

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM
ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI

**ROBUST OPTİMİZASYON YÖNTEMİ
KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ**

Doktora Tezi

Turgut KARABULUT

Danışman

Doç. Dr. Selahattin YAVUZ

Erzincan 2019

TEZ BİLDİRİMİ

“Robust Optimizasyon Yöntemi Kullanılarak Güneş Enerji Santrali Kuruluş Yeri Seçimi” isimli “**Doktora**” tezim tarafımda intihal programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 06/12/2019


Turgut KARABULUT

TEZ KABUL TUTANAĞI

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Turgut KARABULUT' a ait "Robust Optimizasyon Yöntemi Kullanılarak Güneş Enerji Santrali Kuruluş Yeri Seçimi" adlı çalışma, jürimiz tarafından İşletme Anabilim Dalının İşletme Bilim Dalında **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman / Jüri : Doç. Dr. Selahattin YAVUZ



Jüri : Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN



Jüri : Prof. Dr. Suat YILDIRIM



Jüri : Doç. Dr. Muhammet DEVECİ



Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Zülküf AYRANGÖL



ROBUST OPTİMİZASYON YÖNTEMİ KULLANILARAK GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ

Turgut KARABULUT

**Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora
Tezi, Aralık 2019**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selahattin YAVUZ

ÖZET

Enerji, dünyada ihtiyaç duyulan en önemli kaynaklardan biridir. Enerjiye duyulan bu ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Farklı enerji kaynakları bulunmaktadır. Bu enerji kaynaklarından biri olan yenilenebilir enerjinin hem temiz hem de sürdürülebilir olması, dünyamız için oldukça önemlidir. Dünyada orta kuşak ülkelerden biri olan Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin zengin olması açısından şanslı bir ülke olduğu düşünülebilir.

Bu çalışmada, il bazında güneş enerji santrali kuruluş yeri seçimi ve enerji verimliliği için model önerilmiştir. Önerilen bu model (orijinal) ve robust eş değer model optimize edilerek alternatifler arasından en uygun il belirlenmeye çalışılmıştır. Oluşturulan modele göre robust optimizasyon yöntemi kullanılarak en kötü şartlar altında en uygun il belirlenmeye çalışılmıştır. Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas ve Van il merkezlerine ait Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) alınabilen verilere göre çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, Güneş enerji santrali kuruluş yeri seçimi için Türkiye'deki en uygun ilin orijinal model çözümüne göre Erzurum, robust eşdeğer model çözümüne göre ise Ağrı olduğu görülmüştür. Ayrıca, model kararlılığını ortaya koymak için yapılan duyarlılık analizine göre modelin kararlı bir yapıda olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Robust Optimizasyon, Kuruluş Yeri Seçimi

SELECTION OF SOLAR POWER PLANT LOCATION USING ROBUST OPTIMIZATION METHOD

Turgut KARABULUT

Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Social Sciences

PhD Thesis, December 2019

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selahattin YAVUZ

ABSTRACT

Energy is one of the most important resources needed in the world and this need for the energy is increasing day by day. There are different kinds of resources of energy. It is very important for our world that renewable energy, which is one of these energy resources, is both clean and sustainable. Turkey as one of the temperate zone countries in the world can be deemed as a fortunate country in terms of having a rich potential of renewable energy resources.

In this study, a model for the location selection of solar energy power plant and energy efficiency was proposed. The proposed (original) model and robust counterpart model were optimized to determine the most suitable province among the alternatives. According to the aforementioned proposed model, the most suitable province was aimed to be determined with robust optimization under the worst conditions. The analysis of this study was made pursuant to the data belonging to Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas and Van provincial centers and obtained from the General Directorate of Meteorology. As a consequence of the analysis of the study, it was observed that whereas the most appropriate province in Turkey for solar power plant facility location was Erzurum according to the original model, it was Ağrı according to the robust counterpart model. In addition, it was found out that the model had a stable structure with respect to the sensitivity analysis carried out to demonstrate the stability of the model.

Keywords: Solar Energy, Robust Optimization, Facility Location Selection

ÖN SÖZ

Karşımıza çıkan veya çıkabilecek olan tüm zorluklara rağmen, çalışmanın vatanımıza, milletimize ve devletimize hayırlı olmasını temenni ederim.

Bu çalışmada gerek bilgi gerekse de ilgisini hiçbir zaman esirgemeyen, hakkını ne yapsam da ödeyemeyeceğim danışman hocam Sayın Doç. Dr. Selahattin YAVUZ' a sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Çalışma esnasında her komite toplantısında tavsiyeleriyle bana ışık tutan Sayın Prof. Dr. Suat YILDIRIM ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zülküf AYRANGÖL' e, verilere ulaşmamda yardımlarını esirgemeyen Meteoroloji Erzincan İl Müdürü Sayın Yusuf Ziya DAĞ' a, yöntem konusunda yardımcı olan Sayın Dr. Leyla BİLEN KAZANCIK' a ve mühendislik alanında bilgilerini benimle paylaşan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Aslıhan KURNUÇ SEYHAN' a teşekkür ederim. Doktora savunmama gelen, lisans ve yüksek lisans eğitimlerimde kendisinden büyük bir keyifle ders aldığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Nimet YAPICI PEHLİVAN' a, savunma öncesi önerileriyle destek veren Sayın Doç. Dr. Muhammet DEVECİ' ye ne kadar teşekkür etsem azdır.

Bu çalışmayı, tanıştığım günden beri beni sürekli destekleyen, sevgisi ile sürekli yanımda olan değerli eşim Emine KARABULUT' a ve canımızın pasesi olan biricik oğlumuz Uras KARABULUT' a ithaf ediyorum.

Turgut KARABULUT

Erzincan, 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ.....	I
TEZ KABUL TUTANAĞI	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
ÖN SÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
KISALTMALAR.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	X
TABLO LİSTESİ	XII
GİRİŞ.....	1

I. BÖLÜM

ENERJİ KAVRAMLARI VE ENERJİ SANTRALİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ

I.1. Enerji Kaynakları	5
I.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	5
I.1.1.1. Güneş Enerjisi	8
I.1.1.1.1. Güneş Enerji Sistemlerinin Verimliliğini Etkileyen Parametreler	11
I.1.1.1.2. Güneş Pili Ekipmanları	15
I.1.1.1.3. Güneş Enerjisi Santrali Yatırım ve İşletim Maliyeti.....	21
I.1.1.2. Rüzgâr Enerjisi.....	22
I.1.1.3. Hidrolik (Su) Enerji.....	24
I.1.1.4. Jeotermal Enerji.....	26
I.1.1.5. Biokütle Enerjisi.....	27
I.1.1.6. Dalga Enerjisi	29
I.1.1.7. Hidrojen Enerjisi	32
I.1.1.8. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli	34
I.1.2. Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları	35
I.1.2.1. Fosil Yakıt Enerjisi.....	35
I.1.2.2. Radyoaktif Element (Nükleer) Enerjisi.....	38
I.2. Enerji Santrali Kuruluş Yeri Seçimi	41
I.2.1. Kuruluş Yeri Tanımı ve Literatür Özeti.....	41

II. BÖLÜM

ROBUST OPTİMİZASYON

II.1. Robust Optimizasyon Modelleri.....	45
II.1.1. Küme Tabanlı Robust Optimizasyon Modelleri.....	46
II.1.1.1. Aralık (Kutu) Belirsizlik Kümesi.....	49
II.1.1.2. Elipsoid Belirsizlik Kümesi.....	49
II.1.1.3. Polihedral Belirsizlik Kümesi.....	50
II.1.1.4. Amaç Fonksiyonu Parametrelerinde Belirsizlik Olma Durumu.....	50
II.1.2. Senaryo Tabanlı Robust Optimizasyon Modelleri.....	51
II.2. Robust Optimizasyon Çalışmaları.....	52

III. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ BULGULARI

III.1. Çalışmanın Amacı.....	56
III.2. Çalışmanın Önemi ve Özgünlüğü.....	56
III.3. Modelde Yer Alacak Parametreler.....	57
III.4. Veri Kümesi.....	58
III.5. Araştırmanın Modeli.....	83
III.6. Modelin Çözümleri:.....	86
III.6.1. Modelin Soyster Yaklaşımına Göre Robust Eşdeğer Modeli:.....	86
III.6.2. Modellerin Çözümleri:.....	88
III.6.3. Duyarlılık Analizi:.....	95
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKÇA.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	126

KISALTMALAR

TWh	: Terawatt saat
GW	: Gigawatt
MW	: Megawatt
kWh	: Kilowatt saat
W	: Watt
V	: Volt
MWt	: Megawaat saat
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
W/m²	: Watt bölü metre kare
PV	: Foto voltaik
NOCT	: Nominal ortam çalışma sıcaklığı
AC	: Alternatif akım
DC	: Doğru akım
m/s	: metre bölü saniye
HES	: Hidroelektrik santrali
GES	: Güneş enerji santrali
RES	: Rüzgâr enerji santrali
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerikan ulusal havacılık ve uzay dairesi)
LP	: Lineer (doğrusal) programlama
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal çözüme benzerlik tekniği)
AHP	: Analitik hiyerarşi prosesi

SAW : Simple Additive Weighting (Basit ağırlıklı toplam metodu)

VIKOR : Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
(Çok kriterli optimizasyon ve uzlaşık çözüm)

Max. : En fazla

Min. : En az

ss : Standart sapma

ÇKKV : Çok kriterli karar verme

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Türkiye'nin Güneş Radyasyon Haritası	12
Şekil 2	Türkiye'nin Güneşlenme Süre Haritası	13
Şekil 3	Türkiye'nin Sıcaklık Haritası	14
Şekil 4	Monokristal Güneş Paneli Hücresi	15
Şekil 5	Polikristal Güneş Paneli Hücresi	16
Şekil 6	İnce Film Güneş Paneli Hücresi	17
Şekil 7	Esnek Güneş Paneli Hücresi	18
Şekil 8	Saydam Güneş Paneli Hücresi	19
Şekil 9	İnvertör	19
Şekil 10	Şarj Regülatörü	20
Şekil 11	Akümülatör	20
Şekil 12	Sabit ve İzleyici Kurulum Seti	21
Şekil 13	Kuruluş Yeri Alternatiflerini Gösteren Harita	58
Şekil 14	İllerin Güneşlenme Sürelerinin Aylık Ortalama Değerleri	67
Şekil 15	İllerin Güneşlenme Sürelerinin Standart Sapma Değerleri	69
Şekil 16	İllerin Işınım Değerlerinin Aylık Ortalama Değerleri	71
Şekil 17	İllerin Işınım Değerlerinin Standart Sapma Değerleri	73
Şekil 18	İllerin Rüzgâr Hızlarının Aylık Ortalama Değerleri	75
Şekil 19	İllerin Rüzgâr Hızlarının Standart Sapma Değerleri	77
Şekil 20	İllerin Sıcaklık Değerlerinin Aylık Ortalama Değerleri	79
Şekil 21	İllerin Sıcaklık Değerlerinin Standart Sapma Değerleri	81

Şekil 22	Orijinal Model Çözümüne Göre En Uygun İli Gösteren Harita	89
Şekil 23	Robust Eşdeğer Model Çözümüne Göre En Uygun İli Gösteren Harita	90



TABLO LİSTESİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Güneşlenme Süresi, Işınım Şiddeti, Rüzgâr Hızı ve Sıcaklık Değişkenleri Arasındaki Korelasyon Değerleri	59-62
Tablo 2	Varyans Analizi (ANOVA) Tablosu	63
Tablo 3	Işınım Şiddeti İle Güneşlenme Süresi, Rüzgâr Hızı ve Sıcaklık Arasındaki Regresyon Analizi Sonuçları	64
Tablo 4	Kuruluş Yeri Tercihi İçin <i>Max Y</i> ve <i>Max Z</i> Değerleri	88
Tablo 5	Kuruluş Yeri Tercihi Sonrası <i>Max Gerçekleşen Değer Alt Sınır</i> Değerleri	91
Tablo 6	Kuruluş Yeri Tercihi Sonrası <i>Max Gerçekleşen Değer Üst Sınır</i> Değerleri	92
Tablo 7	Güneşlenme Süresi İçin Duyarlılık Analizi	97-98
Tablo 8	Işınım Şiddeti İçin Duyarlılık Analizi	100-101
Tablo 9	Rüzgâr Hızı İçin Duyarlılık Analizi	103-104
Tablo 10	Sıcaklık İçin Duyarlılık Analizi	106-107

GİRİŞ

Enerjiye dün ve bugün olduğu gibi yarın da sürekli ihtiyaç duyulacaktır. Dünyanın varoluşundan beri enerji ihtiyacı artarak devam etmiştir. Enerji ihtiyacı, özellikle 19. yüzyılda başlayan yeni buluşlarla birlikte gelen sanayi devrimi sonrası son derece artmıştır. İnsanoğlu enerji ihtiyaçlarını, önceleri yenilenemeyen enerji kaynakları ile elde etmeye çalışmıştır. Kömür, petrol, doğalgaz vb. yenilenemeyen enerji kaynaklarının giderek azalması, yenilenebilir enerji kaynaklarına ilginin artmasına sebep olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hem temiz hem de sürdürülebilir olması, dünyamız için oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli olması sadece tek bir bölgede üretim yapılmasının da önüne geçmiştir. Bazı bölgelerde rüzgâr enerjisinden faydalanırken diğer bölgelerde güneş enerjisinden faydalanıp enerji üretimi yapılabilmektedir. Bu tip çeşitliliğin olması yenilenebilir enerjinin en önemli avantajlarından biridir.

Türkiye’de 2010 yılında elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %47’ si doğalgaz ile üretilmektedir. Ayrıca elektrik üretiminin yaklaşık %29’ u da yenilenebilir olmayan ve çevre kirliliği oluşturan kömür ile üretilmektedir (İraz vd., 2010). 2018 yılında ise elektrik üretiminin, %37,3’ü kömürden, %29,8’i doğal gazdan, %19,8’i hidrolik enerjiden, %6,6’sı rüzgârdan, %2,6’sı güneşten, %2,5’i jeotermal enerjiden, ve %1,4’ü diğer kaynaklardan üretilmektedir (www.enerji.gov.tr). Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan yenilenebilir olmayan enerji kaynağı olan doğalgazın, ithal edildiği düşünüldüğünde, ülkemizde oluşturduğu ve oluşturacağı cari açık oldukça fazladır. Cari açığın ve çevre kirliliğinin azaltılması için önemli bir yöntem ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını olacaktır.

Dünyada orta kuşak ülkelerinden biri olarak adlandırılan Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça avantajlı bir ülkedir. Özellikle güneşten gelen radyasyon ışınım değerlerinin, Türkiye’de yüksek olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte güneşlenme süreleri de oldukça yüksektir. Güneş enerji santralleri için önemli olan bu iki özellik, Türkiye’ ye yatırım yapılmasını elverişli hale getirmektedir.

Güneş enerji santrallerinin kurulması için gereken maliyet oldukça yüksektir. Milyonlarca Euro maliyete sahip olan bu santrallerin kuruluş yeri tercihi oldukça önem arz etmektedir. Literatür incelendiğinde kuruluş yeri seçiminde genellikle çok kriterli karar verme teknikleri kullanıldığı görülmektedir. Çok kriterli karar verme tekniklerinde uzman görüşü alınarak seçim yapılması, farklı uzmanlara danışıldığında farklı tercihlere sebebiyet vermesi, yöntemin önemli bir dezavantajdır. Oldukça yüksek maliyetli santrallerin kuruluş yeri seçiminde bu tip dezavantajların olması, yatırımcıları olumsuz etkileyebilmektedir. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için çok kriterli karar verme teknikleri dışındaki yöntemlerle kuruluş yeri seçimi yapılması, oldukça önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Robust (sağlam) optimizasyon tekniği ile Güneş enerji santrali kuruluş yeri seçimi yapılması amaçlanmıştır. Robust optimizasyon, veri belirsizliğindeki optimizasyon problemleriyle başa çıkmak için önemli bir metodolojidir (Li ve Floudas, 2011). Eldeki verinin standart sapmasını minimize ederek en sağlam sonucu veren bu yöntem; güneşlenme süresi, ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve sıcaklık gibi önceden tahmin edilmesi güç olan parametreleri içeren modeller için kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında, güneş enerjisi yatırımcıları açısından önemli olan santral verimi için bir model önerisinde bulunulmuştur. Bu model, 10 Temmuz 2012 tarihli, 28349 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan “Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ” de yer alan, ölçülmesi zorunlu olan parametrelere göre belirlenmiştir. Daha sonra, bu modelin robust (sağlam) optimizasyon ile sonuçları elde edilip, en uygun kuruluş yeri seçimi yapılması üzerinde durulmuştur.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, enerji kavramları ve enerji santrali kuruluş yeri seçiminden bahsedilmiştir. Yenilenebilir olmayan ve yenilenebilir enerji kaynakları açıklanıp, Dünya’da ve Türkiye’deki kaynakların kullanımları ve potansiyelleri açıklanmıştır. Ayrıca, kuruluş yeri seçimi için araştırmaya konu olan güneş enerjisi ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bununla birlikte kuruluş yeri seçiminin öneminden bahsedilmiştir. Literatürdeki kuruluş yeri

seçiminde kullanılan yöntemler incelenerek, çalışmalar hakkında gerekli açıklamalar yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, araştırmanın metodolojisini oluşturan Robust (sağlam) Optimizasyon anlatılmıştır. En kötü durum şartlarında en uygun sonucu veren Sosyter yaklaşımına göre, robust optimizasyon ayrıntılı bir şekilde açıklandıktan sonra, literatürde robust optimizasyon ile ilgili yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Çalışmanın son bölümü olan üçüncü bölümde ise, korelasyon analizi, regresyon analizi, model çözümleri ilişkin bulgular elde edilip kuruluş yeri seçimi için en uygun şehir belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca duyarlılık analizi yapılarak modelin kararlılığı ortaya konulmuştur. Çalışma neticesinde elde edilen bulgulara göre genel bir değerlendirme yapılarak önerilerde bulunulmuştur.

I. BÖLÜM

ENERJİ KAVRAMLARI VE ENERJİ SANTRALİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ

Enerji sistemi, enerji tedarikçileri ve enerjiyi sonuna kadar kullanan teknolojilerden oluşur. Enerji sisteminin amacı, enerjinin sunduğu avantajları tüketicilere sunmaktır. “Enerji hizmetleri” terimi, evlerde aydınlatma, yemek pişirme, iç ortam ısıtma, soğutma ve nakliye gibi faydaları tanımlamak için kullanılır. Enerji hizmetleri bütün ticaret ve endüstri hizmetleri için de gereklidir. Örneğin; endüstriyel süreçlerde ısıtma ve soğutma işlemleri, tarım için hareket gücü süreçleri ve telekomünikasyon ile elektronik cihazlar için elektriğe ihtiyaç vardır.

Bu hizmetleri sunan enerji zinciri, bir veya birkaç adımda elektrik veya mazot gibi son kullanımlar için uygun olan enerji taşıyıcılarına dönüştürülebilen birincil enerjinin toplanması veya çıkarılması ile başlar. Enerji son kullanım donanımları (sobalar, ampuller, araçlar, makineler) nihai enerjiyi yararlı enerjiye dönüştürür ve istenen faydaları sağlar. Enerji hizmetleri, çeşitli teknolojilerin, altyapı (sermaye), emek (beceri), malzemeler ve birincil enerjinin birleşiminin bir sonucudur. Bu girdilerin her birinin bir fiyatı vardır ve kısmen birbirleri için ikame edilebilirler. Tüketicilere göre, hizmetlerden türetilen ekonomik değer veya yararlar konusu önemli bir konu olmuştur. Tüketiciler, genellikle, enerji hizmetleri üretmek için gerekli olan arama ve üretim faaliyetlerinden habersizdirler.

1995 yılında Amerika’da kişi başına birincil enerji tüketimi 330 gigajoule iken bu rakam ortalama bir Sahra altı Afrikalının (o yıl hem ticari hem de geleneksel enerji dâhil edildiğinde 40 gigajoule kullanan) kullandığından sekiz kat daha fazladır. Az gelişmiş ülkelerdeki çoğu insan daha az enerji kullanmaktadır.

Çoğu düşük gelirli gelişmekte olan ülkelerdeki küçük bir zengin azınlık, sanayileşmiş dünyadaki çoğu insanın yaptığı gibi çeşitli ticari enerji türlerini kullanmaktadır. Düşük gelirli gelişmekte olan ülkelerdeki çoğu insan ise, havalandırması olmayan sobalar veya açık ateş ocakları gibi verimsiz teknolojileri kullanarak geleneksel, ticari olmayan enerji kaynaklarından yararlanmaktadır.

Geleneksel enerji kaynakları genellikle enerji istatistiklerine yansımaz. Ticari olarak dağıtılan enerji kaynaklarının kişi başına tüketimi üzerine yapılan analiz yaygın bir veri toplama yöntemidir çünkü verileri elde etmek daha kolaydır. Belgelendirilmesi zor olsa da, ticari olmayan enerji dünyada çok önemlidir. Ticari enerji, birçok gelişmekte olan ülkenin, özellikle de az gelişmiş ülkelerin kırsal alanlarında çok daha yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Küresel ticari enerji tüketim oranı, Güneş'ten dünyaya akan enerjiden binlerce kez daha küçüktür. Birincil enerji tüketimi, toplam yakıt karışımının yaklaşık yüzde 80'ini temsil eden fosil yakıtlara (petrol, doğal gaz ve kömür) bağımlıdır. Nükleer enerji, enerji üretimine yüzde 6'dan biraz daha fazla katkıda bulunurken, hidroenerji ve yenilenebilir enerjilerin her biri yaklaşık yüzde 2 katkıda bulunmaktadır.

Dünya çapında geleneksel (çoğunlukla ticari olmayan) enerji, toplam yakıt karışımının yaklaşık yüzde 10'unu oluşturmaktadır. Ancak dağıtım düzensizdir. Ticari olmayan enerji, sanayileşmiş ülkelerde enerji tüketiminin yüzde 2'sini, gelişmekte olan ülkelerde ortalama yüzde 30'unu oluşturmaktadır (Goldemberg, 2000: 4-6).

I.1. Enerji Kaynakları

Enerji, hareket ettirmeye yarayan güç anlamına gelmektedir. Türkçesi ise “erke” dir. Enerji kaynakları, farklı yöntem ve farklı tekniklerle enerji elde edilebilen kaynaklara denmektedir. Enerji kaynakları sürdürülebilirliklerine göre yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Dönüştürülebilirliklerine göre de birincil enerji ve ikincil enerji olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Küçükkaya, 2018: 1-2).

