arası vermiş olduğu GW cinsindeki enerji miktarları alınmıştır. Veriler Ek 1-de gösterilmektedir. Analizler sonuçlarını istatistik olarak yorumlanması için, her-bir zaman serilerinin logaritması alınmıştır. Modelin daha anlamlı çıkması amacıyla, Ek-1 gösterilen ATIKLAR ve BİYOYAKIT verileri toplanmış ve Bio olarak modele eklenmiştir.

Ülkenin ekonomik kalkınmasını simgelemekte olan GSYİH'nın verileri Dünya Bankası veri tabanından alınmıştır. Sonuçların daha net ve sabit sonuçlanması için GSYİH 2010 ABD Dolar kuruna göre hazırlanmıştır. Ülkenin GSYİH'sı çok kapsamlı ve kendi içerisine ülke gelirlerini, verdiği hizmet ücretlerini almasından dolayı, modelin istatistiksel anlamda mantıklı olması için, yıllara göre alınmış atmosfere salınan CO_2 emisyonu ve ülkenin toplam sermayesinin verileri eklenmiştir. Veriler Dünya Bankası veri tabanından Ek-2'de verilmiştir. Sermaye 2010 dolar kuru bazından ve Emisyon kton cinsinde alınmıştır.

Çalışma sonuçlarını karşılaştırmak için, Türkiye'nin enerji kaynaklarına göre üretilen enerji miktarı ek olarak Türkiye Elektrik İletim A.Ş.'nden alınmıştır. Veriler 1975-2011 seneler için Ek-3 verilmektedir.

Yapılan detaylı literatür taraması sonucunda Birim kök testleri, Eş-bütünleşme ve Nedensellik testleri istatistik camiasında Eviews uygulaması güven kazanmış. Regresyon analizi karşılaştırma amacıyla Eviews, SPSS, Exel, GPR ve Kriging uygulamalarıyla test edilmiştir. Tüm testler Eviews 9.0, SPSS v20, Microsoft Excel 360, GPR- Kriging paket modellerinde gerçekleştirilmiştir.

4.3. Ampirik Sonuçlar

Yapılan analizlerin sonuçları tablolar üzerinden verilmiştir. Test sonucunda alınan tablo sayısı fazla olmasından dolayı, çalışmaya sadece önemli katsayılar kısaltılarak eklenmiştir.

4.3.1. Birim Kök Testi.

Analiz için kullanılmış olan değişkenlerin durağanlığını test etmek amacıyla Augmented Dickey Fuller (ADF) testi kullanılmıştır. Test sonucu tüm değişkenler için seviyesinde birim kök içermekte olduğunu (Bio hariç, BİO hem seviyesinde hem 1. Farkında durağandır), daha doğrusu durağan olmadığı tespitinevarılmıştır. Değişkenlerin birinci farkı alındığı zaman H0 hipotezi reddetmiş ve alternatif H1 hipotezi kabul etmiştir. Böylece değişkenler birinci farkı alındığı zaman durağan hale gelmektedir. Test sonuçları Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 4. 1. Modelde kullanılmakta olan tüm zaman serileri için ADF testlerinin Seviyesinde ve 1. Farkında alınmış sonuçları

	Seviyesinde		**1. Farkında**	
Değişkenler	**t-istatistik**	**Olasılık**	**t-istatistik**	**Olasılık**
LNGSYİH	0.6081	0.9883	-5.8994	0.0000
LNSERMAYE	-0.0223	0.9509	-7.0360	0.0000
LNGAZ	-0.1417	0.9378	-5.2994	0.0001
LNHİDRO	-0.9555	0.7599	-8.9497	0.0000
LNKÖM	1.8028	0.9996	-6.3921	0.0000
LNPET	-1.9686	0.2989	-4.9784	0.0002
LNCO2	-0.6830	0.8341	-5.6204	0.0001
LNBIO	-4.1652	0.0034	-9.0522	0.0000
LNJEO	2.8597	1.0000	-3.4435	0.0188
LNRÜZ	-0.4158	0.8919	-7.0078	0.0000

Not: Tüm değişkenler 1. Farkında %5 önem düzeyinde durağan olduğu tespit edilmektedir.
H0: Durağan değildir (Katsayı>0.05)
H1: Durağandır (Katsayı<0.05)

Tüm değişkenler seviyesinde H0 hipotezini kabul etmekte ve durağan değildir. Birinci Farkında ise H0 hipotezini reddetmekte ve değişkenler durağandır.

4.3.2. Regresyon analizi

Regresyon analizi sırasıyla Eviews, SPSS, Excel, Krigink ve GPR istatistik uygulamalar ile yapılmıştır. Analizler sonunda her yöntem için farklı sonuçlar elde edilmiştir.

4.3.2.1. Eviews Analizi

Eviews uygulamasındaki analiz regresyon modeli en küçük kareler metoduyla incelenmiştir. Analiz için veriler Ek-1'den alınmıştır. Alınan sonuçlar Tablo 4.2. verilmektedir.

Tablo 4. 2. 1990-2016 sene aralığı için verilerin logaritması için regresyon analizinin sonuçları.

DEĞİŞKENLER	KATSAYILAR	t-İSTATİSTİK	OLASILIK
D(LNGAZ)	0.004851	0.090674	0.9290
D(LNKÖM)	0.122066	2.009681	0.0628
D(LNCO2)	-0.088323	-0.523812	0.6081
D(LNSERMAYE)	0.270300	5.774829	0.0000
D(LNBIO)	-0.000207	-0.048460	0.9620
D(LNJEO)	0.026902	1.258046	0.2276
D(LNHİDRO)	0.018348	0.524930	0.6073
D(LNPET)	0.019359	1.243934	0.2326
D(LNRÜZ)	-0.008633	-1.100884	0.2883
HATA(-1)	-0.666856	-2.282664	0.0375
C	0.023422	2.394422	0.0302
R-squared	0.925951		
Adjusted R-squared	0.876585		
Prob(F-statistic)	0.000001		
Durbin-Watson stat	1.423844		

Sonuçlar CO_2 emisyonunun, Bioyakıtların ve Rüzgar enerjisinin ekonomik kalkınmayı ters etkide bulunduğunu göstermektedir. Bu demek ki %1 CO_2 emisyon miktarının artması GSYİH'sını %0.088323 azaltmaktadır. Oluşmakta olan hava kirliliğinden dolayı atmosfere atılan CO_2 miktarına göre ceza ödemektedir. Dolaysıyla atmosfere atılmakta olan karbon dioksidinin artması ekonomiyi ters etkilemektedir. Diğer tüm değişkenler pozitif etkide bulunduğunu ve en çok Sermayenin GSYİH'sına etkide bulunduğu görülmektedir. Sermaye %1 artığı zaman GSYİH %0.27 artmaktadır. Demek ki ekonominin gelişmesinde en büyük rolü sermayeye verilmiştir. Doğrudanda GSYİH'sının en büyük miktarını sermaye oluşturmaktadır. Elde edilen Bio ve Rüzgar enerjileri için katsayılar ters ve oldukça düşüktür. Bu demek ki Bio enerjileri ile Rüzgar enerjilerinden üretilmekte olan enerji ekonomiye nerdeyse etki etmemektedir. Bu durum kullanmış olduğumuz zaman serilerindeki verilerin oldukça az olmasıyla açıklanabilir. Hata payımız 0 ile -1 arasında olduğu için model Hata düzelme modelimiz çalışmaktadır.

R-squared ve dolaysıyla çoklu doğrusal regresyonlarda daha önem taşıyan Adjusted R-squared 1 daha yakın olduğu için oldukça iyi sonuç vermektedir. F katsayımız 0.05 küçük olması sonuçların iyi olduğunu göstermektedir.

Regresyon modeli için alınan sonuçların kontrol edilmesi için zaman serilerini herhangi bir logaritmasını almadan birinci farkında analiz edilmiştir. Alınan sonuçlar %1 enerji kaynağının artmasıyla GSYİH'daki parasal değerin değişimini göstermektedir.

Tablo 4. 3. 1990-2016 sene aralığı için verilerin parasal değerleri için regresyon analizinin sonuçları. (Eviews uygulamasında)

DEĞİŞKENLER	KATSAYILAR	t-İSTATİSTİK	OLASILIK
D(GAZ)	236,197.3	0.140299	0.8903
D(KÖM)	292,168.0	0.231480	0.8201
D(CO2)	340,466.7	0.537803	0.5986
D(SERMAYE)	0.974511	5.105267	0.0001
D(BIO)	38,410,463	0.911677	0.3764
D(JEO)	-404,5636	-0.178437	0.8608
D(HİDRO)	259,710.5	0.167728	0.8690
D(PET)	959,415.8	0.389528	0.7024
D(RÜZ)	6,858,226	0.770772	0.4528
HATA(-1)	-1.31E+11	-0.589646	0.5642
C	1.02E+10	1.268359	0.2240
R-squared	0.893368		
Adjusted R-squared	0.822279		
Prob (F-statistic)	0.000014		
Durbin-Watson stat	1.426464		

4.3.2.2. SPSS analizi

Regresyon analizi Ek-1 yer alan veriler üzerinden IBM SPSS istatistik analiz uygulamasında çoklu regresyon modeli kullanılmaktadır. Alınan sonuçlar Tablo 4.4.' te. gösterilmekte.

Tablo 4. 4. 1990-2016 sene aralığı için verilerin parasal değerleri için regresyon analizinin sonuçları. (IBM SPSS uygulamasında)

DEĞİŞKENLER	KATSAYILAR	t-İSTATİSTİK	OLASILIK
(Constant)	58,211,034,006.859	1.587	.131
HİDROLİK	835,485.880	3.064	.007
DOĞAL GAZ	530,628.452	1,581	.132
KÖMÜR	122,243.255	2.146	.047
PETROL	-311,817.299	.594	.560
BİOENERJİ	20,576,398.087	-.517	.612
RÜZGAR	9,410,324.746	2.308	.034
JEOTERMAL	-70,486,599.936	-5.142	.000
GÜNEŞ	75,312,967.454	4.733	.000
CO2	-665,227.716	-1.675	.112
SERMAYE	.088	.729	.476
R-squared	.898		
Adjusted R-squared	.845		
Prob (F-statistic)	.000		
Durbin-Watson stat	2.043		

Alınan sonuçlar bioenerji jeotermal ve CO_2 emisyonunun GSYİH'sına ters yönde etki etmekte. En yüksek değere Rüzgar enerjisi elektrik üretiminded alınmaktadır. Yani Rüzgar enerjisinin elektrik üretimi %1 artarsa, GSYİH'sında 9,658,046.047 ABD doları artışa getirmektedir.

4.3.4. Eş-Bütünleşme

ADF testleri sonucunda zaman serisinin seviyesi tespit edildikten sonra eş-bütünleşme testleri yapılmaktadır. İlk adımda değişkenler için en uygun gecikme uzunluğu aranmakta. Bunun için belirli testlerin yapılması gerekmektedir. Bu testler: Son Tahmin Hatası (FPE), Olabilirlik Oran Testi (LR), Schwarz Bilgi Kriteri (SC), Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Hannan-Quinn Bilgi Kriteri (HQ).

Tablo 4. 5. Gecikme uzunluğu aramada kullanılmış testler ve sonuçları

Gecikme	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	1.00e+30	74.75575	74.85523	74.77734
1	**81.56945***	**1.59e+28***	**70.60507***	**70.90351***	**70.66984***
2	1.873064	2.09e+28	70.86896	71.36635	70.97690
3	6.409519	2.01e+28	70.79209	71.48844	70.94321
4	2.878198	2.47e+28	70.93319	71.82849	71.12749
5	4.372905	2.61e+28	70.87685	71.97111	71.11433
6	4.861823	2.51e+28	70.65008	71.94329	70.93074

Alınan sonuçlarda, testlerde alınan en küçük değerler (LR hariç) kabul edilmektedir. Bu test için tüm gecikme seviye testleri birinci gecikmeye vurgulamaktadır. Çalışmamız için tüm değişkenlerde Akaike Bilgi Kriteri'ne göre kabul edilerek sonuçlar alınmıştır.

Gecikme seviyesi hesaplanmış zaman serisi için Johansen eş-bütünleşme testi yapılmaktadır. Alınan sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir

Tablo 4. 6. Johansen eş-bütünleşme testi

	İz Testi Sonuçları	
	Kök yok	**En az bir kök var**
İstatistik	16.19447	2.836900
0.05 kritik değer	15.49471	3.841466
Olasılık	0.0392	0.0921

Alınan sonuçlar Olasılık değerine oluşturulan hipoteze göre yorumlanmakta. Sıfırıncı Hipotezine göre olasılık değeri 0.05 değerinden büyük ise, hipotez kabul edilmektedir. Aldığımız olasılık değeri 0,03<0.05 olmasından dolayı Johansen testine göre hipotez ret edilmekte ve kök vardır. Demek iki değişken arasında aynı veya ters yönlü benzerlikler vardır.

4.3.5. Nedensellik Test Sonuçları

Tüm değişkenler için Granger nedensellik testleri yapılmıştır. Alınan test sonuçları Tablo Tablo 4.7'de verilmiştir:

Tablo 4. 7. Granger nedensellik testleri

Sıfırıncı hipotez	**F-istatistic**	**Olasılık**
KÖMÜR Granger nedeni değildir GSYİH	0.52649	0.4754
GSYİH Granger nedeni değildir KÖMÜR	30.1808	1.E-05
SERMAYE Granger nedeni değildir GSYİH	3.64334	0.0688
GSYİH Granger nedeni değildir SERMAYE	7.31423	0.0126
BIO Granger nedeni değildir GSYİH	0.00025	0.9875
GSYİH Granger nedeni değildir BIO	3.08537	0.0923
HİDROLİK Granger nedeni değildir GSYİH	1.18523	0.2876
GSYİH Granger nedeni değildir HİDROLİK	8.14441	0.0090

Alınan sonuçlar 0.1 derecesinde kabul edilerek şöyle yorumlanabilir: KÖMÜR Granger nedeni değildir GSYİH H0 hipotezi için alınmış ve hipotez kabul edilmiştir, çünkü olasılık değeri 0.4754 > 0.1 derecesinden. Demek Kömür GSYİH'sını doğrudan etki etmemektedir. Aksine GSYİH Granger nedeni değildir KÖMÜR H0 hipotezi içi olasılık değeri 1.E-05 < 0.1 ve dolaysıyla hipotezi reddetmekte. Dolaysıyla GSYİH'sından Kömüre doğru nedensel ilişkiler vardır.

5. BÖLÜM

TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ YATIRIM VE ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Bu bölümde Türkiye'nin gelecekteki elektrik enerjisi yatırım ve üretimlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Bu optimizasyon problemi için aşağıdaki model geliştirilmiştir. Modelin terimleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu modelin çözümü GAMS programında CPLEX çözücü kullanılarak yapılmıştır.

$$\min \text{Cost} = \sum_{y} \left\{ (1+r)^{-y} \times (C_1 + C_2 + C_3) \right\} \tag{5.1}$$

$$C_1 = \sum_{t} \sum_{i} x_{yti} \tilde{c}_{yi} \tag{5.2}$$

$$C_2 = \sum_{t} s_{yi} \tilde{a}_{yi} \tag{5.3}$$

$$C_3 = \sum_{i} \left(\sum_{u=1}^{y} \left(s_{ui} + \gamma_{yi} \right) \right) \tilde{h}_{yi} + \sum_{i} \theta_i \tilde{g}_{yi} \tag{5.4}$$

$$\min \text{Emission} = \sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{yti} \tilde{\eta}_{ik} \tag{5.5}$$

$$\max \text{GDP} = \sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{yti} gp_i \tag{5.6}$$

$$\max \text{EMP} = \sum_{y \in Y} \sum_{i \in I} s_{yi} epc_i ct_i + \sum_{i} \left(\sum_{u=1}^{y} \left(s_{ui} + \gamma_{yi} \right) \right) epo_i + \sum_{t} \sum_{i} x_{yti} epf_i \tag{5.7}$$

Yukarıdaki modelde, birinci denklem (5.1) toplam maliyetin bugünkü değerini minimize eder. Veri setimizde bugünkü değer olarak 2010 yılı dolar kuru baz alınmıştır. Toplam maliyet, üretim (yakıt) maliyeti (5.2), yatırım maliyeti (5.3), ve sabit bakım-onarım maliyetlerinden (5.4) oluşur. İkinci amaç fonksiyonu (5.5) CO_2 emisyonlarını (salınımını) minimize eder. Üçüncü amaç fonksiyonu (5.6) GSYİH maksimizasyonu içindir. Dördüncü amaç fonksiyonu (5.7) istihdamın maksimizasyonunu sağlar. Bu çalışmada esas amaç, yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin GSYİH'ya ve istihdama etkisini incelemektir fakat; karşılaştırma yapabilmek için maliyet ve çevre açısından önemi dolayısıyla da emisyon fonksiyonları kullanılarak optimizasyon sonuçları ayrıca sunulacaktır. Model, çok amaçlı olarak oluşturulmuştur ve istendiğinde çok amaçlı programlama ile de çözülebilir fakat; karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi adına, bu çalışmada her bir amaç fonksiyonu için tek tek çözüm yapılmıştır.

Aşağıdaki denklemler modelin kısıtlarını göstermektedir. Arz-talep kısıtı (5.8), modelin her teknolojiden toplam üretimle toplam yıllık talebi karşılamasını garanti eder. Kapasite kısıtı (5.9), var olan ve inşa edilen toplam kapasiteden daha fazla üretim yapılamayacağının kısıtıdır. İhtiyat payı (5.10), pik talebin ihtiyat oranı (%10 fazla) ile karşılanabilmesi için bir güvenlik kısıtıdır. Son kısıtlar da şöyledir: yıllık yatırım kısıtı (5.11), toplam yatırım kısıtı (5.12) ve negatif olmamama kısıtı (5.13). Yenilenebilir enerji kısıtları (5.14) ve (5.15) bu çalışmada henüz kullanılmamıştır çünkü Türkiye'nin henüz resmi yenilenebilir kısıtları bulunmamaktadır.

$$\sum_{i \in I} x_{yti} = \tilde{d}_{yt} \tag{5.8}$$

$$x_{yti} \leq \left(\theta_i + \sum_{u=1}^{y} s_{ui} \right) \times \pi_t \tilde{p}_{ti} \tag{5.9}$$

$$\sum_{i \in \tilde{I}} \theta_i + \sum_{u=1}^{y} \sum_{i \in I} s_{ui} \geq \tilde{d}_y^{\,p} \tilde{m} \tag{5.10}$$

$$s_{yi} \leq \delta_{yi} \tag{5.11}$$

$$\sum_{y} s_{yi} \leq \delta_i^T \tag{5.12}$$

$$x_{yti}, s_{yi} \geq 0 \tag{5.13}$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} x_{ytn} \geq \beta_y^{\min} \sum_{t \in T} \tilde{d}_{yt} \tag{5.14}$$

$$\sum_{t \in T} x_{yti} \geq \beta_{yi} \sum_{t \in T} \tilde{d}_{yt} \tag{5.15}$$

Tablo 5. 1. Optimizasyon modeli terimleri

İndisler ve Kümeleri	
i, I	Üretim teknolojileri (güneş, kömür, nükleer, vd.)
y, Y	Yıllar
u	Yıllar (*u* ve *y* modellemede birbiri yerine kullanılır)
t, T	Yıl içindeki zaman dilimleri (bu çalışmada *t* = 1)
k, K	Salınan gazlar (bu çalışmada sadece CO_2)
n, N	Yenilenebilir teknolojiler (Üretim teknolojileri kümesinin alt kümesi *I*)
Karar Değişkenleri	
x_{yti}	*i* teknolojisinden *t* zaman diliminde *y* yılında yapılan üretim (MWh)
s_{yi}	*i* teknolojisinden *y* yılında yapılan yatırım (MW)
Belirsizliği Olan Parametreler	
$\tilde{c}_y$	*i* teknolojisinin *y* yılındaki üretim (yakıt) maliyeti ($/MWh)
$\tilde{h}_{yi}$	*i* teknolojisinin *y* yılındaki bakım-onarım maliyeti ($/MW)
$\tilde{a}_{yi}$	*i* teknolojisinin *y* yılındaki yatırım maliyeti ($/MW)
$\tilde{g}_{yi}$	Başlnagıçta var olan *i* teknolojisinin *y* yılındaki bakım-onarım maliyeti ($/MW)
$\tilde{\eta}_{ik}$	*i* teknolojisinin *k* gazından yaptığı salınım (lbs/MWh)

Kesin Parametreler	
r	Faiz oranı
gp_i	i teknolojisinin GSYİH'ya katkısı ($/MWh)
epc_i	i teknolojisinin inşa süresinde yıllık istihdama katkısı (kişi/MW)
epo_i	i teknolojisinin üretim ve bakım-onarım süresinde yıllık istihdama katkısı (kişi/MW)
epf_i	i teknolojisinin yakıt üretimi için gerekli istihdam katkısı (kişi/MWh)
ct_i	i teknolojisinin inşa süresi
γ_{yi}	i teknolojisinin y yılındaki planlanan yatırımı (MW)
θ_i	i teknolojisinin başlangıçta var olan kapasitesi (MW)
π_t	t zaman diliminde saat sayısı (bu çalışmada bir yılda 8760 saat)
$\beta_y^{\min}$	y yılındaki en az yenilenebilir kısıt oranı
β_{yn}	y yılında n kaynağından en az yenilenebilir kısıt oranı
δ_{yi}	i teknolojisinin y yılındaki yatırım kısıtı (MW)
δ_i^T	i teknolojisinin toplam yatırım kısıtı (MW)
$\tilde{p}_{ti}$	i teknolojisinin t zaman dilimindeki kapasite faktörü
$\tilde{d}_{yt}$	y yılında t zaman diliminde talep (MWh)
$\tilde{d}_y^p$	y yılında pik talep (MW)
$\tilde{m}$	İhtiyat oranı (10%)

Bu modelin çözümünde kullanılan veriler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [55], TEİAŞ [56], ve diğer çeşitli kaynaklardan [57], [58], [59], [60], [61], [62], [63] toplanmıştır. Planlama yılları 2012 ve 2027 yılları arası seçilmiştir. 2012 yılı toplam ve pik talebi 242,400 GWh ve 38,200 MW'tır. Yıllık ve pik talep artış oranı sırasıyla (sabit) %2 ve %7'dir. Planlanan nükleer yatırımları 2020 için 4800 MW, 2023 için 4400 MW kabul edilmiştir. Planlanan güneş yatırımları 2014 ve 2015 için 300'er MW ve 2016-2023 arası için 200'er MW kabul edilmiştir. Diğer veriler Tabblo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir. Modelde üzerinde uzatma işareti (~) olan parametreler normalde belirsizlik

bulundurur fakat, bu çalışmada belirsizlikler göz ardı edilmiştir. Tablo ve grafiklerde modelde kullanıldığı şekilde gözükeceği için model çözümünde kullanılan üretim teknolojilerinin Türkçe karşılığı Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5. 2. Üretim teknolojileri Türkçe karşılığı