I.1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji ile birincil enerji ve ikincil enerji arasında ayırım yaparak başlamakta fayda vardır. Yenilenebilir olmayan enerjiler, doğanın yenileyebileceğinden daha hızlı tükenen enerjilerdir (Cassedy and Grossman, 1998: 9). Günümüzde yenilenebilir olmayan enerji kaynakları kömür, petrol ve petrol ürünleri, doğal gaz ve uranyum / nükleer enerjidir (EIA,

Nonrenewable Energy Explained). Kömür, petrol, doğalgaz ve propan, fosil yakıtlar olarak kabul edilir, çünkü milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvanların gömülü kalıntılarından oluşurlar ve onları oluşturmak için çok fazla zaman gerektiği için etkili bir şekilde yerine yenisi konulamamaktadır (Cassedy and Grossman, 1998: 9; Ngo and Natowitz, 2009: 2). Uranyum (nükleer yakıt) fosil yakıt olarak görülmez, ancak yenilenebilir olmayan bir yakıttır. Yenilenebilir olmayan enerjilerin aksine, yenilenebilir enerjiler, yenilenebilir ya da tükenemezler (sürdürülebilir), çünkü toprak ve güneş var olduğu sürece kullanılabilir olurlar (Ngo and Natowitz, 2009: 3). Günümüzde en çok kullanılan yenilenebilir enerjiler; hidroelektrik (su), güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerjileridir (Kubasek N. and Silverman G., 2004: 357; EIA, Renewable Energy Explained).

Birincil enerji kaynakları, insanlar tarafından değiştirilmemiş (herhangi bir enerji dönüşümü olmamış) enerjilere denir. Bu kaynaklar, topraktan çıkarılan yakıtları (kömür, ham petrol veya doğal gaz) veya güneş enerjisi, rüzgar, biyokütle ve jeotermal gibi doğal kaynaklardan yakalanan veya depolanan enerjiyi içerir (Ngo and Natowitz, 2009: 2). İkincil enerji kaynakları, birincil kaynakların dönüşümünden elde edilir. Örneğin, ham petrolden benzin veya dizel yakıt çıkarılması ikincil enerjiye örnek verilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar şunlardır;

Görgülü (2019), çalışmasında Türkiye’de TR61 bölgesini oluşturan Antalya, Burdur ve Isparta illerinin yenilenebilir enerji potansiyellerini araştırmış ve bölgede kurulabilecek yenilenebilir enerji santrallerinin kurulmasıyla sera gazı emisyon değerlerinde oluşabilecek etkiyi incelemiştir. Türkiye’nin elektrik tüketiminin yaklaşık %3,9 unun bu bölge tarafından harcandığını belirten araştırmacı, bölgedeki toplam tüketimin %78 inin Antalya ili tarafından harcandığını belirtmiştir. Aynı zamanda bölgede 1,29 GW gücünde 114 adet yenilenebilir enerji santralinin bulunduğunu da açıklamıştır. Çalışma sonucunda kömür ve doğalgaz ile üretilen elektriğin yenilenebilir enerji ile üretimi sonrasında, Rüzgâr enerjisi kullanımında 5 bin ton, Güneş enerjisi kullanımında 12 bin ton ve biyokütle kullanımında ise 88 bin

ton CO₂ gazı salınımı olacağını belirtmiştir. Bu salınım, kömür kullanımında açığa çıkan yaklaşık 3 milyon ton ve doğalgaz kullanımında ortaya çıkan 1,5 milyon ton CO₂ gazı salınımına denk geldiğini açıklamıştır.

Bağcı (2019), çalışmasında Türkiye'nin enerji tüketimi ile yenilenebilir enerji üretimini araştırmıştır. Araştırmacı Türkiye'nin enerji ithalatı ile cari denge arasındaki ilişkiyi de incelemiştir. Türkiye'de 2016 yılında toplam 273603,5 GWh elektrik üretildiğini belirtirken, bunun %24,58' inin hidrolik enerji santralleri, %5,67' sinin rüzgâr enerjisi, %0,3' ünün güneş enerjisi (en az güneş enerjisinden faydalandığı), %1,7' sinin jeotermal enerji ve %0,8' inin biyokütle enerjisi ile üretildiğini belirtmiştir. Çalışmasında Türkiye'deki yenilenebilir enerji potansiyeli ile mevcut üretim hakkında da bilgiler vermiştir. Türkiye'nin cari açığının 29992 milyon\$ olduğunu belirtirken, 2018 yılında enerji ithal edilmemesi durumunda bu açığın 1270 milyon\$' a düşeceğini açıklamıştır. Çalışma sonunda yenilenebilir enerji alanındaki yatırımların artması ve fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüşümün etkili ve hızlı bir şekilde yapılması gerektiğini aktarmıştır.

Apergis ve Payne (2012), çalışmalarında yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Metodoloji olarak panel hata düzeltme modeli kurarak panel veri analizi yapmışlardır. Analiz sonucunda yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında çift yönlü nedensellik olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, iki enerji kaynağı arasında çift yönlü kısa süreli bir nedensellik bularak enerji kaynaklarının birbirine ikame edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Panwar vd. (2011), yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkilerini araştırmışlardır. Araştırmalarında Dünyayı kirleten karbondioksit (CO₂) salınımının azaltılması üzerine bir inceleme yapmışlardır. Çalışma sonucunda tarımsal ürünlerin güneşte kurutulması, geleneksel dizel yakıt yerine bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel kullanılması ve biyokütle gazlarının kullanılması ile yakıt tasarrufu yapılması gibi önerilerle sera gazı salınımı ve karbondioksit salınımının azaltılabileceğini belirtmişlerdir.

Bilgen vd. (2004), insanların gelecekte artan enerji ihtiyaçlarının nasıl karşılanabileceği ve hatta nasıl temiz ve güvenilir bir enerji ile karşılaşılabileceği üzerinde durmuşlardır. Özellikle Kyoto toplantısında CO₂ emisyonlarının sınırlandırılması için yapılan anlaşmaya vurgu yaparak incelemelerde bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda hidroelektrik, biyokütle dönüşümü, jeotermal, güneş enerjisi teknolojisi, rüzgâr enerjisi dönüşümü ve artan fotovoltaik kullanımındaki başarı ve ilerlemeyi anlatarak 2030 yılına kadar ihtiyaç duyulan enerjinin bu tip yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Gençoğlu (2002), çalışmasında Türkiye'nin, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülke olduğunu belirtmiştir. Ülkemizin, jeotermal enerjide dünya potansiyelinin %8 'ine sahip olduğunu, ayrıca coğrafi konumu nedeniyle büyük oranda güneş enerjisi aldığını, hidrolik enerji potansiyeli açısından da dünyanın sayılı ülkelerinden olduğunu ve rüzgâr enerjisi potansiyelinin de yaklaşık 160 TWh olarak tahmin edildiğini belirtmiştir. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetlerinin oldukça az olduğunu ve yenilenebilir olduklarından dolayı tükenmeyecek ve ticari yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için de önemli bir tehdit oluşturmadığını belirtmiştir. Çalışmada her bir yenilenebilir enerji kaynağının Türkiye'deki potansiyelinden bahsederek, bu alana yapılacak yatırımların artırılması gerektiğini belirtmiştir.

I.1.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin ışınımından elde edilmektedir. Güneş enerjisi, fotovoltaik (güneş pili) ve güneş-termal elektrik adında iki büyük dönüştürme teknolojisi ile üretilebilir. Güneş pili dönüşümü doğrudan fotovoltaik (güneş pili) hücreesindeki güneş ışığından elektrik üretir. Güneş-termal elektrik, gelen bir güneş radyasyonunun enerjisini bir ısı taşıyıcıya toplayarak ve daha sonra ısı taşıyıcısının ısınıp elektriğe dönüştürerek üretilir (Kruger, 2006: 146). Daha sonra bu elektrik enerjisi invertörler ile alternatif akıma çevrilerek kullanılabilir hale gelmektedir.

Genel olarak, yenilenebilir enerji dört farklı pazarda yani elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma, ulaşım yakıtları ve kırsal / şebekeden bağımsız enerji hizmetleri fosil ve nükleer yakıtların yerini almaktadır. Yenilenebilir kaynakların genellikle

daha az kirlilik yaratma ve yurtiçinde kullanılabilir olma avantajlarını sunması söylenmektedir (Kubasek and Silverman, 2004: 258). Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir avantajı, yeşil enerji kaynakları olarak adlandırılarak kamuoyu tarafından kabul edilmesidir. Birçok çevreci, yenilenebilir enerjilerin geliştirilmesinde doğabilecek maliyet engellerinin yanında, neredeyse tamamen temiz, yenilenebilir bir enerji yakıtı dünyasını öngörmektedir. Büyük ölçekli bir dezavantajı ise, enerji yoğunluklu geniş ölçekli uygulamalarda kullanım için düşük enerji içeriğidir. Ayrıca, teknolojileri sermayeye yoğun, çoğu zaman yüksek inşaat maliyetleri ve düşük işletme maliyetleri ile fonun kullanılabilirliğine duyarlılık kazandırıyor.

2015 yılında küresel çapta güneş enerjisi ile 227 GW elektrik üretilmiştir. Güneş enerjisi gücü olarak en fazla kapasite sıralaması Avrupa, Asya ve Kuzey Amerika olarak gerçekleşmiştir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 14).

Türkiye’de 2010 yılına kadar evlerin çatılarında su ısıtma sistemleri olarak karşımıza çıkan güneş enerjileri günümüzde elektrik üretimi için de kullanılmaya başlanmıştır. 2015 yılında 249 MW elektrik üretimi yapılırken, 2016 yılında bu rakam 830 MW a kadar yükselmiştir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 20). 2018 yılı sonunda ise 5.607 MW kurulu güce ulaşılmıştır. Bu da Türkiye’nin sahip olduğu kurulu gücün %5,7 sine denk gelmektedir (EÜAŞ, 2018: 22).

Güneş enerjisi ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar şu şekildedir:

İncekara (2019), çalışmasında Kyoto protokolü ve iklim değişikliği sözleşmeleri gereğince, hava kirliliğini en aza indirecek şekilde elektrik üretim için planlama yapmayı amaçlamıştır. Bu amaçla enerji üretim maliyetini, sera gazı emisyonunu, ithal enerji miktarını minimize edecek ve enerji santrallerinin verimliliğini maksimize edecek bir matematiksel model önermiştir. Model ile 2018-2035 yılları arasında 18 yıllık bir enerji üretim planı oluşturmuştur. Model çözümü sonrasında Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını %77 oranında artırılabilceğini tespit etmiştir. Ayrıca yüksek talep enerjisi senaryosuna göre Güneş enerjisini %24,7, Rüzgâr enerjisinin %19,1, Hidrolik enerjinin %18,5 ve biyokütle enerjisinin %12,3 oranında kullanılabilceği sonucuna ulaşmıştır.

Dikmen (2019), çalışmasında Türkiye’de Güneş ve Rüzgâr enerjisi kullanılarak elektrik üretiminin sera gazı ve çevre maliyetlerine olan etkisini incelemiştir. Öncelikle Türkiye’deki elektrik üretiminin kaynak türlerine göre dağılımını inceleyen araştırmacı, daha sonra yenilenebilir enerji kaynakları ve sera gazı emisyonlarından bahsetmiştir. Çalışmasında 2017 yılında ithal kömür, taş kömürü, asfaltit, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi ile üretilen elektrik değerleri ile sera gazı emisyon değerlerini dikkate almıştır. Çalışma sonucunda güneş enerji santralleri ve rüzgâr enerji santrallerinin doğal gaz yakıtlı santrallere göre sırasıyla, %86,93 ve %96,74 oranında daha az sera gazı açığa çıktığını tespit etmiştir. Ayrıca çevre maliyeti açısından da güneş enerji santralleri ve rüzgâr enerji santrallerinin doğal gaz yakıtlı santrallere göre sırasıyla elektrik birim başına 171,5 € ve 185,1 € daha az maliyete sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çanka Kılıç (2015), çalışmasında güneş enerjisi, güneş enerjisinin Türkiye’deki son durumu, güneş enerjisi hakkında potansiyeller, üretim durumları, devlet tarafından sağlanan teşvikler, güneş enerjisi kullanım sahaları ve teknolojilerini incelemiştir. Türkiye’nin yıllık 380×10⁹ KW-saat güneş enerjisi potansiyeline sahip olduğunu belirten araştırmacı, Türkiye’de güneş enerjisinin ilk kez 2014 yılında kurulu güç olarak kullandığını açıklamıştır. Türkiye’de mevcut durumda yaklaşık 50 MW lisanssız güneş santralinin bulunduğunu da bildirmiştir. Türkiye’nin hemen hemen her bölgesinde verimli bir şekilde güneş enerjisinin kullanılabilmesinin mümkün olduğunu belirtirken, genellikle kullanım suyunun ısıtılması ve ısıtma ihtiyacının karşılanmasında destek bir yöntem olarak kullanıldığını açıklamıştır. Elektrik enerjisi kurulu gücü açısından, Türkiye’de 2013 yılında elektrik enerjisi kurulu gücünde 6948 MW’lık bir kapasite artışı gerçekleştirildiğini bildiren araştırmacı, 2002 yılında 300 adet olan elektrik enerjisi üretim santrali sayısının, 2013 yılı sonunda 907’ye, 2014 yılı sonuna doğru 1059’a yükseldiğine değinmiştir. Ticari ortamlarda bulunan Si fotovoltaiik hücrelerin yerini alabilecek, teknolojik açıdan daha kolay ve daha ucuz olan fotovoltaiik hücreler üzerinde önemli çalışmalar yapıldığını belirtmiştir. Bu çalışmalar ile, fotoelektrokimyasal çok kristalli titanyum dioksit hücreler, polimer yapılı plastik hücreler ve kuantum fotovoltaiik hücrelerin üretilmekte olduğunu bizlere aktarmıştır.

Altuntop ve Erdemir (2013), çalışmalarında Türkiye'deki güneş enerjisi ile ilgili gelişmelerden bahsetmişlerdir. Türkiye'de 2004 yılına kadar güneş enerjisinden ısıl uygulamalar için kullanım varken, 2004 yılından itibaren kullanımı gittikçe daha çok elektrik üretimi için kullanıldığını belirtmişlerdir. Özellikle lisanssız güneş enerji santrallerinin 0,5 MW kapasiteden 1 MW kapasiteye arttırılması ve YEK kanunu ile açıklanan fiyat ile 10 yıllık satın alma garantisinin verilmesi ile güneş enerjisinden elektrik üretimine olan ilginin arttığını söylemişlerdir.

Liang ve Liao (2007), çalışmalarında rüzgâr ve güneş enerji sistemleri için üretim planlama problemini ele almışlardır. Rüzgâr ve güneş enerji santrallerinde enerji üretimi için gerekli olan parametrelerin değerlerindeki belirsizliğine karşı en uygun üretim planını programlamak için bulanık küme optimizasyonunu kullanarak bir model önerisinde bulunmuşlardır. Önerdikleri model ışığında her birim için uygun bir programa ulaşıldığını belirtmişlerdir.

Atılğan (2000), çalışmasında Türkiye'nin enerji potansiyelini inceleyerek gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ile kıyaslamasını yapmıştır. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına olan talepleri ve bu enerji kaynaklarının üretimi konusunda bilgiler vermiştir. Ülkemizin yenilenebilir olmayan enerji kaynakları konusunda kapasitesinin neredeyse hiç olmadığını ancak buna karşın yenilenebilir enerji kaynakları açısından kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonucunda ikincil enerji kaynağı olan elektriğe olan ihtiyacın gitgide artacağını belirterek, bu yönde çalışmalara hız verilmesini önermiştir.

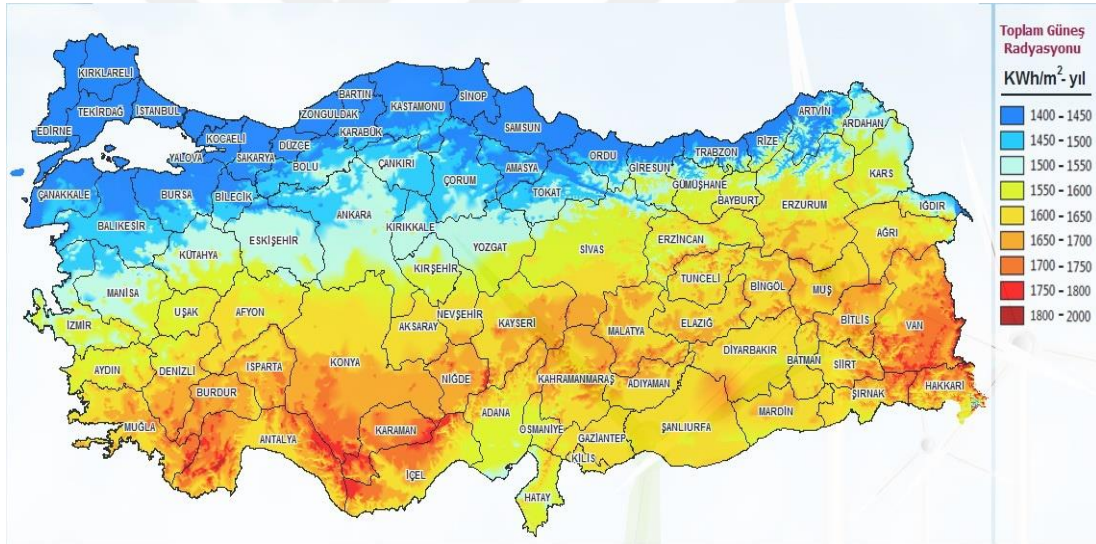
I.1.1.1.1. Güneş Enerji Sistemlerinin Verimliliğini Etkileyen Parametreler

Güneş panelleri çok sayıda güneş gözelerinin seri bağlantı ile bağlanmasıyla oluşturulur. Isı ve basınç yardımıyla birleştirilen bu gözeler, yalıtımlı olarak paketlenerek uzun yıllar (~20 yıl) etkili bir şekilde çalışır.

10 Temmuz 2012 tarih, 28349 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanan "Rüzgâr ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgâr ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ" ile güneş enerji santrali yapılması düşünülen alanda en az 6 ay süre ölçülmesi zorunlu olan parametreler şu şekildedir:

Global Radyasyon (Işınım): Yatay yüzeye düşen radyasyon miktarını ifade etmektedir. Güneşten çıkan ışınımın yeryüzüne direkt ve difüz olmak üzere iki farklı şekilde ulaşmaktadır. Güneşten çıkarak atmosfer üzerinde herhangi bir kırılmaya uğramadan doğrudan yeryüzüne ulaşan ışınım tipi “direkt radyasyon” olarak ifade edilir. Bulutlar, atmosferdeki parçacıklar, yeryüzü şekilleri gibi etmenler nedeniyle kırılmaya uğrayarak tekrar yüzeye ulaşan radyasyona ise “difüz radyasyon” olarak tanımlanmaktadır. Bu iki tip radyasyonun toplamı ise “global radyasyon” olarak adlandırılır. Radyasyon ölçüm cihazları ile ölçülen bu değer birimi W/m^2 dir. Enerji verimi hesaplamasında %100 etkili bir parametredir. Şekil-1’ de Türkiye’ deki 81 ile ilişkin radyasyon değerleri görülmektedir.

Şekil 1. Türkiye’nin Güneş Radyasyon Haritası



Kaynak: www.yegm.gov.tr

Güneşlenme Süresi: Yüze düşen direkt radyasyonun $1395 W/m^2$ den yüksek olan anların süresini ifade etmektedir (Kökey, 2013). Enerji verimi hesaplamasında %100 etkili bir parametredir. Şekil-2’ de Türkiye’ nin güneşlenme süre değerleri görülmektedir.

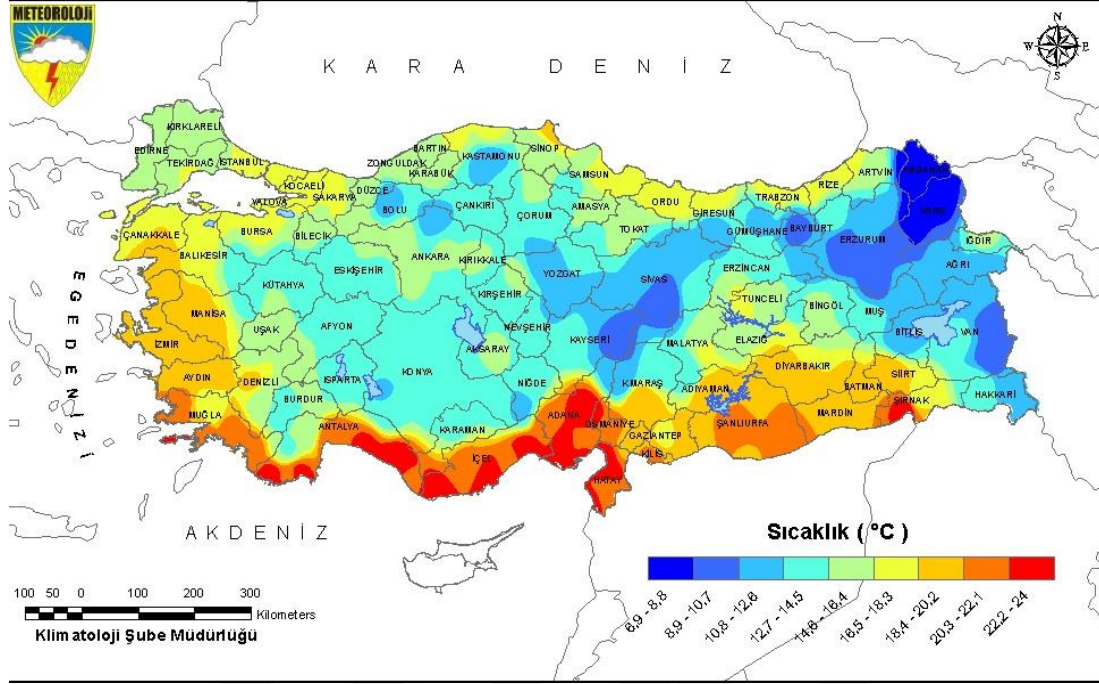
Şekil 2. Türkiye' nin Güneşlenme Süre Haritası



Kaynak: www.mgm.gov.tr

Sıcaklık: Santralin kurulacağı alana ilişkin sıcaklık değerini ifade eder. Kurulacak santralde kullanılacak PV panellerin ve inverter gibi ana ekipmanların verimlerine doğrudan etkiyen sıcaklığın değişimi, santralin enerji kazanım hesaplarının düşük belirsizlikle gerçekleştirilebilmesi için önemlidir. Hücre nominal çalışma sıcaklığına (NOCT) bağlı olarak çalışan panellerde 20 °C nin üzerindeki her 1 °C derece sıcaklık artışında verimlilik %0,30 – %0,65 oranında azalmaktadır. Aynı şekilde 20 °C nin altındaki her 1 °C derece sıcaklık azalışında ise verimlilik %0,30 – %0,65 oranında artmaktadır (Abd-Elhady vd., 2018; Vassel ve Iakovidis, 2017). Şekil-3' de Türkiye' nin sıcaklık değerleri görülmektedir.