Üretim teknolojileri	**Türkçe karşılığı**
Natural gas	Doğal gaz
Lignite	Linyit
Hard-coal	Kömür (Yerli)
Import-coal	İthal kömür
Fuel-oil	Petrol
Nuclear	Nükleer
Hydro	Hidroelektrik
Wind	Rüzgar
Geothermal	Jeotermal
Biomass	Biyokütle
Solar	Güneş

Tablo 5. 3. Belirsizliği olan parametrelerin verileri

i	μ_2	σ_2	$\mu_{1,[1:11]}$	$\sigma_{1,[1:11]}$	$\mu_{1,[12:22]}$	$\sigma_{1,[12:22]}$	$\mu_{1,[23:33]}$	$\sigma_{1,[23:33]}$
Üniteler	Beklenen emisyon $\tilde{\eta}$ (lbs/MWh)	Emisyon standart sapması	Üretim maliyeti beklenen değeri $\tilde{c}_{2012}$ (2012 $/MWh)	Üretim maliyeti standart sapması	Bakım-onarım maliyeti beklenen değeri $\tilde{h}_{2012}$ (2012 $/MW)	Bakım-onarım maliyeti standart sapması	Yatırım maliyeti beklenen değeri $\tilde{a}_{2012}$ (2012 $/MW)	Yatırım maliyeti standart sapması
Natural gas	1,135.00	475.64	47.5	3.95	273,500	1.60	500,000	57.50
Lignite	2,127.33	247.42	30.3	14.6	335,400	9.03	1,146,000	581.95
Hard-coal	2,249.00	247.42	28.6	14.6	403,800	9.03	1,084,000	581.95
Import-coal	2,196.32	247.42	29.2	14.6	321,900	9.03	1,110,000	581.95
Fuel-oil	1,325.00	145.77	58.8	4.9	357,800	0.74	1,280,000	39.50
Nuclear	0	0	12.1	1.01	657,000	33.48	2,000,000	1334.33
Hydro	0	0	0.0	0	4,400	0	1,350,000	0
Wind	0	0	0.0	0	61,770	12.05	1,912,000	584.02
Geothermal	0	0	0.0	0	145,680	4.68	3,000,000	231.28
Biomass	0	0	41.5	3.91	116,880	9.48	2,599,000	368.06
Solar	0	0	0.0	0	15,050	11.48	3,500,000	1239.92

* belirsizlikler için normal dağılım kabul edilmiştir.

Tablo 5. 4. Kesin parametreler için veriler

I, I	$\tilde{p}_{ti}$	δ_i^T	δ_{yi}		θ_i
Üniteler	Kapasite Faktörü	Toplam Yatırım Kısıtı (MW)	Yıllık Yatırım Kısıtı (adet)	Bir santralin kapasitesi (MW)	Başlangıç Kapasitesi (MW)
Natural gas	0.85	1,000,000	90	700	20,268
Lignite	0.85	1,000,000	179	350	1,703
Hard-coal	0.85	1,000,000	209	300	6,812
Import-coal	0.85	1,000,000	125	500	4,048
Fuel-oil	0.77	1,000,000	417	150	5,759
Nuclear	0.85	20,000	2	1000	0
Hydro	0.50	50,000	7	500	22,289
Wind	0.30	100,000	139	45	2,760
Geothermal	0.75	10,000	13	50	405
Biomass	0.85	10,000	21	30	0
Solar	0.11	100,000	1250	5	0

5.1 Elektrik Üretiminin GSYİH Etkisi

Yukarıdaki modelde, bu çalışma açısından en önemli parametre, *i* teknolojisinin GSYİH'ya katkısıdır (gp_i , $/MWh). Bu parametrenin belirlenebilmesi ile ilgili istatistiki çalışmalar bir önceki bölümde incelenmiştir. Bu bölümde, farklı teknikler kullanılarak elde edilen gp_i parametresi değerleri özetlenecek; bu farklı teknikler ile farklı amaç fonksiyonları kullanılarak oluşturulan çözüm setleri anlatılacaktır. Özetle, 6 farklı veri seti, 4 farklı amaç fonksiyonu ile çözdürülmüş ve toplamda 24 çözüm seti elde edilmiştir. Tüm çözüm setleri 0'te özetlenmiştir.

Özetle, Tablo 5.6'da GSYİH parametresi olarak gösterilen *i* teknolojisinin GSYİH'ya katkısı (gp_i) için 6 farklı teknikten yararlanılmıştır: literatür taraması, Excel regresyonu, Kriging, Gaussian Proses Regresyonu (GPR), SPSS ve Eviews. Kriging ve Gaussian

Proses Regresyonu (GPR) için, özel bir Excel eklentisi olan XonGrid programı kullanılmıştır. SPSS olarak kısaltılan ve SPSS programı kullanılan tekniğin ve Eviews olarak kısaltılan ve Eviews programı kullanılan tekniğin geniş incelemeler de bir önceki bölümde anlatılmıştı. Optimizasyon modeli, GAMS programı aracılığıyla ve tüm veri setleri tüm amaç fonksiyonları ile ayrı ayrı kullanılarak çözülebilir. Tablo 5.5'te, 24 farklı çözüm seti oluşturulduğu görülmektedir. Fakat, 24 farklı çözümün çeşitli sonuçlarının incelenmesi, pek elverişli ve faydalı olmayacaktır. Bu sebeple, bu çalışmada yalnızca karşılaştırma açısından önemli görülen çözüm seti sonuçları değerlendirilecektir.

Tablo 5. 5. Optimizasyon çözüm setleri

Çözüm Seti	**GSYİH Parametresi (gp_i) Tekniği**	**Amaç Fonksiyonu**
1	Literatür taraması	Maliyet Minimizasyonu
2		Emisyon Minimizasyonu
3		GSYİH Maksimizasyonu
4		İstihdam Maksimizasyonu
5	Excel Regresyon	Maliyet Minimizasyonu
6		Emisyon Minimizasyonu
7		GSYİH Maksimizasyonu
8		İstihdam Maksimizasyonu
9	Kriging	Maliyet Minimizasyonu
10		Emisyon Minimizasyonu
11		GSYİH Maksimizasyonu
12		İstihdam Maksimizasyonu
13	GPR	Maliyet Minimizasyonu
14		Emisyon Minimizasyonu
15		GSYİH Maksimizasyonu
16		İstihdam Maksimizasyonu
17	SPSS	Maliyet Minimizasyonu
18		Emisyon Minimizasyonu
19		GSYİH Maksimizasyonu
20		İstihdam Maksimizasyonu
21	Eviews	Maliyet Minimizasyonu
22		Emisyon Minimizasyonu
23		GSYİH Maksimizasyonu
24		İstihdam Maksimizasyonu

Çözüm seti 1-4 için literatür taramasından faydalanılmıştır. Literatürde farklı ülkeler için yapılan istatistik çalışmalarından Türkiye için uygun olanları kullanılarak GSYİH parametresi her bir teknoloji için belirlenmiştir (gp_i).

Çözüm seti 5-8 için Excel regresyonundan faydalanılmıştır. Regresyon için gerekli verilerin toplanması bir önceki bölümde anlatılmıştır. Türkiye'de nükleer santral olmadığı için, güneş ve biyokütle ile ilgili ise yeterli veri bulunmadığı için regresyon sonuçlarında ilgili parametreler sıfır gözükür. Bu nedenle ilgili parametreler için uygun varsayımlar yapılmıştır Tablo 5.6.

Çözüm seti 9-12 için kriging metodu, bu metot için de özel bir Excel eklentisi olan XonGrid programı kullanılmıştır. Veriler, Excel regresyonu verileri ile aynıdır. Kriging, bir çok durumda sağlıklı sonuçlar verdiği için çok çeşitli istatistik çalışmalarında kullanılmıştır ve bu çalışmada tercih edilmesinin sebebi de budur. Yine, Türkiye'de nükleer santral olmadığı için, güneş ve biyokütle ile ilgili ise yeterli veri bulunmadığı için regresyon sonuçlarında ilgili parametreler sıfır gözükür. Bu nedenle ilgili parametreler için uygun varsayımlar yapılmıştır Tablo 5.6.

Çözüm seti 13-16 için kriging metodunun gelişmiş versiyonu olan Gaussian Proses Regresyonu (GPR) kullanılmıştır. Bu metot için de XonGrid'ten faydalanılmıştır. Nükleer, güneş ve biyokütle için varsayımlar bu metot için de geçerlidir.

Tablo 5. 6. Farklı tekniklerle elde edilen GSYİH parametreleri

	GSYİH parametresi (gp_i , \$/MWh)					
Üniteler	**Literatür**	**Excel**	**Kriging**	**GPR**	**SPSS**	**Eviews**
Naturalgas	16,002,291	73,188,938	11,509,660	25,901,822	530,628,452	236,197
Lignite	5,167,027	74,756,081	-1,923,757	-3,176,067	122,243,255	292,168 [c]
Hardcoal	11,274,644	77,938,120	3,630,556	5,981,309	122,243,255	292,168 [c]
Importcoal	-4,199,408	77,938,120	3,630,556	5,981,309	122,243,255	292,168 [c]
Fueloil	-4,606,573,705	72,764,278	-5,609,549	-1,991,270	-311,817,299	959,416
Nuclear	5,167,027	74,756,081[a]	-1,923,757 [a]	-3,176,067 [a]	122,243,255 [a]	292,168 [a]
Hydro	13,952,669	3,605,983	1,759,439	2,762,489	835,485,880	259,711
Wind	309,017,933	-3,708,893	3,481,876	-7,305,269	9,410,324,746	6,858,226
Geothermal	2,922,340,174	-3,708,893	3,481,876	-7,305,269	-70,486,599,936	-4,045,636
Biomass	1,375,423,779	3,605,983[b]	1,759,439 [b]	2,762,489 [b]	20,576,398,087	38,410,463
Solar	309,017,933	3,605,983 [b]	1,759,439 [b]	2,762,489 [b]	75,312,967,454	6,858,226[d]

[a] Veri olmaması sebebiyle Lignite (linyit) ile aynı olduğu varsayılmıştır.

[b] Veri olmaması sebebiyle Hydro (hidroelektrik) ile aynı olduğu varsayılmıştır.

[c] Model güvenilirliği açısından tüm kömür kaynakları aynı varsayılmıştır.

[d] Veri olmaması sebebiyle Wind (rüzgar) ile aynı olduğu varsayılmıştır.

Çözüm seti 17-20 ve çözüm seti 21-24 için sırasıyla SPSS ve Eviews kullanılmıştır. Bu metotlarla ilgili detaylı bilgi önceki bölümde sunulmuştur. Bu metotlarda, model güvenilirliği açısından tüm kömür kaynakları aynı varsayılmıştır. Nükleer ve güneş için yeterli veri olmaması nedeniyle uygun varsayımlar yapılmıştır. Tüm tekniklerden elde edilen GSYİH parametreleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

5.2 Elektrik Üretiminin İstihdam Etkisi

Optimizasyon modelinde dördüncü amaç fonksiyonu olarak belirtilen istihdamın maksimizasyonu, bu çalışmanın özgünlüklerinden biridir. Bu fonksiyondaki belirleyici parametreler, *i* teknolojisinin istihdama katkı parametreleridir (epc_i, epo_i ve epf_i). Bu parametre değerleri Tablo 5.7'de verilmiştir [64].

Tablo 5. 7. Teknolojilerin istihdama katkısı

Üretim teknolojileri	**İnşa Süresi (Yıl)** ct_i	**İnşa Süresinde Yıllık İstihdam (Kişi/MW)** epc_i	**Üretim-Bakım Onarım Süresinde İstihdam (Kişi/MW)** epo_i	**Yakıt Üretimi İçin Gerekli İstihdam (Kişi/MWh)** epf_i
Natural gas	2	2.70	0.10	0.00008
Lignite	5	11.20	0.10	0.00022
Hard-coal	5	11.20	0.10	0.00126
Import-coal	5	11.20	0.10	0[b]
Fuel-oil[a]	2	2.70	0.10	0[b]
Nuclear	8	15.00	0.30	0[b]
Hydro	2	7.50	0.30	0
Wind[c]	2	8.60	0.20	0
Geothermal	2	10.70	0.40	0
Biomass	2	16.90	1.50	0.00012
Solar[d]	2	12.90	0.50	0.00000

[a] Veri olmadığı için Natural gas (doğal gaz) ile aynı kabul edilmiştir.

[b] Yakıt üretimi ithal olduğu için 0 (sıfır) alınmıştır.

[c] Veriler karada kurulan rüzgar santralleri içindir. Ülkemizde kıyıda kurulan santraller henüz yoğunluk kazanmamıştır.

[d] Veriler ısı yoğuşturuculu güneş teknolojisi içindir fakat bu çalışmada tüm Solar teknoloji için aynı olduğu kabul edilmiştir.

6. BÖLÜM

ÇÖZÜMLER VE SONUÇLAR

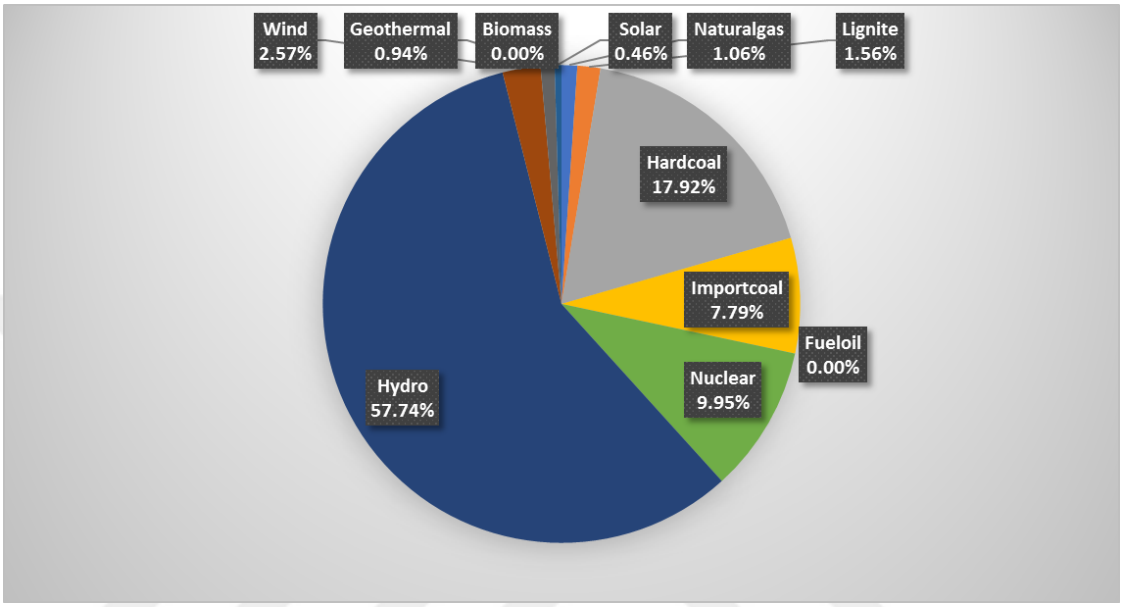
Önceki bölümde sunulan modelin çözümü GAMS programında CPLEX çözücü kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde, çözümler ve sonuçlar sunulacak ve karşılaştırmalar yapılacaktır. Optimizasyon modeli, GAMS programı aracılığıyla ve tüm veri setleri ayrı ayrı kullanılarak çözülebilir. Fakat, 24 farklı çözümün çeşitli sonuçlarının incelenmesi, pek elverişli ve faydalı olmayacaktır. Bu sebeple, bu çalışmada yalnızca karşılaştırma açısından önemli görülen çözüm seti sonuçları değerlendirilecektir.

6.1. Çözüm Seti 1-4: Literatür Parametreleri ile Çözümler

Çözüm seti 1-4 için literatür taramasından faydalanılmıştır. Literatürde farklı ülkeler için yapılan istatistik çalışmalarından Türkiye için uygun olanları kullanılarak (örneğin güneş için İspanya verileri ile) GSYİH parametresi (gp_i) her bir teknoloji için belirlenmiştir.

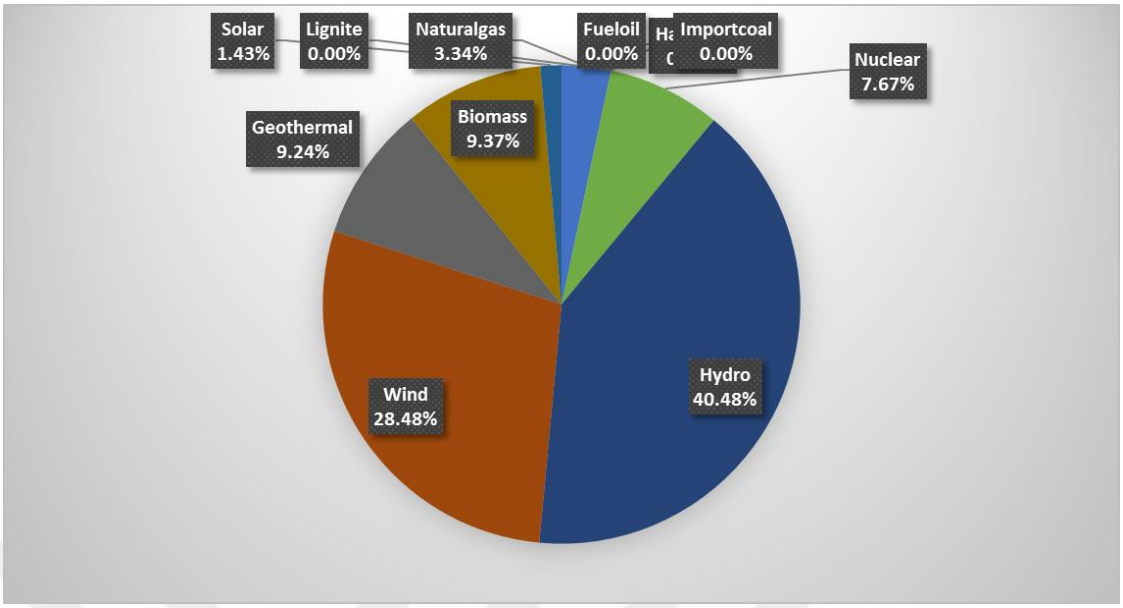
Şekil 6.1., Şekil 6.2., Şekil 6.3., ve Şekil 6.4.'te sırasıyla maliyet minimizasyonunda, salınım minimizasyonunda, GSYİH maksimizasyonunda ve istihdam maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı verilmiştir. Tüm amaçların ayrı ayrı optimizasyonunda, en büyük payı her zaman hidroelektrikten üretim almaktadır. Türkiye için en önemli elektrik üretim kaynağının ve en önemli yenilenebilir kaynağın (YEK) hidroelektrik olduğu söylenebilir. Yine her çözümde, ortalama %8'lik bir paya sahip olan nükleer de Türkiye için önemli elektrik üretim seçeneklerinden biridir. Maliyetin minimizasyonu haricinde, rüzgarın payı hep %16 üzerindedir. Rüzgar teknolojisinin ülke içinde daha ucuza mal edilmesi durumunda rüzgardan üretim, maliyetin minimizasyonunda dahi önemli bir paya sahip olabilir. Bu açıdan, rüzgar türbinlerinin yerli üretilmesinin teşviki sağlanmalıdır. Yine maliyetin minimizasyonu haricinde, jeotermal ve biyokütlenin önemli oranlara ulaştığı görülmektedir. Bu teknolojilerin de teşvik edilmesi, çevre, ekonomi ve istihdam açısından fark yaratabilir.

Maliyetin minimize edilmesi amaçlandığında Şekil 6.1., hidroelektrikten kalan kısımlar nükleer ve kömür termik santraller ile sağlanmaktadır. Diğer YEK payı çok düşük kalmaktadır.



Şekil 6. 1. Maliyet minimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

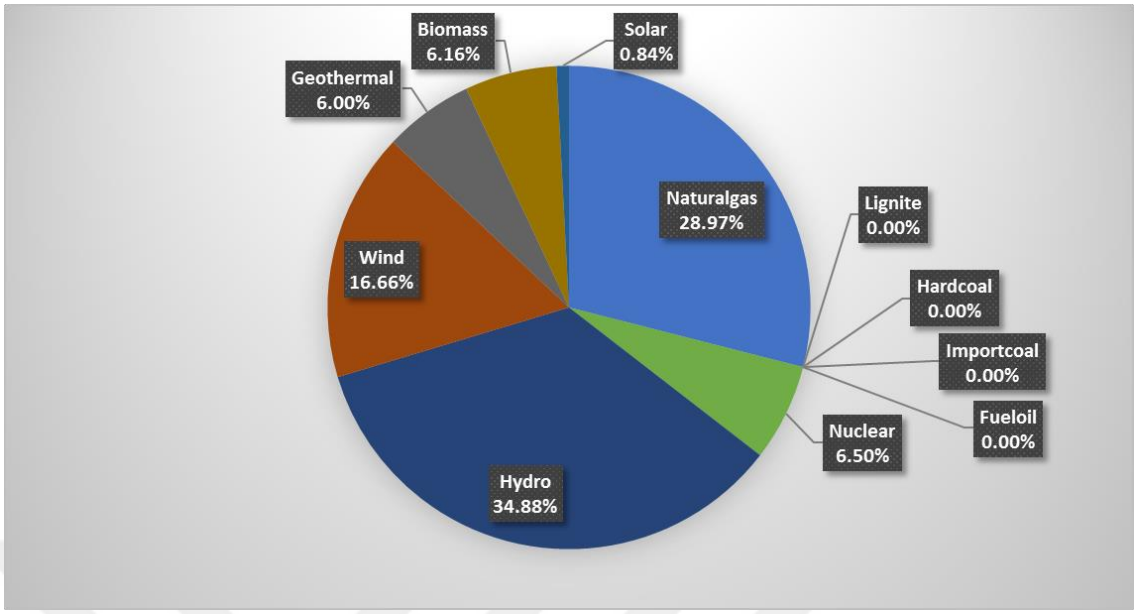
Salınım minimize edilmeye çalışıldığında ise (Şekil 6.2), başta rüzgar olmak üzere tüm YEK payı artmaktadır. Az miktarda doğal gaz da devreye girer. Nükleer ise maliyet minimizasyonu ile karşılaştırıldığında payını biraz kayber fakat önemini korur.