Şekil 3. Türkiye'nin Sıcaklık Haritası



Kaynak: www.mgm.gov.tr

Bağıl Nem: Santralin kurulacağı alana ait bağıl nem değerleridir. Kurulacak ekipmanların nemden etkilenmemesi için bu parametreye dikkat edilmelidir. Ancak verimliliğe doğrudan etkisi bulunmamaktadır.

Rüzgâr Hızı: Güneş enerji santrali kurulacağı alana ilişkin rüzgâr hızı değerlerini ifade etmektedir. Kullanılması düşünülen mekanik yapının tasarlanması ve alandaki montaj şekline karar verilmesi için rüzgâr yükü hesaplarının gerçekleştirilebilmesi gereklidir. Ayrıca PV panellerde ve diğer ekipmanlarda oluşacak ısınmalara karşı soğutmaya faydası vardır. Hücre nominal çalışma sıcaklığına (NOCT) bağlı olarak çalışan panellerde her 1 m/s hız artışında verimlilik %1 – %3,5 oranında artacaktır (Kaldellis vd., 2014; Vassel ve Iakovidis, 2017; Yerli, 2011).

Rüzgâr Yönü: Santral alanında esen rüzgârın geliş açısını belirtmektedir. Rüzgâr yüklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Ancak verimliliğe doğrudan etkisi bulunmamaktadır.

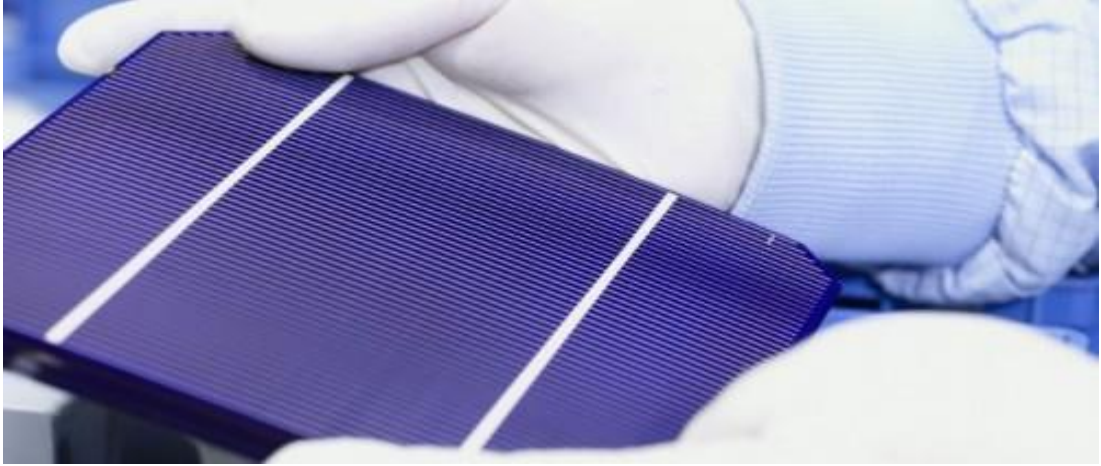
I.1.1.1.2. Güneş Pili Ekipmanları

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için bazı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar; fotovoltaik (PV) paneller, invertör, şarj regülatörü, akümülatör, tepe güç izleyici ve kurulum setleridir.

Güneş enerjisinden elektrik elde ediniminde kullanılan fotovoltaik (PV) panellerin 1' den çok çeşidi bulunmaktadır. Bunlar kısaca açıklanırsa;

- Monokristal güneş paneli: Güneş enerji panellerine bakıldığında en verimli güneş panelidir. Bu panel türü, küçük alanda oldukça çok enerji üretir. Ancak, monokristal güneş enerji panellerinin fiyatı diğer güneş enerji panellerine göre daha pahalıdır. Monokristal güneş paneli hücrelerinin verimliliği yaklaşık %24' dür. Bu verimlilik diğer güneş enerji panellerinin verimliliğine göre çok fazladır. Bu güneş enerji panellerinin kullanım ve elektrik üretim ömrü diğerlerine kıyasla daha uzundur. Ayrıca, bu paneller sıcak iklimlerde daha verimli çalışabilmekteyken, gölgelenme durumlarından olumsuz etkilenebilmektedir. Şekil-4' de monokristal güneş paneli görülmektedir.

Şekil 4. Monokristal Güneş Paneli Hücresi



Kaynak: www.enerjibes.com

- Polikristal güneş paneli: Gerek verim, gerekse de birim maliyeti açısından oldukça dengeli olan bu panel fiyatı en ucuz olan güneş panelidir. Güneş enerji santralının çoğu, polikristal güneş panelleri kullanılarak yapılmaktadır. Kurulu olan

güneş enerji santrallerinin %68 den fazlasında polikristal güneş pilleri kullanmaktadır. Polikristal pil tipinin monokristale pil tipine göre havadaki ısı değişimlerinden oldukça az etkilendiği söylenmektedir. Bu güneş pillerinin verimliliği ise yaklaşık %15' dir. Polikristal güneş panelleri, oldukça fazla alan kaplamakta ve buna karşın daha az enerji üretmektedir. Şekil-5' de polikristal güneş paneli görülmektedir.

Şekil 5. Polikristal Güneş Paneli Hücresi



Kaynak: www.enerjibes.com

- İnce film güneş paneli: Güneş enerjisinden elektrik üretiminde en az kullanılan panel tipidir. Bu güneş panel tipinin tercih edilmemesindeki en büyük sebep ise verimlerinin oldukça az olmasıdır. İnce film güneş pilleri, çok fazla yer kaplamaktadır. Bu kadar fazla alan kaplamasına rağmen verimliliği sadece %7 civarındadır. Bu gerçekten kabul edilebilecek bir verimlilik oranı değildir. Ancak bu güneş panellerin tercih edilme sebebi çok şık bir görüntüye sahip olmalarıdır. Daha çok tasarım için tercih edilmekte olduğu söylenebilir. Ayrıca, aşırı ısı değişimlerinden ve gölgelenme gibi durumlardan çok fazla etkilenmez. Şekil-6' da ince film güneş paneli görülmektedir.

Şekil 6. İnce Film Güneş Paneli Hücresi



Kaynak: www.enerjibes.com

- Esnek güneş paneli: Çok fazla kullanım alanına sahip bir güneş panelidir. Bu güneş pilleri oldukça esnek bir yapıdadır. Bu esneklik sayesinde kırılmaz ve çok dayanıklıdır. Esnek güneş pilleri hem monokristal hem de polikristal yapıda olabilmektedir. Bu sebeple, verimliliği de değişmektedir. Bu panellerin alüminyum çerçevesi ve temperli camları olmadığından esnek ve hafiftir. Ayrıca, uygulama açısından kubbe ve eğimli çatılar için çok idealdir. Kurulacağı zeminin düz olmasına ihtiyaç yoktur. Kullanım alanı olarak otobüs durakları, eğimli fabrika çatıları, eğimli otopark gölgelikleri, camiler vb. yerler için tercih edilebilir. Şekil-7' de esnek güneş paneli görülmektedir.

Şekil 7. Esnek Güneş Paneli Hücresi



Kaynak: www.enerjibes.com

- Saydam güneş paneli: Enerji tesislerinde kullanılan güneş panellerine göre 40-50 kat daha fazla verimli olduğu söylenmektedir. Yani çok küçük alanda, oldukça yüksek derecede elektrik üretim verimine sahiptir. Saydam güneş panelleri, herhangi bir cam yüzeye sprej gibi sıkılıp, cam yüzeyde boşluk kalmaksızın tamamen bu sıvı ile kaplanarak uygulanmaktadır. Bunlara ek olarak, gölgelenme durumlarından neredeyse hiç etkilenmemektedir. Önümüzdeki yıllarda, saydam güneş panelinin üretimi ve kullanımının artması beklenmektedir. Şekil-8’de saydam güneş paneli görülmektedir.

Şekil 8. Saydam Güneş Paneli Hücresi



Kaynak: www.khosann.com

Diğer ekipmanlar ise şu şekilde tanımlanabilir;

İnvertör: Güneş enerjisi kaynaklarının ürettiği doğru akımı (DC) alternatif akıma yani şebeke akımına dönüştüren, sistemin belki de en önemli parçasıdır. Paneller tarafından üretilen 12V veya 24V DC gerilimi 240V AC gerilime çevirmeye yarayan bu invertörlerin gücü kurulacak sistemin gücüne uygun olarak seçilmelidir. Şekil-9' da invertör görülmektedir.

Şekil 9. İnvertör



Kaynak: www.ece.com

Şarj Regülatörü: Şebekelere bağımsız olarak kullanılan bu ekipman, Güneş enerjisinden sağlanan yüksek gerilimi, istenilen gerilime düşürmeye yarayan üründür. Ürün seçimi, verim katsayılarına göre yapılmalıdır. Şekil-10' da şarj regülatörü görülmektedir.

Şekil 10. Şarj Regülatörü



Kaynak: www.akdemirsolar.com

Akümülatör: Her alanda kullanılan bu ekipman, elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek depo eder. Gerek duyulduğunda bu kimyasal enerjiyi tekrar elektrik enerjisine dönüştürerek kullanıma verir. Enerji santrallerinde kullanılan aküler genellikle kurşun-asit aküsüdür ve bu aküler tekrar tekrar dolup boşalmaya dayanıklıdır. Zehirli gazlar yayabilen bu aküler yaşam alanları içinde yer almaması gerekmektedir. Şekil-11' de akümülatör görülmektedir.

Şekil 11. Akümülatör



Kaynak: www.elektrikrehberiniz.com

Tepe Güç İzleyici: Bir PV hücresi üzerine düşen ışınım miktarı hücreden elde edilecek güç miktarını belirlemektedir. Bu güç ışınım miktarı ile doğru orantılıdır. Güneş panellerinin üretebileceği maksimum güç, tepe gücü (peak power) olarak adlandırılır. Birimi ise watt-peak (Wp)'dir. Her fotovoltaik panelin nominal ortam sıcaklığında (NOCT) üreteceği tepe gücü miktarı bellidir.

Kurulum Setleri: Fotovoltaik panellerin çatılar, otobüs durakları, güneş tarlaları vb. gibi uygulama alanlarında yerleşimi için ihtiyaç duyulan yapılardır. Günümüzde, sabit ve izleyici olmak üzere 2 çeşit kurulum seti mevcuttur Şekil-12' de sabit ve izleyici kurulum setleri görülmektedir.

Şekil 12. Sabit ve İzleyici Kurulum Seti



Kaynak: www.wanhossolars.com; www.cresesb.cepel.br

I.1.1.1.3. Güneş Enerjisi Santrali Yatırım ve İşletim Maliyeti

Güneş enerjisi santrali yatırımlarının maliyeti, ilk kurulum maliyeti ve işletim – bakım maliyetlerinin toplamı olarak gösterilebilir. İlk kurulum maliyeti fotovoltaik(PV) paneller, invertör, şarj regülatörü, akümülatör, tepe güç izleyici, kurulum setleri ve diğer ekipman maliyetlerinin yanı sıra arazi ve inşaat maliyetlerinin toplamıdır. Bu maliyetlerin %40' ını tek başına fotovoltaik paneller oluşturmaktadır. İşletim – bakım maliyetini, tüm ekipmanların bakım ve temizliği gibi bazı kalemlerden oluşmaktadır.

2017 yılında ihalesi tamamlanan Konya' nın Karapınar ilçesinde kurulacak olan Güneş enerji santralinin maliyeti, 2011 yılında Mevlana Kalkınma Ajansı tarafından yaptırılmış olan fizibilite raporuna göre;

Arazi hariç ilk yatırım maliyeti	: 2,3 €/watt
Yıllık işletim ve bakım maliyeti	: 0,015 €/watt
Yıllık arazi kira maliyeti	: 0,016 €/m ² (1 MW'lık PV yatırımı için gerekli alan 14.000 m ² dir)

Örnek olarak 1 MW'lık bir santralin maliyeti toplam olarak:

İlk yatırım maliyeti	: 2,3*1.000.000 = 2.300.000 €
20 yıllık işletim ve bakım maliyeti	: 0,015*1.000.000*20 = 300.000 €
20 yıllık kira maliyeti	: 0,016*14.000*20 = 4.480 €
20 yıllık toplam maliyet	: 2.604.480 € (yaklaşık olarak 16.000.000 ₺)

olarak hesaplanmıştır.

I.1.1.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi, rüzgâr türbinini bulanan bir rüzgâr kulesi çevirici şaftında bir çark pervanesini döndüren atmosferik rüzgâr enerjisi ile sağlanır (Kruger, 2006: 150). Rüzgâr enerjisinin sorunlarından biri, sistemin birbirine karışmasını önlemek için türbinlerin geniş aralıklarla yerleştirilmesi gerektiği için sistemin geniş araziler gerektirmesidir. Buna ek olarak, jeneratör alanları gürültü yaratmakta ve bazı insanlar tarafından estetik görünmemektedir. Çevreciler ve bilim insanları, kuşları öldürebilecek hızla dönen yel değirmeni bıçakları hakkında endişe duymaktadırlar. Rüzgâr enerjisinin önemli bir avantajı ise, oldukça ucuz elektrik sağlamasıdır.

2016 yılı itibariyle küresel olarak 486 GW elektrik rüzgâr enerjisi kullanılarak üretilmiştir. Dünya çapında kurulu güç olarak ilk sırada Çin(168GW) gelirken onu ABD(82GW) ve Almanya(50GW) izlemektedir. Ayrıca Danimarka'da toplam üretimin yarısı yine bu enerji türü ile üretilmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 16).

Türkiye'de rüzgâr hızı ortalama olarak 7,5 m/s olarak tespit edilmiştir. Bu değere bakıldığında Türkiye birçok ülkeye göre oldukça önemli bir özelliğe sahip

olduğu görülmektedir. Nitekim Türkiye’de rüzgâr enerjisi 2006 yılında 56 MW’ lık güç kapasitesine sahipken bu gç 2016 yılında 6.081 MW’ a çıkmıştır (Karagöl ve Kavaz, 2017: 23). 2018 yılı sonunda ise 7.005 MW kurulu güce ulaşılmıştır. Bu da Türkiye’nin sahip olduğu kurulu gücün %7,9 una denk gelmektedir (EAş, 2018: 22).

Rüzgâr enerjisi ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar şu şekildedir:

Mahdy ve Bahaj (2018), çalışmalarında açık deniz rüzgâr enerjisinin potansiyelini değerlendirmede eksiklikler olduğunu düşünerek yeni bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntem ile yenilenebilir enerji kapasitesinin 2020 yılına kadar 1 GW dan 7,5 GW a çıkarmayı planlamışlardır. Deniz rüzgarını kullanarak planladıkları yöntemde Mısır’daki en uygun yeri çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Proses ile belirmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda en uygun yerleri gösteren bir harita belirlemişlerdir.

Bilgili vd. (2010), çalışmalarında Türkiye’nin güney, güneybatı ve batı bölgelerinde yer alan 9 istasyona ait rüzgâr enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Araştırmalarında yer alan rüzgâr hızlarına göre enerji potansiyellerini Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonları ile WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılarak incelemişlerdir. Weibull dağılımına göre modellenen ve WAsP ile elde edilen çözümlerin Rayleigh modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, ele alınan istasyonların rüzgâr enerji potansiyellerinin yüksek bulunduğu ve rüzgâr türbini kurulması için uygun bölgeler olduğunu ifade etmişlerdir.

Özgener (2002), çalışmasında Türkiye’de ve Dünya’da rüzgâr enerjisi kullanımı hakkında bilgiler sunmuştur. Dünyadaki rüzgâr enerjisi kurulu gücünün yaklaşık olarak 18000 MW olduğunu belirtirken, her yıl da 3500 MW lık bir artışın söz konusu olduğunu söylemiştir. Türkiye’nin sahip olduğu rüzgâr enerjisi teknik potansiyelinin karada 110 milyar kWh, deniz üstünde ise 180 milyar kWh olarak hesaplandđını aktarmıştır. Ayrıca 1998 yılı sonu itibariyle faaliyette olan ve faaliyete geçmek için gerekli adımların beklendiği rüzgâr enerjisi santralleri hakkında da bilgi vermiştir. Çalışma sonunda fosil yakıtlardan tüketen santrallerin

olası ve mevcut zararlarından bahsederken, yenilebilir enerji kaynaklarının ve özellikle rüzgâr enerjisinin ne kadar olumlu olabileceği hakkındaki bilgileri sunmuştur.

I.1.1.3. Hidrolik (Su) Enerji

Hidroelektrik enerji, akan su ile enerji üretme işlemidir. Hareket eden (düşen) sudaki enerji, jeneratöre bağlı bir türbinin dönmesi için kullanılır (Kruger, 2006: 140). Elektrik üreten iki temel hidroelektrik çeşidi vardır. Birincisi; barajlar tarafından oluşturulan rezervuarlarda biriken akan sudan oluşmaktadır. Su, oluklar vasıtasıyla kontrollü bir debide düşer ve elektrik üretmek için jeneratörü çalıştıracak olan türbin kanatlarına baskı uygular (Kruger, 2006: 141). İkincisi ise, nehirden geçen elektrik santralleridir. Burada, nehir suyu düşük seviyeli baraj ya da oluklar kullanılarak tribünlere yönlendirilir ve daha sonra tribünler ile elektrik üretilir. Baraj, bir rezervuarda çok fazla su depolamaz. Akarsu (nehir) elektrik santralleri, depolardaki suyu pompalar ile yönlendiren santrallere kıyasla nehir akıntılarında daha bağımlıdır, çünkü akarsu (nehir) akıntıları düşük olduğunda bile elektrik üretebilirler (EIA, 2010, Energy explained – electricity environment).

Hidrolik enerji, çevre açısından daha temiz enerji kaynakları arasında sayılmaktadır. Ucuzdur, hava kirliliği yaratmaz ve en popüler yenilenebilir enerji kaynağıdır (Kruger, 2006).

2015 yılında Dünya’da hidrolik enerji ile yaklaşık olarak 1.064 GW enerji üretilmiştir. Bu değer, küresel elektrik enerjisinin %16,4 üne denk gelmektedir. Hidrolik enerji kullanarak en fazla elektrik üretimi yapan ülke Çin olmuştur. Türkiye’de ise bu üretim 19.558 MW’ ı barajlı ve 7.123 MW’ ı da akarsu olmak üzere toplam 26.681 MW olarak gerçekleşmiştir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 13). 2018 yılı sonunda ise 28.296 MW kurulu güce ulaşılmıştır. Bu da Türkiye’nin sahip olduğu kurulu gücün %32 sine denk gelmektedir (EÜAŞ, 2018: 22). Bu son rakamlar Türkiye’nin elektrik üretiminde büyük payın hidrolik enerjiye ait olduğunu göstermektedir.

Türkiye’de enerji açısından en yüksek potansiyele sahip enerji türü, hidrolik enerjidir. Hammaddesi su olan hidroelektrik sistemler (HES) yenilenebilir enerji kaynaklarına göre oldukça düşük bir maliyete sahiptir. Bu enerji türü, yüksek fiyatlı elektriği ucuza üretme imkânı da sunmaktadır. Ülkemizdeki elektrik üretimine en fazla katkı yapan bu enerji türü %100 yerli ve yenilenebilir bir kaynaktır (Karagöl ve Kavaz, 2017: 20).

Hidrolik (su) enerjisi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Ürker ve Çobanoğlu (2012), çalışmalarında çevre politikaları bağlamında hidroelektrik santrallerin durumunu incelemişlerdir. Türkiye’deki artan enerji talebinin karşılanması için HES kurulumu için büyük bir yönelimin bulunduğunu ifade etmişlerdir. Ancak “4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu” ile bu Kanuna istinaden çıkarılan “Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği” ve “Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik” ile birlikte enerji şirketlerinin yanı sıra gıda ve medikal şirketleri hatta spor kulüpleri gibi alanında uzman olmayan tüzel kişiliklerin de HES kurduğunu tespit etmişlerdir. Bu durumun uzun vadede çevreye vereceği zararlardan bahsetmişlerdir. Çalışma sonunda suyun tüm yaşam ve ekosistemler için vazgeçilemez olduğunu ve toplum faydasına için doğal bir kaynak olduğunu belirtmişlerdir. Bu hususta suyun tasarruflu kullanılması ve gelecek nesillere aktarılması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca su döngüsünün bozulmasına sebep olabilecek herhangi bir yatırıma izin verilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Şekkel ve Keçecioglu (2011), çalışmalarında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları arasında daha fazla öneme sahip olan hidroelektrik santrallerin gelişimini ele almışlardır. Ayrıca Dünya, Türkiye ve Kahramanmaraş’taki santrallerin durumları hakkında bilgi vermişlerdir. Dünya’da 759,6 GW, Türkiye’de 14300 MW kurulu gücün olduğunu belirtirken, Kahramanmaraş’ta ise HES ile 800 MW lık kurulu gücün olduğunu aktarmışlardır. Ayrıca Dünya’da 571 GW lık, Türkiye’de 29900 MW lık ve Kahramanmaraş’ta 508 MW lık planlanmış ve inşa halinde HES olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonunda Kahramanmaraş’taki kurulu

gücün Türkiye'deki kurulu gücün %5,59 unu oluşturduğunu ve hidroelektrik enerji üretimine katkısının iyi bir konumda olduğunu sunmuştur.