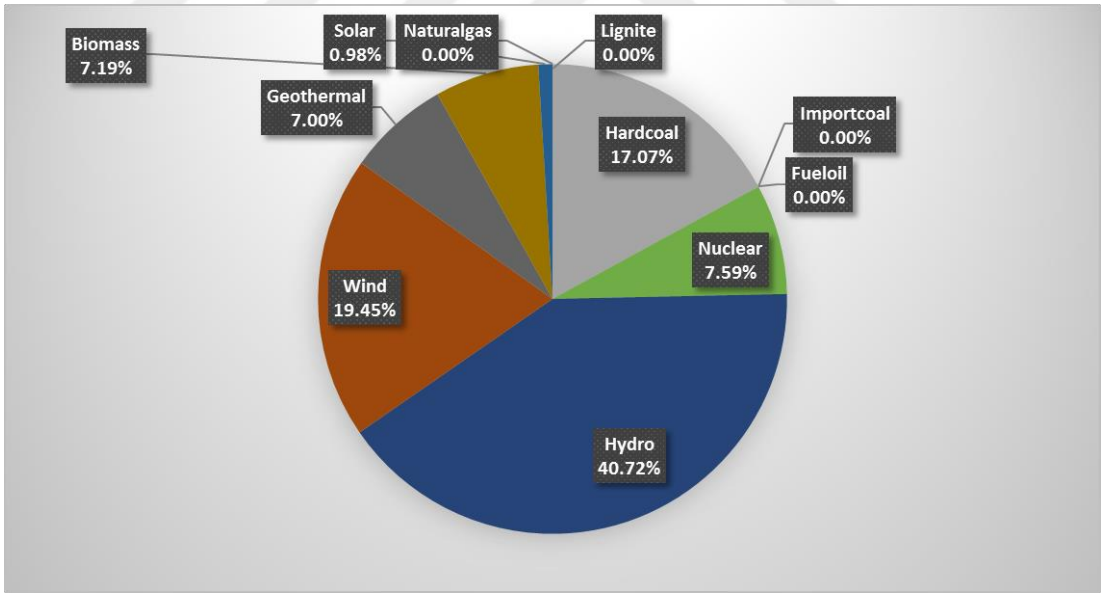
Şekil 6. 2. Salınım minimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

GSYİH maksimize edildiğinde Şekil 6.3., hidroelektrik dahil tüm YEK payı ve nükleer bir miktar azalma gösterirken, doğalgaz payı ciddi olarak artar. İlginç olan şudur ki, CO_2 salınımı yapan santraller (kömür ve petrol) hiç pay alamaz. GSYİH'yı artırmak için başta çeşitli YEK olmak üzere ve diğer temiz kaynakların, yani CO_2 salınımı yapmayan doğalgaz ve nükleerin kullanılması gereklidir denebilir.

İstihdam maksimize edildiğinde Şekil 6.4., doğalgazın yerini tamamen yerli üretim kömür almaktadır. YEK ve nükleer paylarında ise az miktarda artış gözlenmektedir. Yerli üretim kömürün istihdama katkı yapması, kömürün madenciliği sayesindedir. Ülkemizde yaşanan maden kazaları düşünüldüğünde, kömürün kullanılmasının ülkemiz için ne kadar iyi bir seçenek olduğu ise tartışılmalıdır. Bu noktadan bakıldığında, kömür yerine istihdama katkısı tüm YEK arasında en yüksek olan biyokütlenin teşvik edilmesi daha doğru bir seçenek olabilir.



Şekil 6. 3. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Literatür)



Şekil 6. 4. İstihdam maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Çözüm setlerinin maliyet ve salınım minimizasyonu ile istihdam maksimizasyonu amaç fonksiyonları kullanıldığında üretiminin kaynaklara göre dağılımı değişkenlik göstermez. Sadece GSYİH maksimizasyonu amaç fonksiyonu kullanıldığında, kullanılan parametrenin hangi teknikten geldiğine bağlı olarak üretiminin kaynaklara göre dağılımı değişebilir. Fakat, maliyet, salınım ve istihdam optimize edilirken GSYİH hesaplanırsa,

bu hesapta farklılıklar olduğu görülür. Aynı şekilde, bir amaç fonksiyonu optimize edilirken diğer amaç fonksiyonları optimize edilemez ve bu fonksiyonun değerlerinde optimumdan sapmalar olur. Bu durum Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6. 1. Optimum durumdan sapmalar (Literatür)

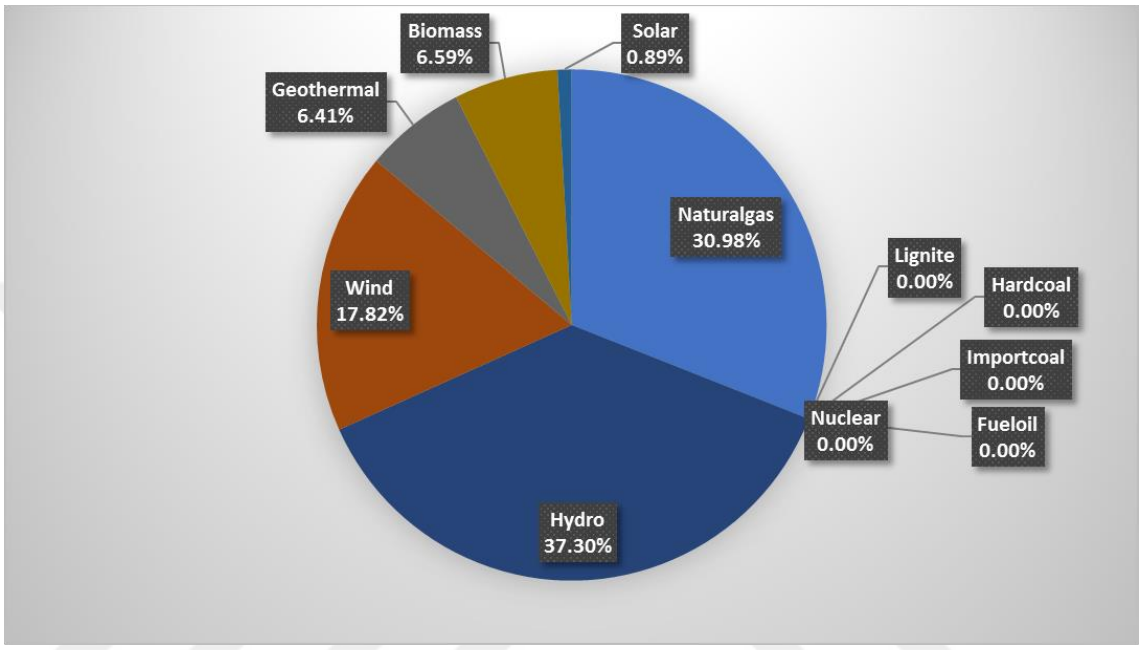
	Maliyet	Salınım	GSYİH	İstihdam
Maliyet Minimizasyonunda	1.00	12.20	0.06	0.02
Salınım Minimizasyonunda	36.38	1.00	0.90	0.95
GSYİH Maksimizasyonunda	33.63	14.84	1.00	0.96
İstihdam Maksimizasyonunda	37.84	14.84	0.99	1.00

Örneğin, maliyet minimize edilirken, olabilecek en düşük maliyet bulunur. Bu durum tabloda 1.00 oranı ile gösterilmiştir. Fakat, salınım minimize edilirken maliyet, en düşük maliyetin 36.38 katına yükselir (tabloda 2. satırdaki maliyet oranı). GSYİH maksimize edilirken ise maliyet, en düşük maliyetin 33.63 katına yükselir. Farklı bir açıdan bakarsak, maliyet minimize edilirken salınım, en düşük salınımın 12.2 katına çıkar (1. satırda salınım sütunu). Yani, maliyeti en düşük yapmanın aslında çevre üzerinde parasal olmayan bir maliyeti vardır. Aynı şekilde, maliyet minimize edilirken hem GSYİH hem de istihdam en yüksek durumlarına oranla çok düşük değer elde eder. GSYİH, en yüksek değerinin %6'sına, istihdam ise %2'sine düşer. Enerji üretim ve yatırımına en az parayı harcamak, ekonomiye ve istihdama en az katkıyı yapmak anlamına da gelir. Bütün amaçları aynı anda optimize etmek ise imkansızdır. Çok amaçlı optimizasyon kullanılırsa, optimum olmayan fakat tüm amaçlar için kabul edilebilir ara çözümler incelenebilir.

6.2 Çözüm Seti 9-12: Kriging Parametreleri ile Çözümler

Çözüm seti 9-12 için kriging tekniği kullanılarak bulunan parametrelerden faydalanılmıştır. Çözüm setlerinin maliyet ve salınım minimizasyonu ile istihdam maksimizasyonu amaç fonksiyonları kullanıldığında üretiminin kaynaklara göre dağılımı değişkenlik göstermez. Sadece GSYİH maksimizasyonu amaç fonksiyonu kullanıldığında, kullanılan parametrenin hangi teknikten geldiğine bağlı olarak üretiminin kaynaklara göre dağılımı değişebilir. Bu sebeple bundan sonraki çözümlerde sadece

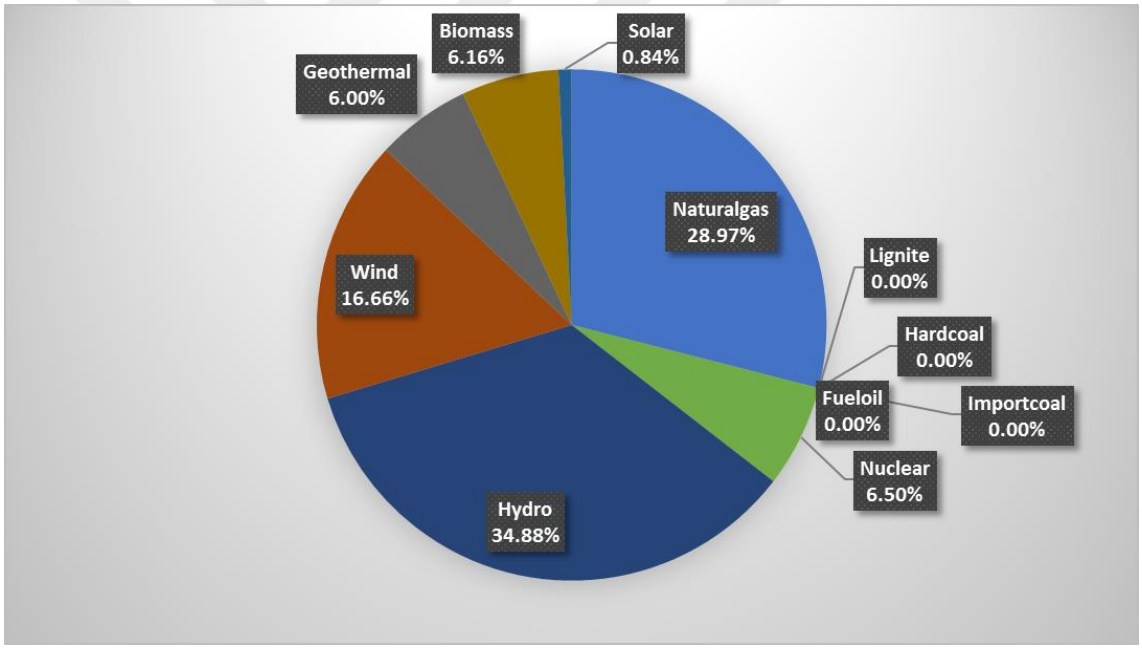
GSYİH maksimizasyonunda üretimin kaynaklara dağılımı sunulacaktır ve literatür parametreleri ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılacaktır. Şekil 6.5 GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 6. 5. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Kriging)

Literatür ile Kriging tekniklerinin sonuçları karşılaştırılırsa (Şekil 6.3 ve Şekil 6.5), nükleer dışındaki kaynaklarda çok fazla değişiklik olmadığı görülür. Hidroelektrik ve doğalgaz, en büyük payları alırken, kömürden hiç üretim yapılmaz. Kalan ihtiyaç ise rüzgar başta olmak üzere diğer YEK ile karşılanır. Literatür sonuçlarında nükleer %6.5 pay alırken Kriging sonuçlarında nükleer hiç pay almaz. Bunun sebebi, literatür parametrelerinde nükleer artı değerde iken Kriging tekniğinde eksi değerdedir (Tablo 5.6). Kullanılan veri setinde Türkiye'de nükleer olmamasından dolayı nükleer parametresi normalde sıfırdır. Bu eksikliği gidermek için nükleer ile linyitin parametrelerinin aynı olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımın yapılmasının sebebi, Türkiye açısından nükleerin de linyitin de yakıtlarının dış kaynak olması, ikisinin de büyük termik santraller olması, literatürdeki çalışmalarda ikisinin birbirine yakın sonuçlar vermesi gibi sebeplerdir. Bu varsayımın değişmesi tabi ki optimizasyon sonuçlarını da değiştirecektir.

Varsayımın değişmesi ile optimizasyonun değişimini gösterebilmek için, yine Kriging tekniğinden faydalandığımız fakat nükleer için farklı bir varsayım yaptığımız bir durumu ele alalım. Varsayalım ki, nükleerin parametresi linyit ile jeotermalin parametrelerinin ortalamasıdır. Bu varsayımın sebebi, bazı literatür sonuçlarında nükleerin bu ortalamaya yakın çıkmasıdır. Nükleer linyit gibi negatif değer almaz ama jeotermal kadar da yüksek olmayacaktır. Bu varsayımda nükleer parametresi 779,060 $7MWh olarak belirlenir. Bu varsayım ile yapılan optimizasyonun sonucu Şekil 6.6'da verilmiştir. Bu sonuç, parametre değerleri farklı olmasına rağmen literatür sonucu ile birebir aynıdır. İki farklı tekniğin aynı sonucu vermesi, kullanılan ikinci varsayımın daha isabetli olduğunu gösterebilir.



Şekil 6. 6. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Kriging 2. Varsayım)

GSYİH optimum sonucundan sapmaları göstermek için Tablo 6.2 düzenlenmiştir (sonuçlar ilk varsayıma aittir). GSYİH sütunu haricinde bu tablo ile Tablo 6.1 aynıdır. Bunun sebebi, daha önce açıklandığı gibi, sadece GSYİH parametrelerinin değişmesidir.

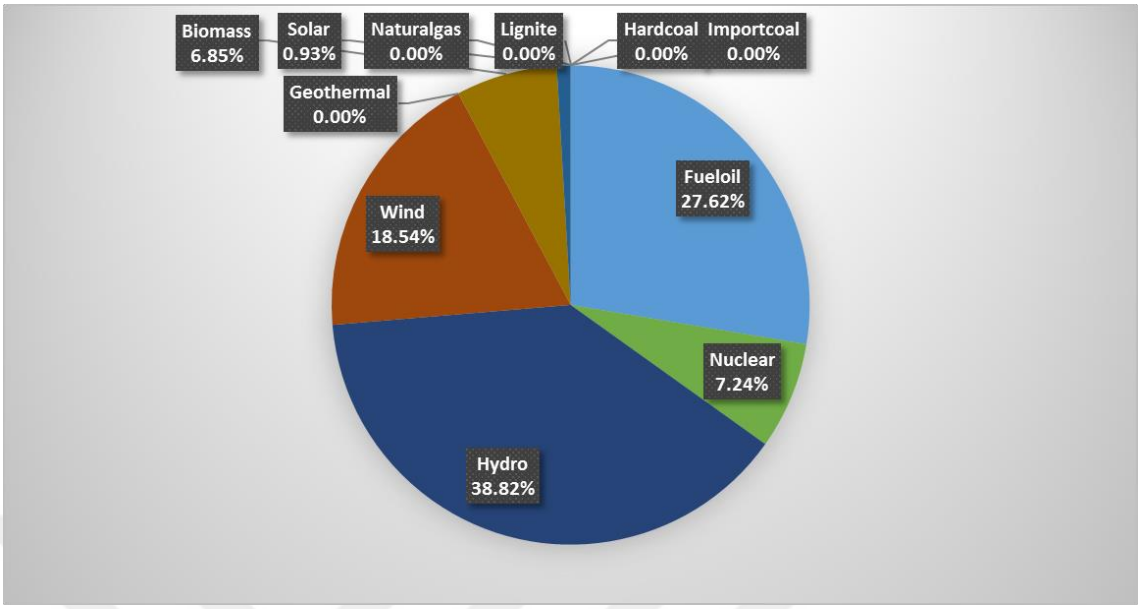
Tablo 6. 2. Optimum durumdan sapmalar (Kriging)

	Maliyet	Salınım	GSYİH	İstihdam
Maliyet Minimizasyonunda	1.00	12.20	0.18	0.02
Salınım Minimizasyonunda	36.38	1.00	0.30	0.95
GSYİH Maksimizasyonunda	34.22	14.84	1.00	0.96
İstihdam Maksimizasyonunda	37.84	14.84	0.40	1.00

6.3 Çözüm Seti 21-24: Eviews Parametreleri ile Çözümler

Çözüm seti 21-24 için Eviews programı kullanılmıştır. Bu metotlarla ilgili detaylı bilgi önceki bölümde sunulmuştur. Bu metotlarda, model güvenilirliği açısından tüm kömür kaynakları aynı varsayılmıştır. Nükleer ve güneş için yeterli veri olmaması nedeniyle nükleer ile linyitin, güneş ile de rüzgarın aynı parametrelere sahip olduğu varsayılmıştır (Tablo 5.6). İstatistik modelleme açısından en detaylı uygulama Eviews ile elde edilmiştir fakat; sonuçlar itibariyle, özellikle petrol (fuel-oil) parametresinin Türkiye için ne kadar doğru sonuç verdiği sorgulanmalıdır. Petrol, Türkiye için ithal bir kaynaktır. Petrol rafine endüstrisinin ekonomiye ve istihdama katkısı olabilir fakat; çevre etkisi açısından ve ithalata harcanan döviz bakımından değerlendirildiğinde Türkiye için çok da avantajlı bir seçenek olmadığı görülür.

Şekil 5.7'de, Eviews ile elde edilen GSYİH parametreleri kullanılarak elde edilen optimizasyon sonuçları verilmiştir. Bu grafik GSYİH'nın optimizasyonu amaçlandığında elde edilen sonuçları gösterir. Elektrik üretiminin kaynaklara göre payları literatür ve Kriging (2. varsayım) sonuçları ile benzemektedir. Yalnızca petrol kaynağı payı doğalgaz payının yerini almıştır. Bu da, yukarıda tartışıldığı üzere, Türkiye açısından sorgulanabilir bir sonuçtur. Petrol kaynağının payı haricinde bir değerlendirme yapılırsa, sonuçlar, Türkiye açısından başta hidroelektrik ve rüzgar olmak üzere YEK payının ve diğer yandan nükleer enerjinin önemini bir kez daha göstermektedir.



Şekil 6. 7. GSYİH maksimizasyonunda elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Eviews)

GSYİH optimum sonucundan sapmaları göstermek için Tablo 10 düzenlenmiştir. GSYİH sütunu haricinde bu tablo ile Tablo 6.1 ve Tablo 6.2 ile aynıdır. Bunun sebebi, daha önce açıklandığı gibi, sadece GSYİH parametrelerinin değişmesidir. Tablo 6.1 ile Tablo 6.3 ve kısmen de Tablo 6.2, ilginç bir sonucu da ortaya çıkartmaktadır. CO_2 salınımı minimize edilmeye çalışıldığında, GSYİH ve istihdam, kendi optimum değerlerinden çok da uzaklaşmamaktadır (tablolarda 2. satır katsayıları). Yani CO_2 salınımını minimize edecek çevreye duyarlı bir enerji planlaması, aynı zamanda GSYİH ve istihdamı da maksimum değerine yakınlaştırmaktadır. Her ne kadar bütün amaç fonksiyonlarını aynı anda optimize etmek mümkün olmasa da CO_2 salınımını minimize etmek, yani YEK payını artırmak, ülkenin genel menfaatine en uygunudur. Tabi ki bunun parasal bir maliyeti olmaktadır. Salınım minimize edildiğinde maliyet en düşük değerinin yaklaşık 36 katına çıkmaktadır.

Tablo 6. 3. Optimum durumdan sapmalar (Eviews)

	Maliyet	Salınım	GSYİH	İstihdam
Maliyet Minimizasyonunda	1.00	12.20	0.05	0.02
Salınım Minimizasyonunda	36.38	1.00	0.81	0.95
GSYİH Maksimizasyonunda	29.19	14.84	1.00	0.93
İstihdam Maksimizasyonunda	37.84	14.84	0.89	1.00

6.4 Değerlendirmeler Ve Tartişmalar

Bu çalışmanın asıl amacı elektrik enerjisi yatırım ve üretiminin, Türkiye'nin GSYİH ve istihdamına en iyi etkiyi yapabilecek şekilde planlanmasıdır. Bir başka deyişle, elektrik enerjisi yatırım ve üretiminin optimizasyonunda amaç, GSYİH ve istihdamın maksimize edilmesidir. Bu amaç için kurulan optimizasyon modelinde amaç fonksiyonları bu doğrultuda seçilmiş ve bu fonksiyonların parametrelerinin bulunabilmesi için literatürden ve istatistik çalışmalardan faydalanılmıştır. Türkiye'de elektrik enerjisi yatırım ve üretiminin istihdama etkisi için gerekli olan parametreler literatürden bulunabilmiştir fakat; GSYİH'ya etki için gerekli parametreler literatürde bulunmamaktadır. Bu sebeple, farklı veri setleri ve farklı regresyon teknikleri kullanılarak gerekli parametreler bulunmaya çalışılmıştır. Son kısımda, optimizasyon modeli, bulunan parametreler ile çözülerek Türkiye'de elektrik enerjisi yatırım ve üretiminin optimum olarak nasıl planlanması gerektiği ile ilgili sonuçlar sunulmuştur.

Yapılan çözümlerden çıkarılabilecek ana sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Türkiye'nin en önemli elektrik üretim kaynağı, her durumda (maliyet, CO_2 salınımı, GSYİH ve istihdam optimizasyonlarında) hidroelektrik kaynağıdır.
- Maliyet minimizasyonu haricinde çözüme en çok katkı veren ikinci YEK, rüzgardır.
- Nükleer, CO_2 salınımı açısından temiz olması ve birim üretim maliyetinin düşük olması sebebiyle her çözümde %8 civarında bir üretim payına sahiptir.
- Kömür, en çok maliyetin minimizasyonunda devreye girmektedir. Fakat, çevreye verilen maliyetler parasal olarak hesaplanmadığı için bu durum yanıltıcı olabilir.
- Kömürün devreye girdiği ikinci önemli çözüm, istihdamın en çok olması istenen durumdur. Özellikle yerli kömürün madenciliğinde yüksek istihdam gereksinimi dolayısıyla bu sonuç anlaşılabilir. Ülkemizde yaşanan maden kazaları

düşünüldüğünde, kömürün kullanılmasının ülkemiz için ne kadar iyi bir seçenek olduğu ise tartışılmalıdır. Ayrıca, kömürün çevreye vereceği zararlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu açılardan bakıldığında, kömür yerine istihdama katkısı tüm YEK arasında en yüksek olan biyokütlenin teşvik edilmesi daha doğru bir seçenek olabilir.