Akpınar (2005), çalışmasında küçük akarsularda kullanılabilir olan nehir tipi hidroelektrik santrallerinin potansiyelini coğrafi bakış açısıyla araştırmıştır. Bilgi edinimi için Tortum çayı üzerine kurulacak olan Esendurak hidroelektrik santraline ait verileri kullanmıştır. Çalışma bulgularında Karadeniz ve Akdeniz havzalarında nehir tipi santraller için önemli bir potansiyelin bulunduğunu belirtmiştir. Türkiye'deki 62 tane bu tip santralden elde edilen elektriğin hidroelektrik üretimindeki payının %12 de kaldığını aktarmıştır. Bu oranın yükseltilmesi ile enerji üretimindeki bağımlılığın azaltılabileceğini belirtmiştir.

I.1.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, yeryüzünün altında gömülü olan ısı enerjisinden gelmektedir. Isı, kayalar üzerine ya su ya da düşük kaynar bir sıvı enjekte edilerek yakalanır. Elde edilen ısı daha sonra kullanılır. Doğada sağlanan dört termal ısı yatağı türü vardır. Bunlar, hidrotermik, petro termik, jeo basınçlı ve magma yataklarıdır (Kruger, 2006, p 164). Jeotermal enerjinin en yaygın biçimi, hidrotermik enerjidir.

2015 yılında dünya çapında jeotermal enerji toplam 13,2 GW olarak üretilmiştir. ABD (3.567 MW) jeotermal enerji kapasitesi bakımından küresel çapta ilk sırada yer alırken, onu Filipinler (1.930MW), Endonezya (1.345MW) ve Meksika (1.069MW) izlemektedir.

Genel kapasiteye bakıldığında 2015 yılında dünya sıralamasında Türkiye (637MW) sekizinci sırada yer almasına rağmen kapasite artışı açısından ilk sırada yer almaktadır. Bu artış dünyadaki 315 MW'lık artışın hemen hemen yarısına denk gelmektedir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 17).

Jeotermal enerji ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar şu şekildedir:

Çanka Kılıç ve Kılıç (2013) çalışmalarında Türkiye'nin jeotermal enerji kapasitesi açısından dünyada 12. sırada olduğunu ancak 2012 yılı sonları itibariyle elektrik üretiminin birincil enerji kaynakları içerisindeki payının %0,3 olduğunu belirtmişlerdir. Ülkemizde jeotermal enerji kullanımının genellikle bölgesel ısıtma

olarak kullanıldığını bildirmişlerdir. Ayrıca jeotermal enerji sistemlerinin, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin ucuz olması, çevreye duyarlı olması ve dışa bağımlılığın olmamasının en büyük avantajları olarak aktarmışlardır. Çalışma sonucunda yerli ve yabancı yatırımcıların ilgisini çekmesi açısından gerekli teşviklerin yapılması gerektiğini söylemişlerdir.

Külekçi (2009) çalışmasında jeotermal enerjiyi tanıtır, çevre ve Türkiye açısından öneminden bahsetmiştir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanlarından olan sera ısıtması, bölge ısıtması, endüstriyel kullanım, tarımsal ürün kurutma, soğuk ve kar çözme ve termal turizmden bahsetmiştir. Dünya geneline jeotermal enerjinin potansiyel alanlarına kısaca değinmiş olup, Türkiye'deki jeotermal enerjinin elektrik gücü potansiyelinin 4500 MW, ısıtma potansiyelinin ise 31500 MWt olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Türkiye'de 195 adet kaplıcada sağlık amaçlı kullanıldığını, ısı ve kaplıca uygulaması açısından Türkiye'nin 2000 yılında Dünya'da 5. sırada yer aldığından bahsetmiştir. Jeotermal enerjinin çevre açısından etkisinden de bahseden araştırmacı çalışmanın sonunda jeotermal enerjinin düşük maliyetle üretildiğini ve doğa dostu olduğunu belirtmiştir.

Arslan vd. (2001) çalışmasında Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli açısından Dünya'da 7. sırada olduğunu belirtmiştir. MTA verilerine dayandırarak Türkiye'de 170 jeotermal sahanın sıcaklığının 35-40 °C nin derece üzerinde olduğunu bildirmiştir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin 31500 MWt olduğun tahmin edildiğini, elektrik üretimi için kurulu gücün ise 20,4 MW olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonucunda muhtemel jeotermal enerji potansiyelin yalnızca %3' ünün değerlendirildiğini aktarmıştır. Bu sebeple enerji ihtiyacımızın karşılanması için jeotermal enerjinin kullanımının teşvik edilip, yasal çalışmaların yapılmasının gerekli olduğunu ifade etmiştir.

I.1.1.5. Biokütle Enerjisi

Biyokütle tarım ürünlerinden meydana gelmektedir. Basit olarak; enerji üretmek için organik maddenin yakılması gereklidir. Dünya üzerindeki en eski enerji kaynaklarından biridir. Biyokütle enerjisi, güneş enerjisi dağıtımının fotosentez kısmından kaynaklanır ve tüm bitki yaşamını (karasal ve deniz), besin zincirindeki

tüm türleri ve tüm organik atıkları içermektedir (Kruger, 2006 p. 158). Biyokütle kaynakları; çok çeşitli ahşap biçimler, bitki formları, atık formlarıdır, bunlarda; kereste, kağıt fabrikası atıkları, gıda hurdaları, çim, yaprak, kağıt, belediyeye ait katı atıktaki ahşaplar (çöp); ormancılık ve ahşap cipsi, mısır koçanı ve buğday tozu gibi tarım kalıntılarıdır (Kruger, 2006: 158; EIA, 2010). Bu malzemeler doğrudan buharlı elektrik santrallerinde yakılabilir veya gazla dönüştürülebilir. Daha sonra buhar jeneratörleri, gaz türbinleri veya içten yanmalı motor-jeneratörleri ile yakılarak elektrik haline dönüştürülebilir. Biyokütlenin temel özelliği, şeker, nişasta, selüloz, hemiselüloz, lignin, reçineler ve tanenler gibi kimyasal bileşimidir (Kruger, 2006: 158).

Biyokütle genelde güç ve / veya ısı üretmek için kullanılır ve bazıları nakliye için sıvı biyoyakıt haline dönüştürülür. Fosil yakıtların aksine yetiştirilen yakıtları kullanmanın temel avantajı, yakıldıkları esnada ortaya çıkan ve önemli bir sera gazı olan yanıcı karbon dioksiti büyürken emmeleridir. Biyokütleden elektrik üretmek için kullanılan teknolojiler, katı biyokütle, belediye organik atıklar, biyogaz ve sıvı biyoyakıtların (kömür veya doğal gaz ile) direk yakma veya birlikte yakmadır. Depolanan metan gazı, çöp gazı veya katı maddeyi gaz haline dönüştüren cihazlar mevcut biyokütle projelerinin bazı örnekleridir. Biyokütle enerjisinin en önemli sorunu; ev ve işletmelerdeki çöplerin organik ve inorganik atık maddeler olarak ayrılmasını sağlayamamaktır (Kruger, 2006).

Türkiye’de biyokütle enerji diğer enerji kaynaklarına göre oldukça geri planda kalmaktadır. 2016 yılında biyokütle enerji üretimi 467 MW olarak tespit edilmiştir (Karagöl ve Kavaz, 2017: 25).

Biokütle enerjisi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalardan bazıları şu şekildedir:

Karayılmazlar vd. (2011) çalışmalarında biyokütle yetiştiriciliği, ülkemizdeki potansiyeli ve önemini ele almışlardır. Biyokütle enerjisi üretiminin diğer kaynaklara göre üstünlüklerini; sera gazı emisyonu ve iklim değişikliğini yavaşlatma, toprak, su ve besin koruma, peyzaj değeri oluşması, sürekli iş imkânı, devlete ekonomik ve siyasal avantaj sağlama olarak ifade etmişlerdir. Türkiye’nin biyokütle potansiyelinin

8,6 Mtep seviyesinde olduğunu, bunun 6 Mtep' inin ısınma amaçlı kullanıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, 63 MW işletme halinde, 24 MW inşa halinde kurulu gücün bulunduğunu belirtmiştir.

Kurt ve Koçer (2010) çalışmalarında biyokütlenin hem sahip olduğu mevcut potansiyel hem de üretim teknolojileri bakımından potansiyelini araştırmışlardır. Malatya ilini ele alarak yapılan çalışmalarda 1,5 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) biyokütle potansiyeli olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonunda yenilebilir enerji kaynakları arasında bulunan biyokütle enerjisinin etkinliği ve enerji açığı karşılamadaki önemi vurgulanmıştır. Ayrıca biyokütle materyallerinin miktarlarının yıllık olarak belirlenmesinin gerektiğini belirtmişlerdir.

Topal ve Arslan (2008) çalışmalarında sürdürülebilir, kolaylıkla bulunabilir ve çevre üzerinde olumsuz etkisi olmayan biyokütle enerjisi ve Türkiye açısından önemini ele almışlardır. Türkiye'de eski tarihlerde klasik yollarla üretilen bu enerji türünün modern yöntemlerle üretilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Türkiye'nin ekonomik biyokütle enerjisi potansiyelin 40Mtep/yıl olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonunda biyokütle bakımından ülkemizin zengin olduğunu belirtirken, kaynağın geliştirilmesi için yeterli ve çevresel olanaklara sahip olduğunu söylemiştir. Ayrıca enerji açısından dışa bağımlılığı azaltmak için, enerji ormancılığı ve tarımına geçilmesi, atıklardan biyoyakıt elde edilmesi için teknolojik geliştirmeler, gübreler, atıklar ve çöplerden elde edilecek biyogaza gerekli önemin verilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

I.1.1.6. Dalga Enerjisi

Okyanus veya deniz dalga enerjisi doğrudan yüzey dalgalarından veya yüzeyin altındaki basınç dalgalanmalarından yakalanır. Dalgalar, okyanus veya deniz yüzeyinde esen rüzgârlardan kaynaklanır. Dünyanın birçok yerinde, rüzgâr kıyı boyunca sürekli dalgalar sağlamak için yeterli tutarlılık ve kuvvetle esmektedir. Okyanus veya deniz dalgaları muazzam enerji potansiyeline sahiptir. Dalga güç aygıtları, okyanus veya deniz dalgalarının yüzey hareketinden veya yüzeyin altındaki basınç dalgalanmalarından enerji çıkarır.

Günümüzde geliştirilen ve test edilen dalga enerjisi cihazları son derece çeşitlidir ve dalgadan enerjiyi yakalamak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Daha umut verici tasarımlardan bazıları ticari ölçeklerde test yapmaktadırlar. Dalga teknolojileri kıyıda, denizde ve uzak deniz bölgelerinde kurulacak şekilde tasarlanmıştır. Dalga enerjisi teknolojileri suyun yüzeyine kurulması düşünülürken, teknik konseptleri ve tasarımlarında büyük farklılıklar olabilir. Örneğin, yönlendirmelerinde dalgalara veya dalgalar arasından enerjiyi dönüştürme biçiminde farklılık gösterebilirler. Dalga güç teknolojileri gelişmeye devam etmekle birlikte, Dış Kıta Sahanelığına kurulum için uygun olan dört temel uygulama vardır. Bunlar; nokta soğurucular, zayıflatıcılar, kaldırma tertibatı ve sonlandırıcılar biçimindedir.

Sonlandırıcı cihazları dalganın yönüne dik olarak uzanır ve dalganın gücünü yakalar veya yansıtırlar. Bu cihazlar tipik olarak karada veya deniz kıyısında yer almaktadır. Buna karşın, yüzer sürümler denizaşırı uygulamalar için tasarlanmıştır. Salımlı su sütunu, suyun altına bir odaya giren ve havayı üstte tutan bir sonlandırıcı türüdür. Dalga hareketi, yakalanan su kolununun bir piston gibi yukarıya ve aşağıya hareket etmesine neden olur ve havanın bir türbine bağlı bir açıklıktan güç üreteceği şekilde zorlar. Bu cihazlar, genellikle dalga iklimine ve cihaz boyutlarına bağlı olarak 500 kW ila 2 MW'lık güç değerlerine sahiptir.

Zayıflatıcılar dalgaların yönüne paralel olarak yönlendirilmiş uzunlamasına çok bölümlü yüzen yapılardır. Dalgalara bir gemi gibi binerler, aygıtın yayında ve boyu boyunca sınırlar kullanarak enerji çıkarırlar. Aygıtın uzunluğu boyunca dalgaların farklı yükseklikleri, bölümlerin bağlandığı yerlerde bükülmeye neden olur. Dalgalar hareket ederken güç üretmek için bölümler hidrolik pompalara veya başka dönüştürücülere bağlanır. Ünitenin burnundaki bir transformatör, kıyı şanzımanının voltaj-voltajını yükseltir. Güç, bir göbek bağı kablosu ile deniz dibindeki bir bağlantı kutusuna gönderilir ve diğer parçaları da diğer makinelere kıyıya ortak bir denizaltı kablosu ile bağlar.

Bir nokta soğurucu, dalga hareketinden ötürü birbirine göre hareket eden bileşenleri olan (örneğin, sabit bir silindirin içindeki yüzer şamandıra) yüzen bir yapıdadır. Nokta emiciler genellikle yüzen oşinografik (denizbilimsel) şamandıralara

benzerler. Onlar, enerji dönüşüm için tek bir noktada dalga yüksekliğinin yükselişini ve düşüşünü kullanırlar. Geçen dalgaların neden olduğu aşağı yukarı salınım hareketi elektromekanik veya hidrolik enerji dönüştürücüleri güç üretmek için kullanmaktadır.

Aşırı darbeli aygıtlar, gelen dalgalarla doldurulan ve bir baraj gibi hafif bir su basıncına neden olan rezervuarlara sahiptir. Su daha sonra serbest bırakılır ve yerçekimi okyanusa geri akmasına neden olur. Düşen suyun enerjisi, hidro türbinleri güç üretmek üzere döndürmek için kullanılır. Özel olarak inşa edilmiş yüzer platformlar dalgaları dâhili türbinler vasıtasıyla ve sonra da denize geri göndererek elektrik üretebilir (<https://www.boem.gov>, 2017).

Dalga enerjisi ile ilgili literatürde yer alan birkaç çalışma ise şu şekildedir:

Yeşilyurt ve arkadaşları (2017) Türkiye'de dalga enerjisi potansiyeli ve Türkiye'de dalga enerjisinin değerlendirilmesi için uygun yerleri belirlemeye çalışmışlardır. Dalga enerjisi ve teknolojilerinden bahseden araştırmacılar daha sonra bölgelerin dalga enerji kapasitelerini belirtmişlerdir. Çalışma sonunda dalga yüksekliği ve kuvvetli rüzgâr düzenlerine sahip olan Karadeniz havzası ve Güneybatı Akdeniz bölgesinin dalga enerjisi için en uygun bölgeler olduğunu belirtmişlerdir.

Sağlam ve arkadaşları (2010) çalışmalarında dalga enerjisinin Türk Enerji Programına entegre edilmesi için mevcut potansiyelini incelemişlerdir. Türkiye'nin üç tarafının denizlerle çevrili olduğuna dikkat çekerek dalga enerjisi tesislerinin kuruluş yeri için en iyi bölgeleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Dalga enerjisi kaynaklarının yaklaşık olarak yıllık 10 TWh potansiyele sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Bu potansiyel gücün Türkiye'deki mevcut hidroelektrik enerji potansiyelinin %7,8 ine denk geldiğini belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda İstanbul Boğazının kuzeyi, Batı Karadeniz bölgesi ve Ege Denizi'nin güneybatı kıyılarında yer alan Marmaris ve Finike arasındaki bölgelerin dalga enerji santrali kuruluş yeri için en uygun bölgeler olacağını önermişlerdir.

Örer ve arkadaşları (2003) çalışmalarında dalga oluşumu, dalga enerjisi ve dalga enerji tesisleri hakkında bilgiler sunarak Türkiye'nin potansiyel gücünü

değerlendirmişlerdir. Ayrıca dalga enerjisi santral tiplerini de anlatmışlardır. Dalga enerjisi tesislerinin ya açık deniz ya da kıyıya inşa edildiğini belirterek, kıyıya yakın yerlerde inşa edilen tesislerin hem daha yüksek verim edildiğini hem de daha düşük maliyetle enerji üretilebileceğini aktarmışlardır. Yaptıkları analizlerde İzmir (Çeşme) de ortalama dalga gücünün 7,16 ile 39,66 kW/m olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak Karadeniz bölgesinin farklı tip kıyı şekline sahip olması sebebiyle ortalama dalga gücünün daha yüksek olabileceğini de belirtmişlerdir. Çalışma sonunda Türkiye'nin batı ve kuzey kıyılarının dalga enerjisi için oldukça yüksek bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bu kıyılarda Tip 2a (Tapchan) ve Tip 3a (sabit OWC) sistemlerinin kurulmasının uygun olacağını söylemişlerdir.

I.1.1.7. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen en basit elementtir. Bir hidrojen atomu sadece bir proton ve bir elektrondan oluşur. Aynı zamanda evrendeki en bol elementtir. Basitliği ve bolluğu olmasına rağmen, hidrojen dünyada bir gaz olarak doğal olarak oluşmaz - bu da her zaman diğer elementlerle birleştirilir. Örneğin; su, hidrojen ve oksijenin (H₂O) birleşimidir.

Hidrojen birçok organik bileşimde, özellikle de benzin, doğalgaz, metanol ve propan gibi yakıtlarımızı oluşturan hidrokarbonlarda bulunur. Hidrojen, hidrokarbonlardan ısı uygulaması yoluyla ayrılabilir - bu reformasyon olarak bilinen bir işlemdir. Halen, çoğu hidrojen bu şekilde doğal gazdan üretilmektedir. Su, oksijen ve hidrojen bileşenlerine ayırmak için de bir elektrik akımı kullanılabilir. Bu işlem elektroliz olarak bilinir. Güneş ışığını enerji kaynağı olarak kullanan bazı algler ve bakteriler, bazı koşullar altında hidrojeni bile dışarı atarlar.

Hidrojen enerjide yüksektir, ancak saf hidrojen yakan bir motor neredeyse hiç kirlilik oluşturmaz. NASA, uzay mekiğini ve diğer roketleri yörüngesel hale getirmek için 1970'lerden beri sıvı hidrojen kullandı. Hidrojen yakıt hücreleri mekânın elektrik sistemlerine güç katar ve temiz bir yan ürün üretir. Örneğin; mürettebatın içtiği saf su buna örnektir.

Bir yakıt hücresi, elektrik, ısı ve su üretmek için hidrojen ve oksijeni birleştirir. Yakıt hücreleri genellikle pillerle karşılaştırılır. Her ikisi de bir kimyasal reaksiyon tarafından üretilen enerjiyi kullanılabilir elektrik gücüne dönüştürürler. Bununla birlikte, yakıt hücresi yakıt (hidrojen) verildiği sürece elektrik üretecektir, asla şarjını kaybetmezsiniz.

Yakıt hücreleri, binalar için bir ısı ve elektrik kaynağı olarak ve araçlardaki elektrikli motorlar için bir elektrik güç kaynağı olarak kullanılmak için umut verici bir teknolojidir. Yakıt hücreleri saf hidrojenle en iyi şekilde çalışırlar. Fakat doğalgaz, metanol, hatta benzin gibi yakıtlar, yakıt hücreleri için gerekli olan hidrojen üretmek üzere yeniden düzenlenebilir. Bazı yakıt hücreleri, bir reformer kullanılmaksızın, doğrudan metanolla yakıtlandırılabilir.

Gelecekte, hidrojen önemli bir enerji taşıyıcısı olarak elektriğe de katılabilir. Bir enerji taşıyıcısı, tüketici tarafından kullanılabilir bir biçimde enerji taşıyor ve tüketiciye ulaştırıyor. Yenilenebilir enerji kaynakları, örneğin güneş ve rüzgar gibi enerjiyi her zaman üretmez. Ancak, örneğin, ihtiyaç duyulana kadar depolanabilen elektrik enerjisi ve hidrojen üretebilirler. Hidrojen de (elektrik gibi) ihtiyaç duyulan yerlere taşınabilir.

Hidrojen enerjisi ile ilgili literatürde yer alan birkaç çalışma ise şu şekildedir:

Tutar ve Veren (2011) çalışmalarında hidrojen enerjisi ve ekonomisi ile Türkiye'deki hidrojen çalışmalarından bahsetmişlerdir. Araştırmacılar hidrojen enerjisi ve ekonomisinin swot analizini ortaya koyarken, hidrojenin nerelerde kullanılabileceğini de anlatmışlardır. Ayrıca Türkiye'deki hidrojen tabanlı projelerden de bahsetmişlerdir. Swot analizi sonucunda Türkiye'nin oldukça önemli avantajlara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Karadeniz'de mevcut olan hidrojen kaynakları sebebiyle Türkiye'nin hidrojen üssünün burada olması gerektiğini aktarmışlardır. Enerji konusunda dışa bağımlılığın azaltılması için hidrojene önem verilmesi gerektiği ve devlet tarafından başta vergi teşvikleri olmak üzere destek verilmesi gerektiğini önermişlerdir.

Veziroğlu ve Şahin (2007), çalışmalarında 21.yüzyılın enerjisi olarak gördükleri hidrojen enerjisinden bahsetmişlerdir. Fosil yakıtların hızla tükendiği dünyamızda yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına dönüşün hızla yapılması gerektiğini aktarmışlardır. Güneş-hidrojen enerji sistemini anlatan araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlara göre güneş-hidrojen enerji sisteminin sürdürülebilir ve geleceğin en iyi enerji sistemi olduğunu bildirmişlerdir.

Öztürk ve arkadaşları (2005) alıŐmalarında hidrojen enerjisi ve Türkiye’deki potansiyeli incelemişlerdir. Türkiye’de hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerji gibi olası kaynaklar ile hidrojen yakıtı üretimi sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Uzun dönemde ise fotovoltaik güneş-hidrojen sisteminin oldukça uygun olabileceğini aktarmışlardır. Ayrıca suyun elektrolizinden hidrojen elde edilme sistemi ile 1 m³ sudan 108,7 kg hidrojen (422 lt benzine eşdeğer) elde edilebileceğini söyleyerek Türkiye’nin oldukça yüksek bir potansiyeli olduğunu vurgulamışlardır. Karadeniz’in tabanında kimyasal bir şekilde yer alan depolanmış hidrojen bulunduğunu böylelikle potansiyelin daha da arttığını söylemişlerdir. Çalışma sonunda oldukça yüksek bir potansiyeli bulunan bu enerji kaynağı çeşidine önem verilmesi ve gerekli teknolojik araştırma ve geliŐtirmelerin yapılması gerektiğini önermişlerdir.

I.1.1.8. Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli

Ülkemiz enerji ihtiyacının yarısından fazlasını ithal etmektedir. Günümüzde enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla ithal olarak doğalgaz kullanılmaktadır. DıŐarıdan aldığımız doğal gazın yaklaşık %40’ı ise elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisi ihtiyacımızın karşılanması amacıyla dışa bağımlılığımız %40-%50 arasındadır. EPDK’nın tahminlerine göre 2020 yılında enerji ihtiyacı 398.160 – 433.900 GWh arasında olacaktır. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan talep artmaktadır. Özellikle yenilebilir olmayan enerji kaynaklarının 50-100 yıllık bir ömrünün kaldığı düşünülürse, tamamen çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi gitgide artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının anlatıldığı bölümlerde bahsedilen çalışmalardan da anlaşılacağı üzere Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelleri çok fazladır. Ancak tüm bu potansiyel enerji kaynaklarından yeterince faydalanılmadığı anlaşılmaktadır. Gerek elektrik gerek ısı gerekse de turizm alanlarında kullanılabilen bu enerji kaynaklarının ülkemizde faydalanılması gerektiği konusunda görüş birliğinin olduğu da görülmektedir.

Türkiye coğrafi ve matematiksel konumu gereğince yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir. Özellikle güneş, rüzgâr, hidrolik ve jeotermal enerji açısından oldukça yüksek bir potansiyele sahiptir (Yılmaz, 2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli incelendiğinde yaklaşık 108 milyon MW güneş enerjisi, 419 milyon MW rüzgâr enerjisi, 433 milyon MW hidrolik enerjisi ve 276 milyon MW jeotermal enerjiye sahip olduğu düşünülmektedir. Buna karşın toplam 20-30 bin MW lık kurulu güç bulunmaktadır (Önal ve Yarbay, 2010). Bu kadar yüksek bir potansiyel mevcutken üretim olarak neredeyse hiç faydalanmadığımız ortaya çıkmaktadır. Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretiminde 2018 yılı sonunda 40 bin MW ın üzerinde kurulu güce ulaşmıştır. Bu da Türkiye'nin elektrik üretiminin %48,2 sine denk gelmektedir (EÜAŞ, 2018: 22).

I.1.2. Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları

Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları, geçmişten günümüze kadar doğada çeşitli türlerde var olan, tüketim sonucu azalan ve kendini tekrar yenileyemeyen enerji kaynakları olarak bilinmektedir. Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğalgaz gibi) ve radyoaktif elementler (uranyum ve toryum gibi) yenilenebilir olmayan enerji kaynakları olarak bilinmektedir.

I.1.2.1. Fosil Yakıt Enerjisi

Fosil yakıtlar, dünyada sıkışmış biyolojik maddelerden türetildikleri ve binlerce yılda yoğun enerji biçimlerine dönüştürüldüğü için bu adla adlandırılmaktadır. Fosil yakıtlar petrol ve buna bağlı olarak doğalgaz, mineral yakıt ve özellikle de kömür olarak ortaya çıkar. Petrol yataklarından türetilen sıvı ve gaz

halindeki formlar kompakt ve taşınabilir uygulamalar için uygundur. Mineral yakıtları daha büyük hacimde dönüştürmek için donanım gereklidir ve bu nedenle kablolardan sabit kullanımlara dağıtım için elektrige dönüştürülmeye daha uygundur.

Petrol, yeraltı havuzlarından sondaj kuyuları ve pompalama yoluyla elde edilir. İlk oluşan kaynaklar yüzeyin yakınındaydı ve nispeten kolay elde edildi. Daha yeni kuyular yeryüzünden daha derinde bulunuyor ve gözenekli oluşumlarda tutulan petroldeki sıvıyı serbest bırakmak için özel işlem gerektirir. Ayrıca birçok petrol türleri okyanusun altında yer almaktadır. Bu da üretim maliyetini artırmaktadır. Petrol, ayrışma ve damıtma işlemleriyle bileşenlere ayrılır. Sıvı ve gaz(benzin, dizel, gazyağı, propan, ısıtma yağı, yağlama yağı gibi) yakıtlardan enerjiye dayalı olmayan(asfalt, plastik hammadde ve tarım ilaçları) malzemelere kadar geniş bir yelpazede ürün elde edilir. "Petrol" molekülleri başta çeşitli uzunluklarda olan hidrokarbon zincirleridir. Petrol yakıtlarının her biri bir dizi molekül uzunluğunun petrol stokundan ayrılmasından kaynaklanmaktadır. Daha kısa molekül uzunluğuna sahip olan yakıtlar (metan, propan), gaz halindedir, yüksek derecede uçucudur ve kolaylıkla ateşlenir, ancak daha az enerji yoğunluğu içerir. Daha büyük molekül uzunluğuna sahip yakıtlar(dizel, gazyağı) sıvıdırlar ve nispeten düşük uçuculuğu vardır, fakat daha büyük bir enerji yoğunluğu içerirler. Benzin, bu iki koşul arasında kalır ve kazara ateşleme riski taşıyan önemli bir uçucu bileşen içerir. Ham petrolden elde edilen spesifik moleküllerin oranı, bir dereceye kadar, parçalama veya polimerizasyon işlemleri ile ayarlanabilir. Parçalama, daha uzun molekülleri parçalayarak daha hafif olanları üretir. Polimerizasyon daha kısa moleküllere daha az, daha ağır moleküllere daha çok katılabilir.

Kömür, yeraltı depolarında bulunur ve madencilikle elde edilir. Açık işletme madenciliği, birikimler yüzeyin çok yakınında olduğunda kullanılır. Maden kuyuları, birikimlerin yer altının daha derinliklerinde olduğunda kullanılır. Kömür öncelikle çeşitli mineral ve bileşiklerin değişik miktarlarda bulunduğu bir karbon formudur. Kömür, mobil uygulamalarda olduğu kadar kolay veya verimli bir şekilde dönüştürülmediğinden, çoğunlukla elektrik üretimi veya ısıtma uygulamaları için buhar üretiminde kullanılır. Etkili yanmayı sağlamak için oksijen ile daha iyi

karıştırılması için kömürün ince bir toz haline getirilmesi gerekir. Yanmanın yan ürünü genellikle mineral kül ve sülfür bileşikleridir. Kömür gazlaştırma işlemi, yanıcı bir gaz üretmek için kömür kullanır ve bu da daha temiz bir enerji kaynağı olarak yakılabilir (Dekker, 2003: 382).

Doğalgaz, kokusuz ve renksiz bir gaz olup, ısınma, pişirme ve elektrik üretiminde kullanılır. Doğalgaz kuyuları genellikle petrol kuyularının yakınında bulunmaktadır. Dünyadaki doğal gazın yaklaşık %70 i Orta Doğu ve Orta Asya'da bulunmaktadır (Sherman, 2004: 9).

British Petrol'ün Haziran 2017 yılında yayınlamış olduğu Dünya Enerji İstatistikleri' ne göre 2016 yılı sonunda; Dünyadaki kanıtlanmış petrol rezervi 1,7 trilyon varil (240 milyar ton) iken günlük üretim 92 milyon varildir. Buna karşın günlük tüketim 96 milyon varil olarak gerçekleşirken Türkiye'deki günlük tüketim 886 bin varildir. Doğal gaz rezervi 186,6 trilyon m³ iken yıllık üretim 3,5 trilyon m³ dür. Dünyadaki yıllık tüketim 3,5 trilyon m³ olurken Türkiye' de bu rakam 42 milyar m³ olarak tespit edilmiştir. Kömür rezervi ise Dünyada 1139 milyar ton olarak belirtilirken Türkiye'de 11 milyar ton olarak tespit edilmiştir. Dünyadaki yıllık üretim 3,7 milyar ton olurken Türkiye'de 15,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Yıllık tüketim miktarı Dünyada 3,7 milyar ton iken Türkiye'de bu rakam 38,4 milyon ton olmuştur (BP Statistical Review of World Energy, 2017: 12-39).

Fosil yakıt enerjisi ile ilgili literatürde yer alan birkaç çalışma ise şu şekildedir:

Mohr ve arkadaşları (2015) çalışmalarında gelecekteki fosil yakıt üretimini tahmin etmeyi ele almışlardır. Bunun için fosil yakıt üretiminde kritik olarak belirledikleri Çin, ABD, Kanada ve Avustralya ülkelerini incelemişlerdir. Ayrıca fosil yakıt tahmini için düşük, en iyi ve yüksek tahmin olmak üzere üç senaryo geliştirmişlerdir. Düşük ve en iyi tahmin senaryolarında göre 2025 yılından önce üretimin zirve yapacağını öngören araştırmacılar, yüksek tahmin senaryosuna göre 2025 yılından sonra 50 yıllık bir sürece sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Altıntaş (2013) çalışmasında 1970-2008 dönemi için Türkiye'de karbondioksit emisyonu, fert başına gelir, birincil enerji tüketimi ve yatırımlar arasındaki ilişkiyi

araştırmıştır. Çalışmada ekonomik büyüme ve birincil enerji tüketiminden karbondioksit salınımı arasında tek yönlü nedensel ilişki bulmuştur. Bulmuş olduğu sonuçlara göre Türkiye’de enerji tüketimi ve yatırımların ekonomik büyümede en önemli faktör olduğunu söylemiştir. Artan enerji tüketiminin uzun dönemde daha fazla kirlenmeye yol açacağını söyleyen araştırmacı, artan enerji talebinin karşılanması için alternatif enerji kaynaklarının teşvik edilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Koç ve Şenel (2013) çalışmalarında Dünyadaki ve Türkiye’deki enerji kaynaklarının durumunu incelemişlerdir. Enerji üretimi, tüketimi ve karbondioksit salınımı hakkında karşılaştırmalı analizler yapmışlardır. Yenilebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynakları için de tespitlerde bulunmuşlardır. Çalışmada ülkemizin, taş kömürü 1334,6 milyon ton rezerv, linyit 11444,9 milyon ton rezerv, petrol 44,3 milyon ton rezerv, doğal gaz da 6,2 milyar m³ rezerv ve çıkarılabilir uranyum rezervinin de 9129 ton olduğunu bildirmişlerdir. Mevcut rezervlerin ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamada yeterli olmadığını belirtmiş olup, bu ihtiyacın karşılanması için dışa bağımlı olduğumuzu aktarmışlardır. Petrolde %93, doğalgazda %98 oranında dışa bağımlı olduğumuz sonucunu bildirmişlerdir. Tüm bu bilgiler ışığında yenilebilir olmayan enerji kaynaklarının ülkemizde yetersiz olduğunu ve yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji ihtiyacının karşılanması gerektiğini söylemişlerdir.

1.1.2.2. Radyoaktif Element (Nükleer) Enerjisi

Radyoaktif element enerjisi, günümüzde daha sık tabir edildiği üzere, nükleer enerji olarak bilinmektedir. Nükleer enerji aynı şekilde atom enerjisi ve çekirdek enerjisi olarak da ifade edebilmektedir. Nükleer ifadesi ilk olarak 2. Dünya Savaşında ABD tarafından Japonya’ya atılan ve yüzbinlerce kişinin ölümüne sebep olan bomba olarak duyulmuştur. Günümüzde ise daha çok enerji elde etmek için kullanılan bir terim olmuştur (Temurçin, 2003: 26).

Nükleer enerji, nükleer santrallerde atom çekirdeklerinin parçalanması (fizyon) veya birleştirilmesi (füzyon) yöntemleri neticesinde elde edilmektedir. Füzyon reaktörleri helyum ve hidrojen gibi hafif iki elementi daha ağır yeni bir atom

çekirdeği oluşturarak enerji elde etmektedir. Bu yöntemle yüksek bir enerji elde edilebilmesine rağmen açığa çıkan aşırı yüksek sıcaklığın kontrol edilmesi için günümüz teknolojisi yetersiz kalmaktadır. Günümüz için oldukça riskli olan bu yöntem gelecekte gerekli olan enerjiyi uzun yıllar boyunca karşılayabileceği öngörülmektedir (Albayrak, 2011: 19).

Fizyon reaktörleri uranyum ve toryum gibi ağır radyoaktif elementleri parçalayarak ortaya büyük ölçüde enerji çıkarmaktadır. Bu işlemler yapılırken ortaya radyoaktif atık maddeler (kül) çıkmaktadır. Bu maddeler oldukça tehlikeli olmakla birlikte mevcut teknoloji (cam, kurşun zırh ve tuz mağaraları) ile koruma altına alınabilmektedir (Albayrak, 2011: 19).

Nükleer enerji kamuoyunun tepkisini çekmesine rağmen oldukça temiz, güvenilir ve kesintisiz bir teknolojiye sahiptir. Rezerv miktarı oldukça yüksek olan bu enerji türü yaklaşık 150 yıl kadar enerji üretimi yapabileceği öngörülmektedir. Oldukça yüksek enerji sağlayan bu santrallerde 1 kg uranyum ile 50.000 kWh elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Bu da yaklaşık 17 ton kömür veya 12,5 ton petrol kullanılarak elde edilen enerjiye denktir (Temurçin, 2003: 27).

Dünyada elektrik üretiminde Nükleer enerjinin payı %11 dir. 58 nükleer santralin kurulu olduğu Fransa'da toplam üretimin %76 sı bu kaynaktan elde edilmektedir. Toplam üretime oranla en yüksek üretim ile dünyada ilk sırada Fransa gelmektedir. En fazla kurulu santral (99 kurulu santral) ise ABD' de olurken, ülkede üretilen toplam enerjinin %19,5 i nükleer enerji tarafından sağlanmaktadır. Türkiye'de ise henüz nükleer enerji ile üretim yapılmamakla birlikte 2023 yılına kadar Akkuyu ve Sinop'ta tesislerin kurulup, üretimin başlanması planlanmaktadır (Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, 2017: 53-57).

Radyoaktif element (nükleer) enerjisi ile ilgili literatürde yer alan birkaç çalışma ise şu şekildedir:

İşeri ve Özen (2012) çalışmalarında fosil yakıtlara alternatif olarak düşünülen nükleer enerjinin Türkiye özelinde değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Türkiye'nin enerji durumu ve geleceğinden bahsederek, enerji arzının talebi karşılayamamasını

anlatmıştır. Türkiye'nin nükleer enerji politikasından da bahseden araştırmacılar, Türkiye'nin 2023 yılına kadar kurulacak olan üç nükleer santralden elektrik üretimine geçme kararını aktarmıştır. Kurulması düşünülen yerlerin ise Mersin-Akkuyu, Sinop ve İğneada olduğunu belirtmiştir. Çalışmanın ana amacı olarak belirttikleri sürdürülebilirlik kavramını ise çevre, sosyal ve ekonomik olmak üzere üç alt başlıkta ele almışlardır. Çalışma sonunda nükleer enerjinin sürdürülebilir olması için uygun yasal çerçeve ve iktisadi kalkınma planına göre hazırlanmış bir enerji planı ile mümkün olduğunu söylemişlerdir.

Köksal ve Civan (2010) çalışmalarında 67 ülkenin 1980-2005 yılları arasında nükleer enerji santrali kurulması durumunda toplam enerji içerisindeki payını etkileyen ekonomik, politik, sosyal ve coğrafi faktörleri analiz etmişlerdir. Yapmış oldukları analizlere göre kişi başı reel milli gelir ile nükleer enerjiye sahip olma ihtimali arasında pozitif bir ilişki bulunurken gelir seviyesi arttıkça ilişkinin kuvvetinin zayıfladığını tespit etmişlerdir. Kurmuş oldukları modelden elde ettikleri parametre tahminlerini kullanarak yaptıkları hesaplamalarda, Türkiye'nin nükleer enerjiye geçme ihtimalinin 2005 yılı sonunda % 45 düzeyine geldiğini bulmuşlardır. Çalışma sonundaki tahminlere göre, Türkiye'nin şu an nükleer enerji santraline sahip olması durumunda toplam enerjinin %14-%16 sının bu üretilecek nükleer enerji tarafından karşılanacağını belirtmişlerdir.

Yıldırım ve Örnek (2007) çalışmalarında nükleer enerji hakkında dünyadaki ve Türkiye'deki durumundan bahsetmiştir. Avrupa'nın dünyadaki nükleer kurulu gücün üçte birine sahip olduğunu ve dünyada 24'ü inşa aşamasında, 112 reaktör yatırımı bulunduğunu söylemiştir. Türkiye'de ise mevcut bir nükleer enerji santralinin olmadığını aktarmıştır. Çalışmada nükleer enerji ile ilgili olumlu ve olumsuz görüşler ile Türkiye'ye sunacağı fayda ve riskleri de aktarmışlardır. Çalışma sonunda Türkiye'nin enerji bağımsızlığı ve enerji arz güvenliğini sağlaması için nükleer enerji santrallerinin kurulmasının kaçınılmaz olduğunu belirtmiştir.

I.2. Enerji Santrali Kuruluş Yeri Seçimi

Zarar etmek istemeyen veya daha fazla kar elde etmek isteyen yatırımcılar, kuruluş yeri seçimine önem vermektedirler. Bu sebeple enerji santralleri gibi yüksek maliyetli faaliyet alanlarının kuruluş yeri seçimi yatırımcılar açısından önem arz etmektedir. Ayrıca enerji santrallerinin kuruluş yeri seçimi için en uygun enerji kaynağının da bilinmesi önemlidir.

I.2.1. Kuruluş Yeri Tanımı ve Literatür Özeti

Kuruluş yeri, üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği coğrafi alanlar olarak tanımlanmaktadır (Barutçugil, 1988: 72). Kuruluş yeri seçimi ise üretim faaliyetlerinin optimal ve minimum maliyetle gerçekleşeceği alanı seçme işlemi olarak tanımlanabilmektedir (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2007: 2).

Literatürde enerji santrali kuruluş yeri seçimine dair çalışmalar incelendiğinde robust optimizasyon yöntemi kullanılarak enerji üretim tesisi kuruluş yerinin belirlenmesi ile ilgili çalışma mevcut değildir. Bununla birlikte kuruluş yeri seçiminde faaliyet türlerine göre farklı farklı kriterler bulunabilmektedir. Enerji santrali kuruluş yeri seçimi, diğer üretim faaliyetlerine ve bunlarda ele alınan kriterlere ilişkin kuruluş yeri seçimi çalışmaları incelenmiş ve aşağıda bunlardan bazıları açıklanmıştır.

Keleş (2014), çalışmasında işletmelerin kuruluş yeri için teknokent seçiminde en uygununun tespitini amaçlamıştır. Bu amaçla kuruluş yeri seçiminde önem verdikleri kriterleri ağırlıklarını AHP ile belirledikten sonra Electre III yöntemi ile kuruluş yeri seçimlerini belirlemiştir. Örnek olarak Ankara ilini ele alan araştırmacı, çalışma sonucunda, “Kira bedeli” kriteri, “Teknokentin Ankara içerisindeki fiziki konumu” kriteri ve “Teknokentin uluslararası rekabet imkânı sağlayacak kalitede firmalara profesyonel hizmetler sunması” kriterlerinin diğer kriterlere göre ön plana çıktığını tespit etmiştir. Yapmış olduğu analiz sonucunda ODTÜ Teknokent’in genel olarak yüksek puan aldığını ve kuruluş yeri tercihinde ilk sırada geldiğini belirtmiştir.

Aydın (2013), çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi santrali için kuruluş yeri seçimi problemini ele almıştır. Optimal kuruluş yeri seçiminde Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanmıştır. Kuruluş yeri seçiminde Rüzgâr Karakteristiği, Maliyet, Teknik ve Sosyal Etkenlerini ana kriter olarak belirlerken, Şanlıurfa, Mersin ve İzmir illerini alternatifler olarak belirlemiştir. Ele almış olduğu kriterlere göre TOPSIS yöntemine göre en uygun il sıralaması sırasıyla İzmir, Mersin ve Şanlıurfa olurken, VIKOR yöntemine göre İzmir, Şanlıurfa ve Mersin olarak tespit etmiştir. Her iki yönteme göre de en uygun ilin İzmir olduğunu sonucuna ulaşmıştır.

Özçakar ve Bastı (2012), çalışmasında kuruluş yeri seçiminde, hizmet veren tesisler ile talep noktaları arasındaki taşıma maliyetini minimize etmeyi amaçlamıştır. Maliyetleri minimize etmek için meta sezgisel algoritmalarından parçacık sürü optimizasyonu, diferansiyel gelişim algoritması ve yapay arı kolonisi algoritmalarını kullanmıştır. Kullanılan bu üç algoritma, problemin optimum çözümüne yakınsama ve çözüme ulaşmak için harcanan zamana göre karşılaştırması yapılmıştır. Optimum çözümden sapma oranına göre en başarılı meta sezgisel algoritma diferansiyel gelişim algoritması olurken, yapay arı kolonisi algoritması ikinci sırada, parçacık sürü optimizasyonu ise son sırada yer almıştır. Harcanan toplam zamana göre en başarılı algoritma parçacık sürü optimizasyonu olurken, yapay arı kolonisi algoritması ikinci sırada, diferansiyel gelişim algoritması son sırada yer almıştır.

Tavakkoli-Moghaddam ve arkadaşları (2011), çalışmalarında işletmeler için hayati öneme sahip olan tesis yeri kuruluş seçimine vurgu yapmışlardır. Tesis kuruluş yeri seçimini AHP ve VIKOR metotlarını birleştirmişlerdir. AHP ile seçtikleri kriterleri ağırlıklandırırken, VIKOR ile de potansiyel alternatifleri sıralamışlardır. Sonuç olarak da her iki yönteminde birleştirilmesinin uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Çınar (2010), çalışmasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde hiç şubesi bulunmayan bir bankanın, şube açmak için beş aday şehir arasından en uygun olanını belirlemek için karar destek modeli önerisinde bulunmaya çalışmıştır. Modelde yer

alacak kriterleri belirlemek amacıyla ele alınan bankaların üst düzey yöneticileri ile görüşmüştür. Görüşme sonucunda, toplam nüfus, kişi başı gayri safi milli hasıla, rakip bankaların varlığı, ticari faaliyetler, müşteri potansiyeli olmak üzere 5 adet kriter belirlemiştir. Çalışmada değerlendirme süreçlerinin bulanıklığından dolayı ve aralıklı karar vermeyi olanaklı kılan bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonucunda Diyarbakır, Malatya, Kahramanmaraş, Siirt ve Şanlıurfa şehirleri arasından banka için en uygun olan şehrin Diyarbakır olduğunu tespit etmiştir.