- Hidroelektrik ve rüzgar haricindeki YEK (biyokütle, jeotermal ve güneş kaynakları), çeşitli sebeplerle hiçbir durumda %10'u geçmemektedir.
- Güneş, YEK arasında en düşük payı almaktadır çünkü güneş için kullanılan veriler, YEK arasında en dezavantajlı olanlardır. Örneğin, YEK arasında en maliyetli teknoloji güneştir. Türkiye için yeterli güneş kaynaklı üretim verisi olmadığı için GSYİH parametresi diğer kaynaklara bakılarak hesaplanmıştır. Güneş en düşük kapasite faktörüne sahip teknolojidir. Güneş teknolojilerindeki gelişmeler modele ve verilere yansıtılırsa güneşin üretim ve yatırımdaki payının artacağı görülecektir.
- Biyokütle ve jeotermal için, optimizasyon modelinde ve verilerde bazı fiziki üretim kısıtları eklenmiştir çünkü Türkiye açısından jeotermalde kısıtlı bir kapasite vardır ve biyokütle üretimi de gıda tarımı ile rekabet halindedir. Sonuçlarda, jeotermal ve biyokütlenin belli oranları geçememesi tamamen fiziki kısıtlara dayanmaktadır. Bu kaynakların teknoloji, maliyet, çevre, ekonomi veya istihdam açısından dezavantajlı kaynaklar olduğu söylenemez. Aslında, YEK arasında en yüksek istihdam etkisi biyokütlenindir.
- Amaç fonksiyonlarından birini optimize ederken diğer amaç fonksiyonları optimize edilemez. Yani, aynı anda hem en yüksek istihdam, hem en yüksek GSYİH, hem en düşük salınım ve maliyet elde edilemez. Fakat, çözümlerden görüldüğü kadarıyla, CO_2 salınımını minimize edecek çevreye duyarlı bir enerji planlaması, aynı zamanda GSYİH ve istihdamı da maksimum değerine yakınlaştırmaktadır. CO_2 salınımını minimize etmek, yani YEK payını artırmak, ülkenin genel menfaatine en uygunudur.
- Maliyeti en düşük yapmanın aslında çevre üzerinde parasal olmayan bir maliyeti vardır. Aynı şekilde, maliyet minimize edilirken hem GSYİH hem de istihdam en yüksek durumlarına oranla çok düşük değer elde eder. Enerji üretim ve yatırımına en az parayı harcamak, ekonomiye ve istihdama en az katkıyı yapmak anlamına da gelir. Ülkemiz, ucuz planlama yapacak kadar zengin değildir.

- Farklı veri setleri ve farklı teknikler, farklı parametreler verir, bunun sonucunda da farklı optimizasyon sonuçları elde edilir. Fakat, karşılaştırmalar göstermiştir ki, bir-iki sonuç haricinde, sonuçlarda çok büyük sapmalar olmamaktadır.
- Daha net ve değişmeyen, daha güvenilir optimizasyon sonuçları için, özellikle enerji kaynaklarının GSYİH'ya etkisi alanında, daha derinlemesine çalışmalara ihtiyaç vardır.
- Optimizasyon sonuçlarının daha detaylı olması için, modelin daha detaylı hazırlanması mümkündür. Örneğin, Türkiye'de ekonomi ve istihdam açısından bölgeler arasında büyük uçurumlar vardır. Ülkemiz ekonomik planlamalarda bölgeler arasında farklı teşvik uygulamaları yapmaktadır. Bu uygulamalara benzer şekilde, optimizasyon modeli de bölgeleri içerecek şekilde düzenlenip, farklı bölgelerdeki yatırım ve üretimlere farklı ağırlıklar verilebilir.

Veri setlerinde ve optimizasyon modelinde yapılan varsayımlar, belli temellere oturtulmuştur fakat; varsayımların en az olduğu model en gerçekçi sonuçları verecektir. Varsayım yapmayı gerektiren bilgi ve veri eksikliklerinin giderilmesi için daha detaylı çalışmalar ve daha detaylı modeller gerekmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), (Web site: **https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/2ElektrikTesisatBilgisi/unite4.pdf**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[2] M. Schneider, *The World Nuclear Industry Status Report 2018,* Paris-Londra, 2018

[3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[4] International Renewble Energy Agency (IRENA), *Renewable Capacıty Statıstıcs 2019,* Abu-Dabi, 2019

[5] E. T. Karagöl, İ. Kavaz, *Dünyada Ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji,* SETA Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, Ankara, 2017

[6] International Energy Agency (IEA), *Technology Roadmap-Geothermal Heat and Power,* 2011 (Web sitesi: **http://www.iea.org/publications/ freepublications/publication/Geothermal_roadmap.pdf**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[7] К. Дегтярев, ***Наука и жизнь*, №9**, №10 2013

[8] International Energy Agency (IEA), *Renewables information statistic 2018,* 2018

[9] 21. Yüzyılın yenilenebilir enerji politikası ağı (REN21), *Renewables 2016 Global Status Report*, 2016

[10] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[11] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya Ve Türkiye Enerji Ve Tabii Kaynaklar Görünümü (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2FSayi_15.pdf**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[12] H. Doğan, N. Yılankırkan, *Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu,* **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 3(1):375-383, 2015

[13] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[14] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[15] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[16] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[17] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[18] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), (Web site: **http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[19] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), (Web site: **http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator**/), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[20] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[21] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[22] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM), (Web site: **http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede_jeo.aspx**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[23] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (Web site: **https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[24] F. Kaya, E. Göral, *Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası,* **Akademik Bakış Dergisi**, **Sayı: 57**, 421-438, 2016

[25] S.H. Yooa, Y. Kim, *Electricity generation and economic growth in Indonesia,* **Energy, 31**, 2890–2899, 2006

[26] S. Akhtar, K. Mugal, M. A. Khan, *The potential impact of coal on electricity generation and economic growth of Pakistan,* **Far East Journal of Psychology and Business, Vol 2** No 3, 60-70, 2011

[27] A. Ohler, I. Fetters, *The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: A study of energy sources,* **Energy Economics, Energy Economics, Volu: 43**, s. 125-139, 2014

[28] A. Uzun, Ö. S. Emsen, Ö. Yalçıkaya, İ. Hüseyni, *Toplam Elektrik Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği (1980-2010),* **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17** (3): 327-344, 2013

[29] A. C. Marques, J. A. Fuinhas, A. N. Menegaki, *Interactions between electricity generation sources and economic activity in Greece: A VECM approach,* **Applied Energy 132**, 34–46, 2014

[30] A. C. Marques, J. A. Fuinhas, A. R. Nunes, *Electricity generation mix and economic growth: What role is being played by nuclear sources and carbon dioxide emissions in France?,* **Energy Policy, 92**, 7–19, 2016

[31] H. H. Lean, R. Smyth, *Multivariate Granger causality between electricity generation, exports, prices and GDP in Malaysia*, **Energy, 35**, s. 3640-3648, 2010

[32] J. P. C. Bento, N. Szczygiel, V. Moutinho, *Fossil fuel power generation and economic growth in Poland,* Energy Sources, Part B: **Economics, Planning and Policy, Vol: 12**, Issue 10, 930-935, 2017

[33] H. Altıntas, M. Kum, *Multivariate Granger Causality between Electricity Generation, Exports, Prices and Economic Growth in Turkey*, **International Journal of Energy Economics and Policy, Vol. 3,** Special Issue, 41-51, 2013

[34] A. R. Sarker, K. Alam, *Nexus between Electricity Generation and Economic Growth in Bangladesh*, **Asian Social Science, Vol. 6**, No. 12, 16-22, 2010

[35] A. Sharma, *Nexus between Electricity Generation and Economic Growth of Nepal*, ASIAN Community Knowledge Networks for the Economy, Society, Culture and Environmental Stability, **At Kathmandu, Vol**: **11**, 2015

[36] O. S. Ogbonna, O. S. Idenyi, A. Nick, *Power Generation Capacity and Economic Growth in Nigeria: A Causality Approach*, **European Journal of Business and Management, Vol.8**, No.32, 74-90, 2016

[37] B. Atems, Ch. Hotaling, *The effect of renewable and nonrenewable electricity generation on economic growth*, **Energy Policy 112**, 111–118, 2018

[38] M. O. Chaudhry, I. Nasım, F. Bashır, *Analyzing the Influence of Electricity Generation on Employment in Pakistan: An Empirical Evidence,* **Journal of Energy Technologies and Policy, Vol.5**, No.7, 78-84, 2015

[39] A. Rashid, A. U. Haq, *Electricity generation as a determinant of unemployment in Pakistan,* **Journal of Chinese Economic and Foreign Trade Studie, Vol. 9**, Iss 2, s. 102 – 112, 2016

[40] Jane Bryan, N. Evans, C. Jones, M. Munday, *Regional electricity generation and employment in UK regions,* **Regional Studies, 51**:3, 414-425, 2017

[41] B. Moreno, A. J. Lo´ pez, *The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain),* **Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12**, 732–751, 2008

[42] J..Rutovitz, S. Harris, CALCULATING GLOBAL ENERGY SECTOR JOBS: 2012 METHODOLOGY, Institute for Sustainable Futures UTS , June 2012

[43] Ministry of Energy and Natural Resources, Electricty, 2017

[44] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu 2017-2021, Aug. 2017

[45] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu 2017-2021, Aug. 2017

[46] D. W. Coit, S. Selcuklu, N. Chatwattanasiri, N. Wattanapongsakorn, Stochastic multiple objective electric generation expansion planning, Proceedings of the 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunicatio

[47] S. Li, *Robust optimization of electric power generation expansion planning problems considering uncertainty of climate change*, M.S. Thesis, Rutgers University, 2014

[48] S. Li, Robust optimization of electric power generation expansion planning problems considering uncertainty of climate change, M.S. Thesis, Rutgers University, 2014

[49] B. Özcan, A. Arı, *Para Talebinin Belirleyenleri ve İstikrarı Üzerine Bir Uygulama: Türkiye Örneği,* **Yönetim ve Ekonomi, Cilt: 20**, Sayı: 2, 105-120, 2013

[50] H. Tekiner, Multi-objective stochastic models for electricity generation expansion planning problems considering risk, Ph.D. diss., Rutgers University, 2010

[51] H. Tekiner-Mogulkoc, D. W. Coit, and F. A. Felder, Electric power system generation expansion plans considering the impact of Smart Grid technologies, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 42-1 (2012), pp. 229-239

[52] Energy [r]evolution. A SUSTAINABLE TURKEY ENERGY OUTLOOK,

[53] International Energy Agency (IEA), *Technology Roadmap-Geothermal Heat and Power*, 2011 (Web sitesi: **https://www.iea.org/statistics/?country=TURKEY&year=2016&category=Electricity&indicator=ElecGenByFuel&mode=chart&dataTable=ELECTRICITYANDHEAT**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[54] Dünya Bankası (Web sitesi: **https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD?locations=TR**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[55] Dünya Bankası (Web sitesi: **https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?locations=TR**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[56] Dünya Bankası (Web sitesi: **https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.TOTL.KD?locations=TR**), (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[57] M. E. Bakanlığı, meb.gov.tr Available: **https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/2ElektrikTesisatBilgisi/unite4.pdf** (Erişim tarihi: 09.06.2019)

[58] Total Electricity Generation and İts Relation to Economic Growht: The Caseof Turkey

[59] Para Talebinin Belirleyenleri ve İstikrarı Üzerine Bir Uygulama: Türkiye Örneği Yrd. Doç. Dr. Burcu ÖZCAN

[60] REGRESYON ANALÐZÐNDE DOĞRUSALA DÖNÜŞTÜRME YÖNTEMLERÐ VE BÐR **UYGULAMA https://dergipark.org.tr/download/article-file/30223**

[61] «Reha Alpar, uygulamalı çok değişkenli istatistiksen yöntemler.2017 Ankara, Detay yayıncılık 5. baskı

[62] Recep Tarı, Ekonometri, Kocaeli 2014, umuttepe yayınları 10. Baskı

[63] Ö. Gürünlü Alma, Ö. Vupa, *Regresyon Analizinde Kullanılan En Küçük Kareler Ve En Küçük Medyan Kareler Yöntemlerinin Karşılaştırılması,* **SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 3(2),** 219-229, 2008

[64] N. Işık, M. Acar, H. B. Işık, *Enflasyon ve Döviz Kuru İlişkisi:Bir Eşbütünleşme Analizi,* **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 9**, Iss. 2, 2004

[65] R. Tarı, *Ekonometri*, Umuttepe Yayınları 10. Baskı, Kocaeli, 2014

[66] A. Uzun, Ö. S. Emsen, Ö. Yalçıkaya, İ. Hüseyni, *Toplam Elektrik Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Türkiye Örneği (1980-2010),* **Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17** (3): 327-344, 2013

[67] A. Takım, *Türkiye'de GSYİH ile İhracat Arasındaki İlişki: Granger Nedensellik Testi,* **Journal of Graduate School of Social Sciences, Vol. 14**, Iss. 2, 315 – 330, 2010

[68] Ö. Uysal, S. Sat, *İhracat Ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Rusya Örneği,* Internatıonal Conference On Eurasıan Economıes 2015, SESSION 3C: Uluslararası Ticaret I

[69] E. UĞURLU, DURAĞANLIK VE BİRİM KÖK SINAMALARI, kitapçık 1, doi: 10.13140/rg.2.1.3262.2561

[70] I. C. R. b. E. M. a. C.-s. M. E. V. 3. N. 3. (. 1. p. 4.-4. C. W. J. Granger.