Athawale ve Chakraborty (2010), genellikle imalat ortamındaki karmaşık sorunların üstesinden gelmek için uygulanan çok ölçütlü karar verme (MCDM) tekniği olan PROMETHEE II (zenginleştirme değerlendirmesi için tercih sıralaması organizasyon yöntemi) yöntemini kullanarak gerçek zamanlı bir tesis yer seçim problemini ele almışlardır. Sekiz kriter ve alternatif bölgeler arasından en uygun olan bölgeyi seçmeyi çalışmışlardır. Çalışma sonucunda en uygun yer belirlenirken, PROMETHEE II yönteminin hesaplama sürecini gösterirken ve aynı zamanda diğer stratejik karar verme problemlerine de uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Demircioğlu (2010), bir işletme için kuruluş yeri seçiminde Analitik Hiyerarşi Proses (AHP), İdeal çözüme benzerlik tekniği (Topsis) ve Basit Ağırlıklı Toplam metodu (SAW) yöntemlerinin bulanık ve bulanık olmayan sürümlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca bu üç yöntem ele alınarak yeni bir yöntem önermeye çalışmıştır. Önerdiği yöntemden elde ettiği sonuç diğer tüm yöntemlere göre daha hassas ev etkin olduğunu gözlemlemiştir. Buna karşın önerdiği yöntemin uygulamasının daha fazla emek ve zaman gerektirdiğini de vurgulamıştır.

Eleren (2007), çalışmasında dericilik sektöründe kuruluş yeri seçimi problemini ele almıştır. Kuruluş yeri seçimini iki aşamalı olarak uygulamıştır. İlk aşamada anket yardımı ile kuruluş yeri seçiminde kullanılacak kriterler ve ağırlıkları belirlemiş, ikinci aşamada ise bulanık TOPSIS ile kuruluş yeri seçimi için alternatiflerin sıralamasını oluşturmuştur. Yapmış olduğu anket sonucunda en yüksek ortalamaya sahip altı kriteri, pazara yakınlık, hammaddeye yakınlık, ulaşım imkânları, devlet teşvikleri, işgücü, altyapı olarak belirlemiştir. Çalışmada kuruluş yeri alternatifleri olarak Ankara, Uşak, Afyon, İstanbul, Antalya ve İzmir illeri

seçilmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralamaya göre kuruluş yeri seçimi için en uygun ilin İstanbul olduğunu tespit etmiştir.

Özmen (2007), Türkiye’ de kurulması planlanan nükleer santraller için kuruluş yeri için uygun alternatifleri belirlemeye çalışmıştır. Çok kriterli karar verme tekniklerinden olan Entropi ve Topsis yöntemlerini kullanmıştır. Araştırma sonucunda Poliçe koyu (Kırklareli) öncelikli bölge olarak belirlenirken, Çilingos koyu (İstanbul), Kefken koyu (Kocaeli) ve İnceburun koyu (Sinop) ise ikinci, üçüncü ve dördüncü bölgeler olarak belirlenmiştir.

Demirdöğen ve Bilgili (2004), çalışmalarında yeni bir organize sanayi bölgesi için kuruluş yeri seçimi kararlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve bu faktörlerin önem düzeylerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yeni bir kuruluş yeri ihtiyacının mevcut yerin kapasite açısından yetersizliği ve buna ek olarak kaynaklarda meydana gelebilen değişiklikler, taleplerdeki değişiklikler, yeni ürün ortaya çıkması, politik ve ekonomik durumlar vb. sebepler ile ortaya çıktığını vurgulamışlardır. Yer seçiminin ise fabrika kurulacak bölgenin belirlenmesi, bölgenin özel bir yerinin belirlenmesi ve arazi parçasının belirlenmesi olmak üzere 3 aşamadan oluşan bir süreç olduğunu belirtmişlerdir. Organize sanayi bölgesi yer seçimini etkileyen faktörleri, 33 işletmeye uygulanan anket ile tespit etmeye çalışmışlardır. Elde edilen anket verilerini SPSS, Ewiev ve SAS paket programlarını kullanarak analiz etmişlerdir. Organize sanayi bölgesi yer seçimini etkileyen faktörleri; ilave tesis imkânı, kalifiye veya düz işgücü, kira, sendikalı işgücü, enerji, su, taşıma kolaylığı, taşıma maliyetleri, hammaddeye yakınlık, pazara yakınlık, konut alanına yakınlık, belediye hizmetleri, teşvik ve eğlence olarak belirlemişlerdir. Bu faktörlerden önem düzeyi en yüksek olan faktör enerji olarak tespit edilirken, önem düzeyi en düşük olan faktör ise eğlence olarak tespit edilmiştir.

II. BÖLÜM

ROBUST OPTİMİZASYON

Birçok optimizasyon uygulamasında, probleme ilişkin verilerin kesin olarak bilindiği varsayılmaktadır. Ancak bu durum, uygulamada pek de karşılaşılabilen bir durum değildir. Gerçek veriler, rastgele olmaları, ölçüm hataları veya diğer nedenlerden dolayı belirsizliğe maruz kalırlar. Bir optimizasyon probleminin çözümü genellikle Ben-Tal ve Nemirovski (2009), gösterdiği gibi veri bozulmalarına karşı yüksek hassasiyet gösterdiğinden, veri belirsizliğini göz ardı etmek, pratik olmayan uygulamalar için yetersiz veya mümkün olmayan çözümlere yol açabilir (Apaydın ve Kazancık, 2017).

Robust optimizasyon, veri belirsizliğine sahip optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılan önemli bir metodolojidir. Bu tür bir yöntemin birinci aşamasında belirsiz bir alanda belirleyici bir veri seti tanımlanmış ve ikinci aşamada verilen sette veri belirsizliğinin herhangi bir şekilde gerçekleştirilmesi için mümkün olan en iyi çözüm elde edilmiştir. Karşılık gelen ikinci aşama optimizasyon problemine ise robust eşdeğer optimizasyon problemi adı verilir. Robust optimizasyonun tercih edilmesinin önemli sebebi, birçok uygulamada veri setinin uygun bir parametre belirsizliği olduğu, parametre belirsizliğinin stokastik olmadığı veya dağılımının bilinmediği durumlar için kullanılabilir olmasıdır (Li, vd., 2011:1-3). Robust model oluşturulurken, verideki belirsizlikler modele dahil edilerek sağlam sonuçların elde edilmesi sağlanır (Kouvelis ve Yu, 1997:6)

II.1. Robust Optimizasyon Modelleri

Robust optimizasyon; senaryo tabanlı ve küme tabanlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Senaryo tabanlı robust optimizasyon, deterministik modelin doğrusal yapıdan doğrusal olmayan yapıya dönüştürülmesi ile oluşturulmaktadır. Bu dönüşüm ile problem daha karmaşık bir yapı haline dönüşerek, hesaplanması zor bir yapıya dönüşmektedir. Küme tabanlı robust optimizasyon, modelde yer alacak parametrelerin belirsizlik kümelerinde yer aldığı varsayılarak oluşturulmaktadır. (Düzgün, 2012).

II.1.1. Küme Tabanlı Robust Optimizasyon Modelleri

Küme tabanlı robust optimizasyon modellerinde, parametrelerin belirsizlik kümelerinde yer aldığı varsayılmaktadır. Bu modellerin çözümünde kullanılan yöntem, belirsizlik kümesinde yer alan parametrelerin en kötü değerleri için en uygun çözümü sunmaktadır (Düzgün 2012).

Belirsizlik kümelerinin seçimi ve robust eşdeğer problemin kurulması, robust optimizasyonun temel iki aracını oluşturmaktadır. Verideki belirsizliklerin tanımlanması, bu kümenin seçimi ile mümkün olmaktadır. Bu küme genellikle sınırlandırılmış konveks bir küme olup, belirsiz parametrenin mümkün tüm değerlerini içinde barındırmaktadır. Belirsizlik kümelerine göre farklı robust eşdeğer problemler oluşacağı için belirlenecek olan küme çok fazla önem arz etmektedir (Moazeni, 2006).

Küme tabanlı robust optimizasyonla ilgili en eski makalelerden biri, Soyster' in çalışmasıdır. Bu çalışma ile verilerdeki basit karışıklıkların olduğunu düşünen ve elde edilen çözümün tüm olası karışıklıklar altında uygulanabilir olması için orijinal lineer programlama probleminin yeniden yapılandırılmasını bulmayı amaçlamıştır. Bununla birlikte, bu yaklaşım en konservatiftir, çünkü tüm potansiyel gerçekleştirmelere karşı uygulanabilirlik sağlar. Soyster' in bu yaklaşımında belirsiz parametreler, belirli bir aralıkta dağılım göstermektedir. Sağlamlık ve performans arasında değişime izin verecek bir mekanizma sağlanması arzu edilir. Bu modele “en kötü durum analizi” adı da verilmektedir.

En kötü durum modellerinde aşırı konservatiflik sorununu ele almak için Ben-Tal, Nemirovski vd., El-Ghaoui vd., bağımsız olarak doğrusal ve kuadratik programlama problemlerinde parametre belirsizliği ile başa çıkmak için elipsoidal-set bazlı robust eşdeğer formülasyonunu önermektedirler. El-Ghaoui ve Lebret belirsiz en küçük kareler problemlerine robust çözümleri incelemiş ve El-Ghaoui vd., belirsiz yarı kesin problemleri araştırmışlardır. Ben-Tal ve Nemirovski, doğrusal bir kısıtlamaya yönelik belirsizlik kümelerinin elipsoit (aralık) olduklarında, sağlam formülasyonun konik ikinci dereceden bir sorun olduğunu ortaya koymuşlardır. Ben-Tal vd., karar değişkenlerinden bazılarının belirsiz verilerin gerçekleştirilmesinden

önce belirlenmesi gereken LP problemleri olarak kabul edilirken, diğer karar değişkenleri gerçekleşmeden sonra da belirlenebilir olduğunu belirtmişlerdir (Bentall, vd., 2009).

Belirsiz doğrusal katsayılara sahip doğrusal programlama problemleri için uygulanan robust optimizasyon formülasyonu, Lin vd., ile Janak vd., tarafından belirsizlik altında karışık tamsayılı doğrusal optimizasyon problemlerine genişletilmiştir. Genel karma tamsayılı doğrusal programlama problemleri için robust optimizasyon çerçevesi teorisini geliştirmişler ve hem sınırlı hem de bilinen bazı olasılık dağılımları olarak kabul etmişlerdir. Robust optimizasyon çerçevesi daha sonra hem sürekli (genel, sınırlı, tek tip, normal) hem de ayrık (genel, binom, Poisson) belirsizlik dağılımlarını inceleyen ve çerçeveyi operasyonel planlama problemlerine uygulayan Verderame ve Floudas tarafından genişletilmiştir. Çalışma, koşullu değere dayalı riske dayanan yöntemle karşılaştırılmıştır.

Bertsimas ve Sim, bütçelerle belirlenmiş bir belirsizlik kullanarak katsayılı belirsizlik içeren robust doğrusal programlama olarak değerlendirdiler. Bu robust eşdeğer optimizasyon formülasyonunda, çözümün konservatif derecesini kontrol etmek için bir bütçe parametresi sunulmuştur. Bu tür bir robust formülasyon birleşik bir aralığa ve çokyüzlü belirsizlik kümesine dayanmaktadır. Bertsimas vd., doğrusal ve ayrık programlama alanlarında bir robust optimizasyon çerçevesi geliştirmiş ve uygulamışlardır. Bertsimas vd., doğrusal bir programlama probleminin robust bir eşdeğerini, keyfi bir norm tarafından tanımlanan bir belirsizlik setiyle tanımlamışlardır. Bertsimas ve Sim'in robust optimizasyon yaklaşımındaki fikirleri, Bertsimas ve Sim'in konik optimizasyon problemlerine de genişletildi ve aynı zamanda Bertsimas ve Thiele tarafından toplam kontrol maliyetlerini en aza indirmek için stok kontrol problemlerini ele almak amacıyla kullanmışlardır (Li, vd., 2011:1-3).

Belirsiz doğrusal optimizasyon problemleri;

$$\begin{aligned} \max_x \sum_j \tilde{c}_j x_j \\ \sum_j \tilde{a}_{ij} x_j \leq \tilde{b}_i \end{aligned} \quad (1)$$

olmak üzere yeni bir z değişkeni eklenerek robust eşdeğer problem,

$$\begin{aligned} \text{Max } Z \\ Z - \sum_j \tilde{c}_j x_j \leq 0 \\ \tilde{b}_i x_0 + \sum_j \tilde{a}_{ij} x_j \leq 0 \\ x_0 = -1 \end{aligned} \quad (2)$$

biçiminde oluşturulur.

Burada; \tilde{c}_j , \tilde{a}_{ij} , \tilde{b}_i belirsiz parametrelerdir. Ve,

- \tilde{c}_j , $[\underline{c}_j, \bar{c}_j]$ aralığında değer alarak kendi ortalaması $E(\tilde{c}_j)$ etrafında simetrik bir dağılıma sahiptir.
- Amaç vektörünün tanımlanan değeri sıfırdan farklıdır.
- \tilde{b}_i , $[\underline{b}_j, \bar{b}_j]$ aralığında dağılım gösteren bağımsız rassal değişkenlerdir.
- \tilde{a}_{ij} , $[\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$ aralığında değerler alır ve Eşitlik (3) ile tanımlanır.

$$\begin{aligned} \tilde{a}_{ij} &= a_{ij} + \varepsilon_{ij} \hat{a}_{ij} & \forall_j \in J_i \\ \tilde{b}_i &= b_i + \varepsilon_{i0} \hat{b}_i \\ \tilde{c}_j &= c_j + \varepsilon_j \hat{c}_j \end{aligned} \quad (3)$$

Burada;

- a_{ij} , c_j ve b_i , parametrenin nominal değerleri,
- \hat{a}_{ij} , \hat{b}_i ve \hat{c}_j , pozitif sabit dalgalanmaları,
- J_i , belirsizlik bulunan katsayıların değişken indeksini içeren alt kümeyi,

- ε_{ij} ve ε_{i0} belirsizliğe maruz kalan rastlantı değişkenlerini ifade etmektedir.

Belirsizliğe maruz kalan rassal değişkenler $[-1,1]$ aralığında dağılmaktadır. Belirsiz parametreler, belirsizlik kümesinde yer alan bir oynaklığa sahiptir. En uygun çözümün elde edilmesi için bu belirsizliğe karşı bir dayanıklılık kazandırılmalıdır. Bu sayede, belirsizlik kümesinde yer alan tüm değerler için en uygun sonuca ulaşılabilmektedir (Apaydın ve Kazancı, 2017). En yaygın olarak kullanılan belirsizlik kümeleri; aralık (kutu), elipsoid, polihedral (çok yüzlü) ve bunların kombinasyonları ile oluşturulmuş belirsizlik kümeleridir.

II.1.1.1. Aralık (Kutu) Belirsizlik Kümesi

Robust eşdeğer problemlerin modellenmesinde belirsizlik kümelerinin seçimi önemlidir. Belirsizlik kümeleri farklılaştıkça modeller de farklılaşmaktadır. En çok kullanılan belirsizlik kümelerinden biri, aralık (kutu) belirsizlik kümesidir. Parametrelerdeki belirsizlikleri göstermek için ε rastlantı vektörü kullanılmaktadır.

Belirsiz veri vektörü ∞ olarak seçilirse aralık;

$$U_{\infty} = \{\varepsilon \mid \|\varepsilon\|_{\infty} \leq \Psi\} = \{\varepsilon \mid |\varepsilon_j| \leq \Psi, \forall j \in J_i\} \quad (4)$$

olarak belirlenir. Burada Ψ , aralık belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol eden ayarlama parametresidir. Eğer belirsiz parametre, $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}] \forall j \in J_i$ aralığında sınırlanmış ise, belirsizlik $\tilde{a}_{ij} = a_{ij} + \varepsilon_j \hat{a}_{ij}$ eşitliğine dönüşmüş olur. Aralık belirsizlik kümesinde $\Psi=1$ olarak alındığında, $(U_{\infty} = \{\varepsilon \mid |\varepsilon_j| \leq 1, \forall j \in J_i\})$ aralık belirsizlik kümesinin özel bir durumu ele alınmış olur. Bu durumda aralık belirsizlik kümesi bütün belirsizlik uzayını karşılamış olur.

II.1.1.2. Elipsoid Belirsizlik Kümesi

Belirsiz veri vektörü ikinci norm olarak seçildiğinde, elipsoid belirsizlik kümesi;

$$U_2 = \{\varepsilon \mid \|\varepsilon\|_2 \leq \Omega\} = \left\{ \varepsilon \mid \sqrt{\sum_{j \in J_i} \varepsilon_j^2} \leq \Omega \right\} \quad (5)$$

olarak belirlenir. Burada Ω , elipsoid belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol eden ayarlama parametresidir. Elipsoid belirsizlik kümesi, rastlantı değişkeni -1 ile +1 aralığında ve $\Omega \geq \sqrt{|J_i|}$ olduğunda belirsizlik uzayının tamamını kapsamaktadır.

II.1.1.3. Polihedral Belirsizlik Kümesi

Belirsiz veri vektörü birinci norm olarak seçildiğinde, polihedral belirsizlik kümesi;

$$U_1 = \{\varepsilon \mid \|\varepsilon\|_1 \leq \Gamma\} = \left\{ \varepsilon \mid \sqrt{\sum_{j \in J_i} |\varepsilon_j|} \leq \Gamma \right\} \quad (6)$$

olarak belirlenir. Burada Γ , polihedral belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol eden ayarlama parametresidir. Polihedral belirsizlik kümesi, rastlantı değişkeni -1 ile +1 aralığında ve $\Gamma \geq |J_i|$ olduğunda belirsizlik uzayının tamamını kapsar.

II.1.1.4. Amaç Fonksiyonu Parametrelerinde Belirsizlik Olma Durumu

Amaç fonksiyonu parametrelerinin değerlerindeki belirsizlikler aralık belirsizlik kümesi olarak tanımlanır ve model (7),

$$\begin{aligned} \text{Max } Z \\ Z - \sum_j c_j x_j + \sum_{j \in J_0} \hat{c}_j |x_j| &\leq 0 \\ \sum_j a_{ij} x_j + \left[\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} |x_j| + \hat{b}_i |x_0| \right] &\leq b_i \quad \forall i \\ x_0 &= -1 \end{aligned} \quad (7)$$

biçiminde oluşturulur.

Bu eşitsizlik $x_0 = -1$ eşitlik kısıtı kaldırılıp, mutlak değer ifadeleri de u değişkeni eklenerek, yeniden,

$$\begin{aligned} \text{Max } Z \\ Z - \sum_j c_j x_j + \sum_{j \in J_0} \hat{c}_j |x_j| &\leq 0 \\ \sum_j a_{ij} x_j + \left[\sum_{j \in J_i} \hat{a}_{ij} |x_j| + \hat{b}_i \right] &\leq b_i \quad \forall i \\ -u_j &\leq x_j \leq u_j \end{aligned} \quad (8)$$

olarak yazılabilir (Apaydın ve Kazancı, 2017).

II.1.2. Senaryo Tabanlı Robust Optimizasyon Modelleri

Verilerde bulunan belirsizlikleri önemsemeyen geleneksel yöntemler, belirli varsayımlara göre tek bir senaryo altında modellenen problemlerin optimizasyonunu sağlar. Ancak, tek bir senaryoya göre yapılan çözümler daha sonra oluşabilecek farklı durumlar karşısında etkinliğini kaybedecektir. Çok sayıda senaryoya göre hazırlanan modeller, gelecekteki karşılaşılabilecek durumları kapsayabilecek şekilde hazırlanmaktadır. Bu modeller esnek bir çözüme sahip olurken, karar vericiler için de tatmin edici bir sonuca ulaşılmış olur.

Senaryoları kullanan tekniklerden olan stokastik ve robust optimizasyon yaklaşımları, senaryo tabanlı modelleri kullanan en etkin yaklaşımlardır. Stokastik programlama, olasılık dağılımı bilinen belirsiz parametre veya senaryo seti verilen durumlarda kârı maksimum ve/veya maliyeti minimum yapmaya çalışır. Robust optimizasyon ise eksiklikler bulunan veri seti ile kurulan senaryoları kullanarak kârı maksimum ve/veya maliyeti minimum yapmayı amaçlamaktadır (Kang ve Lansey, 2012: 325-326).

Mulvey vd., (1995) senaryo tabanlı doğrusal olmayan stokastik programlama ile iki robust model oluşturmuşlardır. Bu iki robust model, varyans temelli ve fazda temelli olarak hazırlanmıştır. Bu modeller, model sağlamlığı ve çözüm sağlamlığı olarak iki parça halinde hazırlanmıştır. Model sağlamlığı, tüm senaryo sonuçlarının optimal çözüme yakın olması ile çözüm sağlamlığı oluşturmuşlardır.

Kouvelis ve Li, (1997) minimax, pişmanlık kriterine dayalı üç farklı senaryo temelli robust optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Oluşturdukları modelde verilerin belirsizliği senaryo tabanlı olarak ele alınmıştır. Karar ölçütü olan minimax kriteri, “mutlak sağlamlık” olarak tanımlanmıştır. Kötümser ama korumacı bir yaklaşım olan bu robust optimizasyon yaklaşımı, olası veri senaryoları içerisinde en düşük getiriye sebep olan kararlar içerisinde getirisi en yüksek olanı seçmektedir.

Yu ve Li, (2000), Mulvey vd., (1995) tarafından önerilen modeldeki sapma değişkeni sayısını yarıya indirerek yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım ile

Mulvey vd., (1995)' nin hazırladıkları modeli doğrusal yapıya dönüştürmüşlerdir. Bu yaklaşım aynı zamanda değişken sayısını azaltarak problemin karmaşıklığını azaltmış ve çözüm sonuçlarının aynı şekilde elde edilmesini sağlamıştır.

II.2. Robust Optimizasyon Çalışmaları

Robust optimizasyon ve enerji verimliliğinin birlikte ele alındığı çalışmalar henüz literatürde yer almamaktadır. Ancak, robust optimizasyon ve enerji piyasalarındaki fiyat belirsizliği üzerine bazı çalışmalar mevcuttur. Ayrıca robust optimizasyon ile ilgili çeşitli alanlarda yapılmış çalışmalardan da bahsedilmiştir.