EKLER

EK 1. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Yıllar İtibariyle Gelişimi (1990-2016) (GW) [51]

SENE	HİDROLİK (Hidro)	DOĞAL GAZ (Gaz)	KÖMÜR (Köm)	PETROL (Pet)	ATIKLAR (Bio)	BİOYAKIT (Bio)	RÜZGAR (Rüz)	GÜNEŞ PV	JEOTERMAL (Jeo)
1990	23148	10192	20181	3942	0	0	0	0	80
1991	22683	12589	21561	3294	0	38	0	0	81
1992	26568	10813	24571	5273	0	47	0	0	70
1993	33951	10788	23761	5174	0	56	0	0	78
1994	30586	13822	28235	5548	0	51	0	0	79
1995	35541	16579	28047	5772	0	222	0	0	86
1996	40475	17144	30413	6540	0	176	0	0	84
1997	39816	22086	33860	7157	0	294	0	0	83
1998	42229	24851	35688	7923	0	241	5	0	85
1999	34677	36418	37031	8079	0	133	21	0	81
2000	30879	46216	38087	9311	8	166	33	0	76
2001	24010	49550	38416	10367	4	184	62	0	90
2002	33683	52497	32149	10744	4	130	48	0	105
2003	35330	63536	32252	9197	6	79	61	0	89
2004	46084	62241	34448	7670	7	76	58	0	93
2005	39561	73445	43192	5483	10	34	59	0	94

2006	44244	80691	46650	4340	15	57	127	0	94
2007	35851	95025	53431	6526	14	95	355	0	156
2008	33270	98685	57716	7519	12	142	847	0	162
2009	35958	96095	55684	4804	12	252	1495	0	436
2010	51796	98144	55047	2180	14	332	2916	0	668
2011	52338	104048	66217	904	20	343	4723	0	694
2012	57865	104499	68013	1639	17	592	5860	0	899
2013	59420	105116	63786	1739	15	879	7557	0	1364
2014	40645	120576	76263	2145	12	1083	8520	17	2364
2015	67146	99218	76166	2224	22	1241	11652	194	3425
2016	67231	89227	92273	1926	24	1635	15517	1043	4819

Ek 2. Türkiye'nin GSYİH'nın, CO_2 salınımının ve finansal sermayenin 1990-2015 seneler arasındaki verileri [52], [53], [54]

Yıl	GSYİH, 2010$ kuru bazinda, ABD $	Salınım, CO_2	Toplam sermaye, sabit 2010 dolar kuru, ABD $
1990	365 299 342 017,42	145859	78675446055,16
1991	367 930 516 595,19	148620	71252504187,10
1992	386 458 154 239,99	153108	79018544561,85
1993	416 027 092 519,57	159137	102012933923,60
1994	396 606 334 766,80	156849	71612570786,59
1995	427 852 040 267,61	171975	97039532247,90
1996	459 426 085 283,48	188205	102267797332,24
1997	494 239 848 719,41	198535	114423870157,73
1998	505 647 625 622,67	200614	113084733578,32
1999	488 509 792 012,81	196771	101299350762,43
2000	520 947 558 848,31	216151	121689446964,98
2001	489 886 971 146,12	194553	81569259836,47
2002	521 387 629 533,11	205686	106490932138,74
2003	550 628 831 151,73	218524	124836035857,97
2004	603 732 830 048,79	225421	151941678405,28
2005	658 128 557 460,75	237391	186992584703,86
2006	704 919 891 923,05	261615	213448718225,55
2007	740 380 474 384,67	284658	226193033307,41
2008	746 638 308 005,96	283980	215768098812,68
2009	711 513 119 221,58	277845	166836238632,22
2010	771 901 783 337,77	298002	208203243279,21
2011	857 687 083 332,79	320840	242208691064,36
2012	898 769 604 397,06	329561	231937593744,02
2013	975 086 975 872,67	324772	270742375032,64
2014	1 025 466 524 219,54	345981	280524976687,71
2015	1 087 875 383 372,55	345981	298029547592,85

Ek 3. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Yıllar İtibariyle Gelişimi (1975-2011)

YILLAR	TAŞKÖMÜRÜ	LİNYİT	TOPLAM	FUEL-OİL	MOTORİN	LPG	NAFTA	TOPLAM	DOĞAL GAZ	YENİLENEBİLİR +ATIK	TERMİK	HİDROLİK	JEOTERMAL +RÜZGAR	TOPLAM
1975	1427,4	2685,9	4113,3	4700,0	685,9			5385,9		220,0	9719,2	5903,6		15622,8
1976	1345,8	2981,5	4327,3	4672,9	746,6			5419,5		161,2	9908,0	8374,8		18282,8
1977	1266,2	3625,8	4892,0	5538,5	1343,5			6882,0		218,3	11992,3	8572,3		20564,6
1978	1207,0	4362,2	5569,2	5690,9	994,0			6684,9		137,2	12391,3	9334,8		21726,1
1979	1066,7	5371,3	6438,0	5118,4	532,1			5650,5		144,5	12233,0	10288,9		22521,9
1980	911,7	5048,6	5960,3	5222,8	608,4			5831,2		135,7	11927,2	11348,2		23275,4
1981	892,3	5244,1	6136,4	5195,5	614,8			5810,3		110,0	12056,7	12616,1		24672,8
1982	912,8	5528,4	6441,2	5305,8	637,8			5943,6			12384,8	14166,7		26551,5
1983	787,2	7789,8	8577,0	6348,4	1078,7			7427,1			16004,1	11342,7		27346,8
1984	705,6	9412,7	10118,3	6710,6	336,2			7046,8			17165,1	13426,3	22,1	30613,5
1985	710,3	14317,5	15027,8	7028,6	53,4			7082,0	58,2		22168,0	12044,9	6,0	34218,9
1986	772,8	18664,5	19437,3	6941,3	59,3			7000,6	1340,7		27778,6	11872,6	43,6	39694,8
1987	627,8	17025,7	17653,5	5418,1	77,5			5495,6	2528,1		25677,2	18617,8	57,9	44352,9
1988	345,3	12141,3	12486,6	3248,7	56,0			3304,7	3239,5		19030,8	28949,6	68,4	48048,8
1989	317,0	19952,5	20269,5	4209,2	38,3			4247,5	9524,0		34041,0	17939,6	62,6	52043,2
1990	620,8	19560,5	20181,3	3920,9	20,8			3941,7	10192,3		34315,3	23147,6	80,1	57543,0
1991	998,4	20563,1	21561,5	3291,0	2,2			3293,2	12588,6	38,4	37481,7	22683,3	81,3	60246,3
1992	1814,6	22756,2	24570,8	5271,3	1,7			5273,0	10813,7	47,1	40704,6	26568,0	69,6	67342,2
1993	1796,1	21963,8	23759,9	5171,4	3,1			5174,5	10788,2	56,4	39779,0	33950,9	77,6	73807,5
1994	1977,6	26257,1	28234,7	5546,8	2,0			5548,8	13822,3	50,9	47656,7	30585,9	79,1	78321,7
1995	2232,1	25814,8	28046,9	5498,2	273,8			5772,0	16579,3	222,3	50620,5	35540,9	86,0	86247,4
1996	2574,1	27839,5	30413,6	6174,4	365,2			6539,6	17174,2	175,4	54302,8	40475,2	83,7	94861,7
1997	3272,8	30587,2	33860,0	6520,7	531,4	105,2	0,0	7157,3	22085,6	294,0	63396,9	39816,1	82,8	103295,8
1998	2980,9	32706,6	35687,5	7275,6	308,6	222,2	116,9	7923,3	24837,5	254,6	68702,9	42229,0	90,5	111022,4
1999	3122,8	33908,1	37030,9	6472,4	747,7	277,5	581,9	8079,5	36345,9	204,7	81661,0	34677,5	101,4	116439,9
2000	3819,0	34367,3	38186,3	7459,1	980,6	324,0	547,1	9310,8	46216,9	220,2	93934,2	30878,5	108,9	124921,6
2001	4046,0	34371,5	38417,5	8816,6	904,0	162,1	483,5	10366,2	49549,2	229,9	98562,8	24009,9	152,0	122724,7
2002	4093,1	28056,0	32149,1	9505,0	270,9	34,8	933,1	10743,8	52496,5	173,7	95563,1	33683,8	152,6	129399,5
2003	8663,0	23589,9	32252,9	8152,7	4,4	2,9	1036,2	9196,2	63536,0	115,9	105101,0	35329,5	150,0	140580,5

2004	11998,1	22449,5	34447,6	6689,9	7,3	33,4	939,7	7670,3	62241,8	104,0	104463,7	46083,7	150,9	150698,3
2005	13246,2	29946,3	43192,5	5120,7	2,5	33,7	325,6	5482,5	73444,9	122,4	122242,3	39560,5	153,4	161956,2
2006	14216,6	32432,9	46649,5	4232,4	57,7	0,1	50,2	4340,4	80691,2	154,0	131835,1	44244,2	220,5	176299,8
2007	15136,2	38294,7	53430,9	6469,6	13,3	0,0	43,9	6526,8	95024,8	213,7	155196,2	35850,8	511,1	191558,1
2008	15857,5	41858,1	57715,6	7208,6	266,3	0,0	43,6	7518,5	98685,3	219,9	164139,3	33269,8	1008,9	198418,0
2009	16595,6	39089,5	55685,1	4439,8	345,8	0,4	17,6	4803,5	96094,7	340,1	156923,4	35958,4	1931,1	194812,9
2010	19104,3	35942,1	55046,4	2143,8	4,3	0,0	31,9	2180,0	98143,7	457,5	155827,6	51795,5	3584,6	211207,7
2011	27347,5	38870,4	66217,9	900,5	3,1	0,0	0,0	903,6	104047,6	469,2	171638,3	52338,6	5418,2	229395,1

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı:	Atabek MOVLYANOV
Uyruğu:	Türkmenistan
Doğum Tarihi ve Yeri:	01.11.1993 - LEBAP
Medeni Durum:	Bekar
e-mail:	atabekmovlyanov@gmail.com
Yazışma Adresi:	Osman Kavuncu Caddesi No:1, Duvenonu, 38050 Melikgazi/Kayseri

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Enerji Sistemleri Müh.	2019
Lisans	Ahmet Yesevi Üniversitesi, Kazakistan	2015
Lise	2. Orta okul, Türkmenizstan, Kerki	2010

YABANCI DİL

Türkçe, İngilizce, Rusça, Kaz