Cai ve arkadaşları (2019), elektrik piyasalarındaki önemli bir sorun olan elektrik piyasası fiyat belirsizliği üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, basınçlı hava enerji sisteminin kârını en üst seviyeye çıkarmak amacıyla robust stokastik yöntem ile yeni bir matematiksel model önermişlerdir. Araştırmacılar robust optimizasyon ile kapasite belirsizliğini modellerken, stokastik yöntem ile piyasa fiyatlarının belirsizliğini modellemeye çalışmışlardır. Çalışma sonunda belirsizlikler göz ardı edildiğinde toplam kâr 9585 dolar, belirsizlikler dikkate alınarak elde edilen robust optimizasyon ile elde edilen toplam kar ise 8753 dolar olarak bulunmuştur.

Bai ve arkadaşları (2019), çalışmalarında sürdürülebilir kalkınma problemleriyle ilgili literatürde yapılan çalışmalarda belirsiz bilgilerin görmezden gelindiğini tespit etmişlerdir. Bunun üzerine kararlar üzerindeki etkili olan bu bilgiler dikkate alınarak, robust optimizasyon ile yeni bir model önermişlerdir. Yeni modelde gayri safi milli hasıla, kişi başı elektrik tüketimi ve kişi başı sera gazı emisyon ölçümlerinin belirsizliği ele alınmıştır. Çalışma sonunda, oluşturdukları modelin hesaplanabilir ve etkili sonuçlar elde ettiğini belirtmişlerdir.

Jeddi ve arkadaşları (2019), çalışmalarında elektrik enerji dağıtım şirketlerinin getirilerini arttıracak ve aynı zamanda maliyetleri düşürecek, dinamik güvenilirliğe dayalı bir model önermişlerdir. Önerdikleri modelde yük belirsizliği ile başa çıkmak için robust optimizasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda robust optimizasyon yaklaşımı için ana zorluğun, büyük bir maliyete yol açabileceğini

belirtmişlerdir. Çünkü sistem davranışı rastgele parametrelerin en kötü şekilde gerçekleşmesine karşı optimize edildiğini açıklamışlardır. Bu nedenle, çözümün genellikle çok korumacı ve karamsar olduğunu ifade etmişlerdir.

Righetto ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, kırtasiye şirketlerinin nakit yönetimi problemindeki kararları desteklemek için karma tamsayılı doğrusal programlama ve robust optimizasyona dayanan etkili bir optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Zaman içindeki finansal akışları tanımlayan parametrelerde belirsizliği olan bir ortamda şebeke kazançları ve kayıplardaki sorunu ele almışlardır. Karar vericiyi risk ve getiri arasındaki değiş tokuş ile ilgili olarak desteklemek için bu robust optimizasyon yaklaşımını uygulayarak çeşitli sonuçlar ve analizler sunmuşlardır. Bu yaklaşımın, diğer yaklaşımlardan daha iyi veya daha iyi çözümler üretebildiğini göstermişlerdir.

Han ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, trafik akışı dinamiği Lighthill - Whitham - Richards (LWR) modeli tarafından tanımlanan sinyalizasyon edilmiş bir şebekede analitik bir sinyal kontrolünün problemlili olduğunu düşünerek, bu sorunu çözmeye çalışmışlardır. Bu problemi karma tamsayılı matematiksel programlama yaklaşımı kullanarak çözmeyi amaçlamışlardır. LWR modeline emisyonu dahil ederek LWR-E olarak adlandırdıkları modeli analiz etmeye çalışmışlardır. LWR-E modelinin hesaplamasındaki sorun doğrusal olmayan ve konveks olmayan emisyonla ilgili kısıtlamaların ve/veya amaçların varlığıdır. Bu hesaplama zorluğunu çözmek için, LWR-E probleminin karma tamsayılı doğrusal program olarak yeni bir formunu önermişlerdir. Bu yaklaşım, toplam emisyon oranı ile aynı bağlantı üzerinde taşıt doluluk oranı arasındaki istatistiksel olarak geçerli bir makroskopik ilişkinin varlığına dayanır. Bu ilişkili belirsizlikleri çözmek için, robust optimizasyon tekniklerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, önerilen modelin emisyonları sınırlama/azaltmadaki etkinliğini göstermişlerdir.

Shang ve arkadaşları (2016), çalışmalarında, konteyner terminallerinde entegre rıhtım tahsisi ve rıhtım vinci tahsisi problemini incelemişlerdir. Deterministik bir model ile rıhtım vinçlerinin kurulum zamanlarını dikkate alarak formüle etmişlerdir. Bununla birlikte, veri belirsizliklerinin mevcut olduğunu ve deterministik çözümün

olanaksız hale gelebildiğini belirtmişlerdir. Belirsizliklerin üstesinden gelmek için robust optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Ayrıca, konservatiflik seviyesini kontrol etmek için fiyat kısıtlamaları ile bir başka robust optimizasyon modeli önermişlerdir. Modelin çözümü için genetik algoritma kullanarak optimal çözümlere yakın değerler elde edileceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları hesaplamalar ile modellerin ve algoritmaların problemleri çözmek için etkili olduğunu göstermişlerdir.

Zokae ve arkadaşları (2016), afetlerde yardım operasyonlarının önemi nedeniyle belirsizlik altında insancıl lojistiği desteklemeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Tedarikçilerden, yardım dağıtım merkezlerinden ve etkilenen alanlardan oluşan üç seviyeli bir yardım zincir modelini ele almışlardır. Talep, arz ve tüm maliyet parametrelerine bağlı belirsizlik, belirsiz parametrelerin bağımsız ve sınırlı rastgele değişkenler olduğu tespit etmiş ve robust optimizasyon kullanılarak bir model önermişlerdir. Önerilen model, yardım zincirinin toplam maliyetlerini en aza indirmeye çalışırken, etkilenen alanlarda insanların ihtiyaçlarına ulaşmadaki memnuniyet düzeyini en üst düzeye çıkarmaktadır. İran'ın Alborz bölgesindeki deprem felaketi sonrasında elde edilen bir veri kümesi ile önerilen robust yardım zinciri modelinin etkinliğini orijinal modele göre test etmişlerdir. Çalışma sonucunda robust optimizasyon kullanılarak oluşturulan modelin, orijinal modele göre daha etkin olduğuna ulaşmışlardır.

Wang ve arkadaşları (2016), rüzgâr enerjisi entegrasyonu ve fiyatlara cevap veren talebin neden olduğu önemli ölçüde artan belirsizlikler nedeniyle, gün öncesi piyasasında ekonomik dağıtımın yeni zorluklarla karşı karşıya kaldığını belirtmişlerdir. Fiyat duyarlı talebin katılımıyla, bağımsız sistem işletmecisi, farklı rüzgâr enerjisi koşullarında hem düğüm fiyatı hem de yük değişikliklerine uyum sağlamak zorunda olduğunu belirtmişlerdir. Değişken düğüm fiyatlarını, basit bir deterministik model ile hem elektrik üretimi hem de yük tarafından belirlemişlerdir. Talep tarafı yönetiminin ise uygun sevk stratejilerinin sağlamlığı artırılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında yeni bir aktif robust optimizasyon gönderme modeli önermişlerdir. Önerilen model, tüm olası rüzgâr enerjisi koşullarını göz önünde bulundurarak, fiyatı duyarlı talebin etkilerini ortaya çıkarmak için

dinamik optimizasyonla robust optimizasyonu birleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen aktif robust optimizasyon gönderme modelinin etkin olduğunu tespit etmişlerdir.

Modarres ve Izadpanahi (2016), enerji planlaması için talep ve üretim kapasitesini göz önünde bulundurarak toplu bir planlama modeli geliştirmişlerdir. Model, işletme maliyetini, enerji maliyetini ve karbon salınımını en aza indiren üç nesnel işlevli doğrusal bir programdır. Önerdikleri modeli, bir hedef kazanma tekniği uygulayan tek amaçlı bir model olarak çözmüşlerdir. Belirsiz girdi verilerinin etkilerini yenmek için, bu modele robust optimizasyon yaklaşımını uygulamışlardır. Önerilen yaklaşımı, alüminyum, bakır ve kurşun gibi geniş bir ürün yelpazesi üreten bir eritme üreticisine uygulamışlardır. Amaç fonksiyon parametrelerindeki belirsizliği göz önünde bulundurarak, belirsizlik bütçeleri ile optimal değerler arasındaki ilişkiye dair bazı görüşler sunmuşlardır. Ayrıca, ürün taleplerindeki belirsizlik konusunda, deterministik çözümlerden daha iyi performansa sahip robust çözümler üretmişlerdir. Sonuç olarak, enerji maliyetlerinin toplam maliyetlerin %21 ini oluşturduğunu göstermişlerdir. Ayrıca fosil enerjiden %5 lik tasarruf sağlandığında, karbon emisyonunda %7,5' luk bir azalmanın gözlemlenebileceğini belirtmişlerdir.

III. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULUŞ YERİ SEÇİMİ BULGULARI

Çalışmanın bu bölümünde araştırma modelinde yer alacak parametreler, karar değişkenleri ve amaç fonksiyonu belirlenecektir. Daha sonra elde edilen modele göre bulgular tespit edilip, yorumlanacaktır.

III.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmada güneş enerji santrali ve enerji verimliliği için bir model önerilmiştir. Önerilen (orijinal) model ve robust eş değer model optimize edilerek alternatifler arasından en uygun ilin belirlenmesi amaçlanmıştır. Literatür incelendiğinde kuruluş yeri seçiminde genellikle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. ÇKKV yöntemleri ile çözümde uzman görüşüne bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu da yatırımcılar açısından kafa karıştırıcı ve hatta yanlış karar vermelerine sebep olmaktadır. Belirsiz parametrelerin yer aldığı modellerin çözümünün üstesinden gelebilen robust optimizasyon, çalışmanın esas yöntemi olarak belirlenmiştir. Robust optimizasyon yöntemi, en kötü şartlar altında en uygun çözümün elde edilmesinde kullanılmaktadır. Modelin robust optimizasyon ile sonuçları elde edilip, en uygun kuruluş yeri seçiminin yapılması amaçlanmıştır.

III.2. Çalışmanın Önemi ve Özgünlüğü

Dünya’da ve Türkiye’de hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi artırmıştır. Öyle ki, enerjiye olan talep ülkelerin büyüme ve kalkınmalarında en önemli göstergelerden biri haline gelmiştir. Enerji bu kadar önemliyken, enerji talebinin karşılanabilmesi için kullanılacak olan yenilenebilir enerji kaynakları tesisi kuruluş yerinin en uygun olanının seçilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Robust optimizasyon ile kuruluş yeri seçiminde optimalliği etkileyebilen belirsiz koşulların etkisi hesaplanarak, optimalliğin daha sağlam olması sağlanacaktır. Ayrıca henüz ülkemizde literatürde oldukça az sayıda yayın yapılmış

ve yeni bir teknik olan robust optimizasyon tekniğinin kullanılacak olması oldukça önemlidir.

Literatürde, enerji santrali kuruluş yeri seçimi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Ancak yüksek maliyetli santrallerin kuruluş yeri seçiminde güneşlenme süresi, ışınım şiddeti değeri, rüzgâr hızı ve sıcaklık parametreleri daha önce hiç incelenmemiştir. Bu parametrelerin gelecekteki değerlerinin belirsiz olması verimliliği oldukça etkileyebilmektedir. Bu nedenle, bu parametrelerin en kötü durum şartlarında verimliliği nasıl etkilediği bir model kurularak incelenmiştir. Ayrıca, kuruluş yeri seçimi göreceli sonuçlara sahip olan çok kriterli karar verme teknikleri yerine, sonuçları daha objektif ve daha sağlam olan robust optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Tüm bu sebepler çalışmanın özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

III.3. Modelde Yer Alacak Parametreler

Güneş enerji santrallerinin verimliliğini etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar; santral tipi, panel tipi, arazi eğimi, kablolama çeşidi, güneşlenme süresi, ışınım şiddeti değeri, rüzgâr hızı, sıcaklık, invertör tipi ve kurulum seti vb. olarak verilebilir. Bu parametreler arasında değerlerinde belirsizliğe sahip olanlar güneşlenme süresi, ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve sıcaklıktır. Diğer parametrelerin verime etkisi ve/veya katkısı genellikle bilinmektedir. Bu sebeple güneşlenme süresi, ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve sıcaklık parametreleri dışındaki parametreler, santral kurulumu düşünülen alanlar için sabit olarak kabul edilmiştir.

Kuruluş yeri seçimi alternatifleri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verileri eksiksiz olarak alınabilen Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas ve Van olmak üzere toplam 13 il merkezi olarak belirlenmiştir. Modelde yer alan parametreler açısından bu illere bakıldığında özellikle ışınım şiddeti değeri için söz konusu iller bu kısıtları sağlayabilmektedir. Geri kalan 68 ilden 37 il ışınım şiddeti değeri kısıtını sağlamadığı için, 31 il ise meteorolojiden alınan verilerde ışınım şiddeti değeri bulunamadığından değerlendirmeye alınamamıştır. Kuruluş yeri alternatifleri olarak alınan iller, modelin karar değişkenlerini oluşturmaktadır ve Şekil-13' de gösterilmiştir.

Şekil 13. Kuruluş Yeri Alternatiflerini Gösteren Harita



Kurulacak en uygun şehrin belirlenmesi 0-1 tam sayılı programlama sorunları ile ele alınmıştır. Oluşturulan orijinal model ve robust eş değer model çözümlenerek, en uygun ilin belirlenmesi amaçlanmıştır.

III.4. Veri Kümesi

Çalışmanın veri kümesini 1998 – 2018 yılları arasında Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas ve Van illerine ait güneşlenme süresi, ışınım şiddeti, rüzgâr hızı, sıcaklık değerleri oluşturmuştur.

Değerlendirmeye dâhil edilen 13 ilin verileri incelendiğinde, 2018 yılından geriye doğru 9 veya 14 yıllık ışınım değerlerinin mevcut olduğu görülmektedir. Güneş enerji santrallerinin ekonomik ömrünün 20 yıl olduğu düşünüldüğünde, geri kalan veriler için geriye dönük tahminde bulunarak tamamlanması gerekmektedir.

Işınım şiddeti değerlerinin tahmini için literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde en uygun yöntemlerden birinin regresyon analizi yöntemi olduğu görülmektedir. Deniz ve Atik (2007), yapmış oldukları çalışma ile regresyon analizi

yöntemi ile yapılan tahminlerin düşük hata değeri ve yüksek korelasyon katsayısına sahip olmasından dolayı tahmin için etkin olduğunu tespit etmişlerdir.

Tahmin için modelde yer alan güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve sıcaklık parametreleri kullanılmıştır. Işınım değerlerini tahmin etmek için kullanılacak olan güneşlenme süresi, ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve sıcaklık değişkenleri arasındaki korelasyon değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Güneşlenme Süresi, Işınım Şiddeti, Rüzgâr Hızı ve Sıcaklık Değişkenleri Arasındaki Korelasyon Değerleri

İller		Işınım Şiddeti	Güneşlenme Süresi	Rüzgâr Hızı	Sıcaklık
Adana	Işınım Şiddeti	1,000			
	Güneşlenme Süresi	0,839**	1,000		
	Rüzgâr Hızı	0,339**	0,180	1,000	
	Sıcaklık	0,823**	0,827**	0,162	1,000
Afyonkarahisar	Işınım Şiddeti	1,000			
	Güneşlenme Süresi	0,838**	1,000		
	Rüzgâr Hızı	0,519**	0,401**	1,000	
	Sıcaklık	0,849**	0,850**	0,416**	1,000
Ağrı	Işınım Şiddeti	1,000			
	Güneşlenme Süresi	0,892**	1,000		
	Rüzgâr Hızı	0,728**	0,626**	1,000	
	Sıcaklık	0,896**	0,874**	0,736**	1,000

** Korelasyonlar 0,01 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 1. (devamı)

İller		Işınım Şiddeti	Güneşlenme Süresi	Rüzgâr Hızı	Sıcaklık
Aksaray	Işınım Şiddeti	1,000			
	Güneşlenme Süresi	0,915**	1,000		
	Rüzgâr Hızı	0,537**	0,492**	1,000	
	Sıcaklık	0,899**	0,893**	0,495**	1,000
Erzincan	Işınım Şiddeti	1,000			
	Güneşlenme Süresi	0,892**	1,000		
	Rüzgâr Hızı	0,579**	0,345**	1,000	
	Sıcaklık	0,837**	0,904**	0,349**	1,000
Erzurum	Işınım Şiddeti	1,000			
	Güneşlenme Süresi	0,871**	1,000		
	Rüzgâr Hızı	0,483**	0,462**	1,000	
	Sıcaklık	0,761**	0,910**	0,532**	1,000
Hakkâri	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,875**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,733**	0,635**	1	
	Sıcaklık	0,862**	0,877**	0,701**	1

** Korelasyonlar 0,01 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 1. (devamı)

İller		Işınım Şiddeti	Güneşlenme Süresi	Rüzgâr Hızı	Sıcaklık
Karaman	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,876**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,308**	0,178	1	
	Sıcaklık	0,880**	0,887**	0,150	1
Kilis	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,912**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,591**	0,478**	1	
	Sıcaklık	0,868**	0,879**	0,548**	1
Malatya	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,869**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,718**	0,633**	1	
	Sıcaklık	0,870**	0,869**	0,587**	1
Muğla	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,901**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,551**	0,601**	1	
	Sıcaklık	0,844**	0,837**	0,484**	1

** Korelasyonlar 0,01 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 1. (devamı)

İller		Işınım Şiddeti	Güneşlenme Süresi	Rüzgâr Hızı	Sıcaklık
Sivas	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,928**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,464**	0,296**	1	
	Sıcaklık	0,869**	0,930**	0,221**	1
Van	Işınım Şiddeti	1			
	Güneşlenme Süresi	0,875**	1		
	Rüzgâr Hızı	0,464**	0,437**	1	
	Sıcaklık	0,828**	0,841**	0,502**	1

** Korelasyonlar 0,01 seviyesinde anlamlıdır.

Tablo 1 e göre, tüm illere ait ışınım şiddeti değeri ile güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerleri arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir ($p < 0,01$). Işınım şiddeti ile güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti ile sıcaklık değerleri arasında kuvvetli ve pozitif yönlü ($r \geq 0,75$) ilişki bulunmuştur.

Işınım şiddeti ile rüzgâr hızı arasında Ağrı, Hakkari ve Malatya illeri için pozitif yönlü ve kuvvetli ilişki ($r \geq 0,70$), Afyonkarahisar, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Kilis, Muğla, Sivas ve Van illeri için pozitif yönlü orta ilişki ($0,45 \leq r < 0,70$), Adana ve Karaman illeri için pozitif yönlü zayıf ilişki ($r < 0,45$) bulunmuştur.

Işınım şiddeti değerlerini tahmin etmek için kullanılacak olan güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve sıcaklık ile ışınım şiddeti değerleri arasındaki regresyon modellerinin anlamlılığını gösteren Varyans Analizi (ANOVA), Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Varyans Analizi (ANOVA) Tablosu

Modeller		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig. (p)
Adana	Regresyon	231046,995	3	77015,665	135,653	0,000
	Artık	61316,144	108	567,742		
	Toplam	292363,139	111	-		
Afyonkarahisar	Regresyon	495464,666	3	165154,889	212,753	0,000
	Artık	127309,272	164	776,276		
	Toplam	622773,938	167	-		
Ağrı	Regresyon	339641,404	3	113213,801	230,111	0,000
	Artık	52643,613	107	491,996		
	Toplam	392285,017	110	-		
Aksaray	Regresyon	396084,131	3	132028,044	254,471	0,000
	Artık	56033,991	108	518,833		
	Toplam	452118,123	111	-		
Erzincan	Regresyon	4543450,771	3	1514483,590	614,353	0,000
	Artık	611361,286	248	2465,166		
	Toplam	5154812,057	251	-		
Erzurum	Regresyon	3145653,835	3	1048551,278	264,271	0,000
	Artık	888767,904	224	3967,714		
	Toplam	4034421,739	227	-		
Hakkâri	Regresyon	292560,640	3	97520,213	178,202	0,000
	Artık	59102,364	108	547,244		
	Toplam	351663,004	111	-		
Karaman	Regresyon	301847,592	3	100615,864	190,991	0,000
	Artık	56898,510	108	526,810		
	Toplam	358743,103	111	-		
Kilis	Regresyon	371539,030	3	123846,343	242,322	0,000
	Artık	55196,778	108	511,081		
	Toplam	426735,808	111	-		
Malatya	Regresyon	353790,008	3	117930,003	196,430	0,000
	Artık	63638,843	106	600,366		
	Toplam	417428,852	109	-		
Muğla	Regresyon	612264,901	3	204088,300	285,110	0,000
	Artık	117395,092	164	715,824		
	Toplam	729659,993	167	-		
Sivas	Regresyon	4293529,084	3	1431176,361	613,708	0,000
	Artık	466402,747	200	2332,014		
	Toplam	4759931,832	203	-		
Van	Regresyon	300064,646	3	100021,549	140,723	0,000
	Artık	76763,174	108	710,770		
	Toplam	376827,821	111	-		

Tablo 2' ye bakıldığında söz konusu iller için oluşturulan modeller istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,000 < \alpha=0,01$).

Işınım şiddeti değerlerini tahmin etmek için kullanılacak olan güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve sıcaklık ile ışınım şiddeti arasındaki regresyon modelleri, modeldeki katsayılar ve katsayıların anlamlılığı Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3. Işınım Şiddeti İle Güneşlenme Süresi, Rüzgâr Hızı ve Sıcaklık Arasındaki Regresyon Analizi Sonuçları

İller	Katsayılar	Regresyon Sabiti	Güneşlenme Süresi (T)	Rüzgâr Hızı (W)	Sıcaklık (S)	R ²	Sig. (p)
Adana		-78,965	0,342	47,022	2,982	0,790	0,000
Afyonkarahisar		-41,892	0,277	42,232	3,374	0,796	0,000
Ağrı		20,246	0,341	20,608	1,931	0,866	0,000
Aksaray		-10,225	0,366	15,157	2,908	0,876	0,000
Erzincan		-90,381	1,269	139,010	0,774	0,881	0,000
Erzurum		25,485	1,574	21,489	-3,457	0,780	0,000
Hakkâri		-9,115	0,322	30,862	1,496	0,832	0,000
Karaman		-6,467	0,251	24,693	3,383	0,841	0,000
Kilis		-29,387	0,435	20,262	1,503	0,871	0,000
Malatya		-18,454	0,232	37,162	2,762	0,848	0,000
Muğla		2,735	0,418	6,455	2,523	0,839	0,000
Sivas		-48,273	1,048	124,695	2,289	0,902	0,000
Van		0,788	0,426	9,365	1,916	0,796	0,000

Tablo 3' e bakıldığında tüm iller için güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerlerinin ışınım şiddeti değerini açıklama oranları olan R² değerleri oldukça yüksek ($R^2 \geq 0,78$) bulunmuştur. Modellerde yer alan katsayıların her biri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,000 < \alpha=0,01$).

Her bir il için oluşturulan regresyon denklemleri;

$$\text{Adana; } \hat{R} = -78,965 + 0,342 * T + 47,022 * W + 2,982 * S$$

$$\text{Afyonkarahisar; } \hat{R} = -41,892 + 0,277 * T + 42,232 * W + 3,374 * S$$

$$\text{Ağrı; } \hat{R} = 20,246 + 0,341 * T + 20,608 * W + 1,931 * S$$

$$\text{Aksaray; } \hat{R} = -10,225 + 0,366 * T + 15,157 * W + 2,908 * S$$

$$\text{Erzincan; } \hat{R} = -90,381 + 1,269 * T + 139,010 * W + 0,774 * S$$

$$\text{Erzurum; } \hat{R} = 25,485 + 1,574 * T + 21,489 * W - 3,457 * S$$

$$\text{Hakkari; } \hat{R} = -9,115 + 0,322 * T + 30,862 * W + 1,496 * S$$

$$\text{Karaman; } \hat{R} = -6,467 + 0,251 * T + 24,693 * W + 3,383 * S$$

$$\text{Kilis; } \hat{R} = -29,387 + 0,435 * T + 20,262 * W + 1,503 * S$$

$$\text{Malatya; } \hat{R} = -18,454 + 0,232 * T + 37,162 * W + 2,762 * S$$

$$\text{Muğla; } \hat{R} = 2,735 + 0,418 * T + 6,455 * W + 2,523 * S$$

$$\text{Sivas; } \hat{R} = -48,273 + 1,048 * T + 124,695 * W + 2,289 * S$$

$$\text{Van; } \hat{R} = -0,788 + 0,426 * T + 9,365 * W + 1,916 * S$$

olarak elde edilir. Oluşturulan bu modellerden Adana ili için ışıınım şiddeti değeri;

$\beta_0 = -78,965$: Güneşlenme süresi, Rüzgâr hızı ve Sıcaklık sıfır iken ışıınım şiddeti değeri $-78,965$ olacaktır.

$\beta_1 = 0,342$: Güneşlenme süresi bir birim arttığında ışıınım şiddeti değeri $0,342$ birim artacaktır.

$\beta_2 = 47,022$: Rüzgâr hızı bir birim arttığında ışıınım şiddeti değeri $47,022$ birim artacaktır.

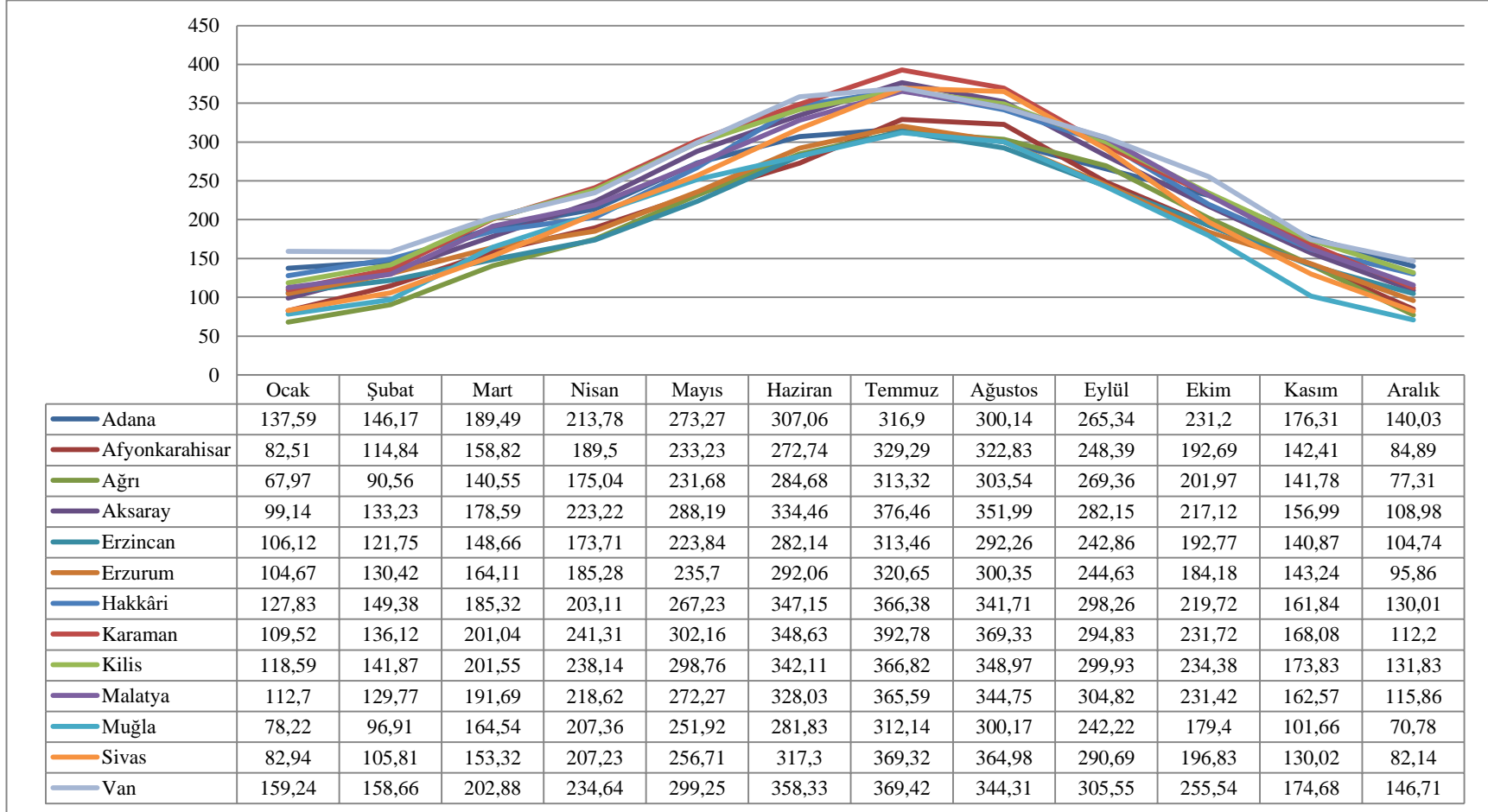
$\beta_3 = 2,982$: Sıcaklık bir birim arttığında ışıınım şiddeti değeri $2,982$ birim artacaktır. Örneğin; 2009 yılı Ağustos ayı (güneşlenme süresi: 321.2, rüzgar hızı: 1.10, sıcaklık değeri: 29.10) için tahmini ışıınım şiddeti değeri;

$\hat{R} = -78,965 + 0,342 * (321,20) + 47,022 * (1,10) + 2,982 * (29,10) = 169,40$
cal/cm² olarak hesaplanır.

Veri kümesini oluşturan illerin güneşlenme süresi parametresine ilişkin aylık ortalama değerler Şekil 14' te gösterilmiştir.



Şekil 134. İllerin Güneşlenme Sürelerinin Aylık Ortalama Değerleri

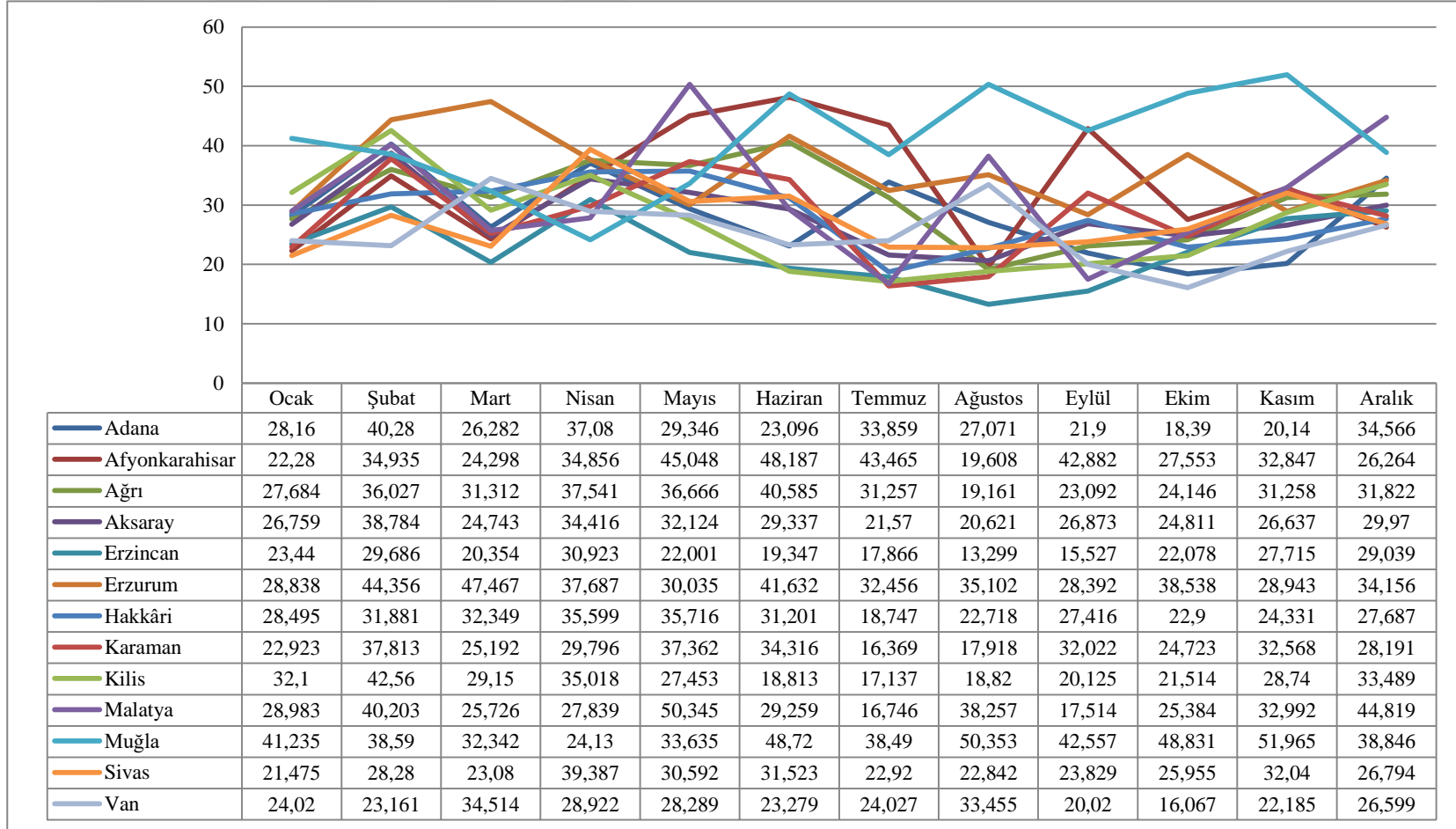


Şekil 14' e göre yılın ayları itibariyle güneşlenme sürelerinin en yüksek ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak, Şubat ve Mart aylarında Van, Nisan ve Mayıs aylarında Karaman, Haziran ayında Van, Temmuz ve Ağustos aylarında Karaman, Eylül ve Ekim aylarında Van, Kasım ayında Adana ve Aralık ayında Van olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dahil olan iller arasında güneşlenme süresi bakımından Van ve Karaman illeri en yüksek ortalamaya sahip iller olarak tespit edilmiştir.

Yılın ayları itibariyle güneşlenme sürelerinin en düşük ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak, Şubat ve Mart aylarında Ağrı, Nisan ve Mayıs aylarında Erzincan, Haziran ayında Afyonkarahisar, Temmuz ayında Muğla, Ağustos ayında Erzincan, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında Muğla olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dahil olan iller arasında güneşlenme süresi bakımından Ağrı, Erzincan ve Karaman illeri en düşük ortalamaya sahip iller olarak tespit edilmiştir.

Veri kümesini oluşturan illerin güneşlenme süresi parametresinin standart sapma değerleri Şekil 15' de gösterilmiştir.

Şekil 145. İllerin Güneşlenme Sürelerinin Standart Sapma Değerleri

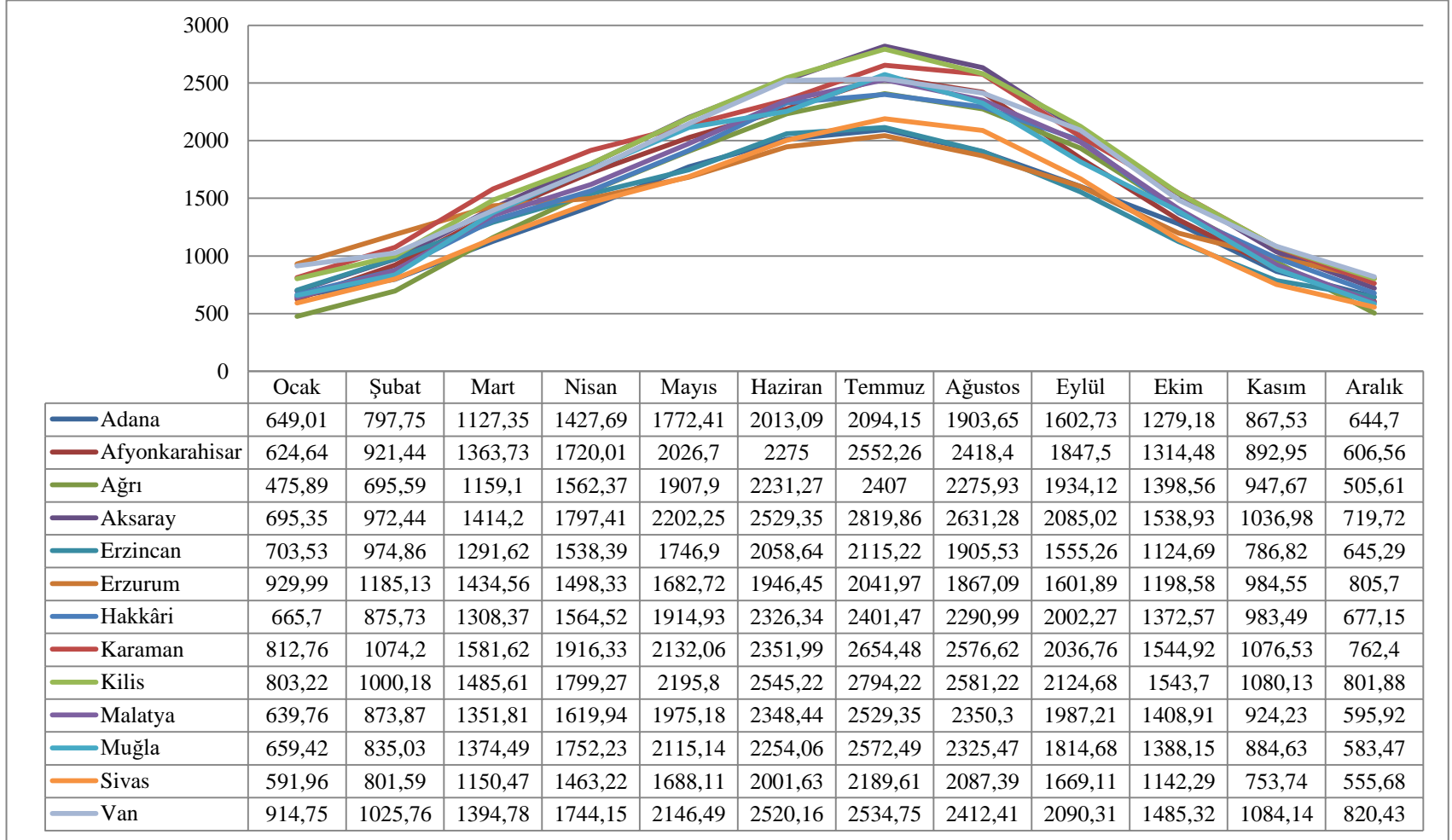


Şekil 15' e göre yılın ayları itibariyle güneşlenme sürelerinin en yüksek standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Muğla, Şubat ve Mart aylarında Erzurum, Nisan ayında Sivas, Mayıs ayında Malatya, Haziran ayında Muğla, Temmuz ayında Afyonkarahisar, Ağustos ayında Muğla, Eylül ayında Afyonkarahisar, Ekim ve Kasım aylarında Muğla ve Aralık ayında Malatya olmuştur. Yani bu illerde güneşlenme sürelerinde değişkenliğin çok olduğu görülmektedir.

Yılın ayları itibariyle güneşlenme sürelerinin en düşük standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Sivas, Şubat ayında Van, Mart ayında Erzincan, Nisan ayında Muğla, Mayıs ayında Erzincan, Haziran ayında Kilis, Temmuz ayında Karaman, Ağustos ve Eylül ayında Erzincan, Ekim ayında Van, Kasım ayında Adana ve Aralık ayında Afyonkarahisar olmuştur. Yani bu illerde güneşlenme sürelerinde değişkenliğin az olduğu görülmektedir.

Veri kümesini oluşturan illerin ışınlam şiddeti değeri parametresinin aylık ortalama değerleri Şekil 16' da gösterilmiştir.

Şekil 15. İllerin Işınım Şiddeti Değerlerinin Aylık Ortalama Değerleri

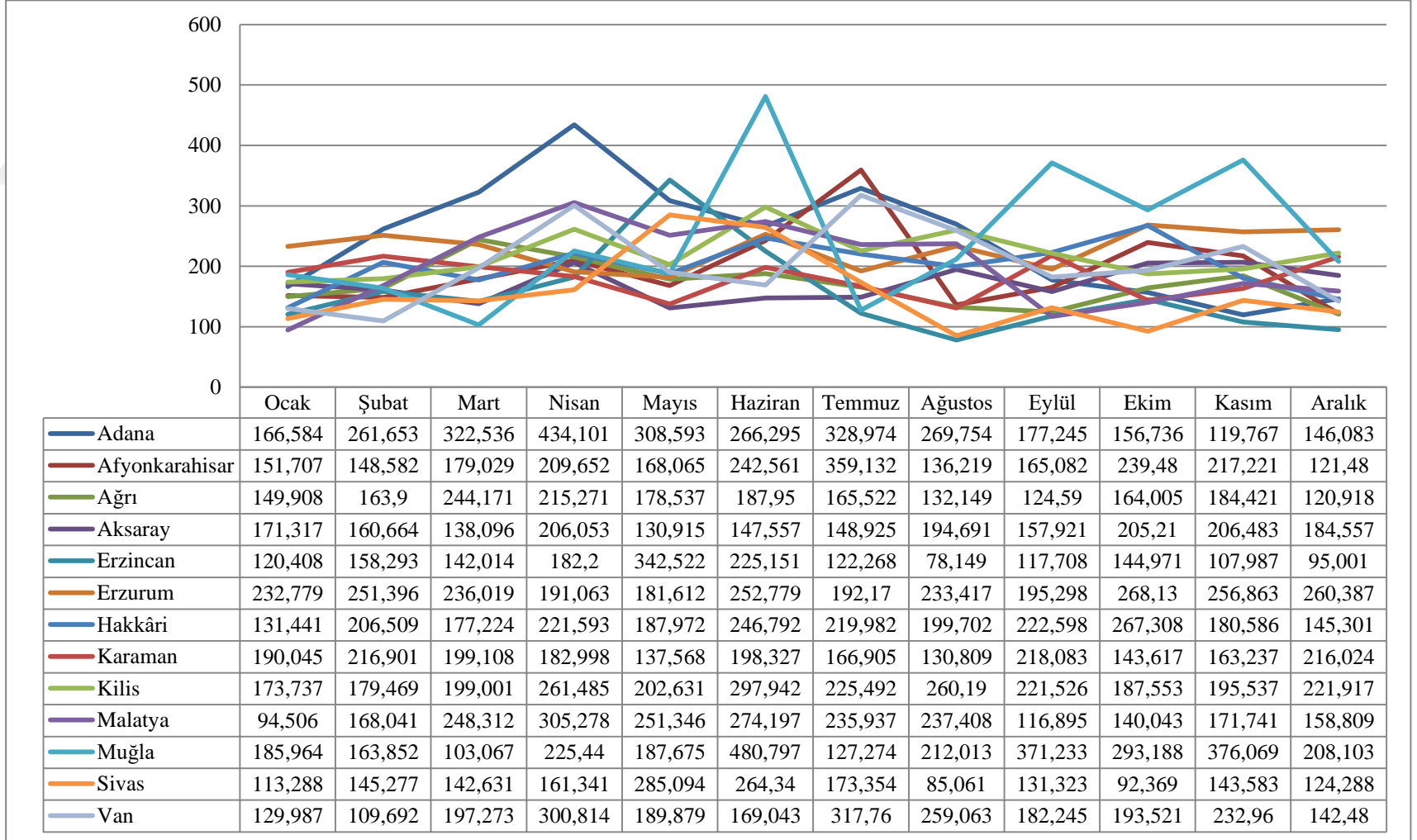


Şekil 16' ya göre yılın ayları itibariyle ışıınım değerlerinin en yüksek ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak ve Şubat aylarında Erzurum, Mart ve Nisan aylarında Karaman, Mayıs ve Haziran aylarında Kilis, Temmuz ve Ağustos aylarında Aksaray, Eylül ayında Kilis, Ekim ayında Karaman, Kasım ve Aralık aylarında Van olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dahil olan iller arasında ışıınım değerleri bakımından Karaman ve Kilis illeri en yüksek ortalamaya sahip iller olarak tespit edilmiştir.

Yılın ayları itibariyle ışıınım değerlerinin en düşük ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak ve Şubat aylarında Ağrı, Mart ve Nisan aylarında Adana, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında Erzurum, Eylül ve Ekim aylarında Erzincan, Kasım ayında Sivas ve Aralık ayında Ağrı olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dahil olan iller arasında ışıınım değerleri bakımından Erzurum ili en düşük ortalamaya sahip il olarak tespit edilmiştir.

Veri kümesini oluşturan illerin ışıınım şiddeti değeri parametresinin standart sapma değerleri Şekil 17' de gösterilmiştir.

Şekil 16. İllerin Işınım Şiddeti Değerlerinin Standart Sapma Değerleri

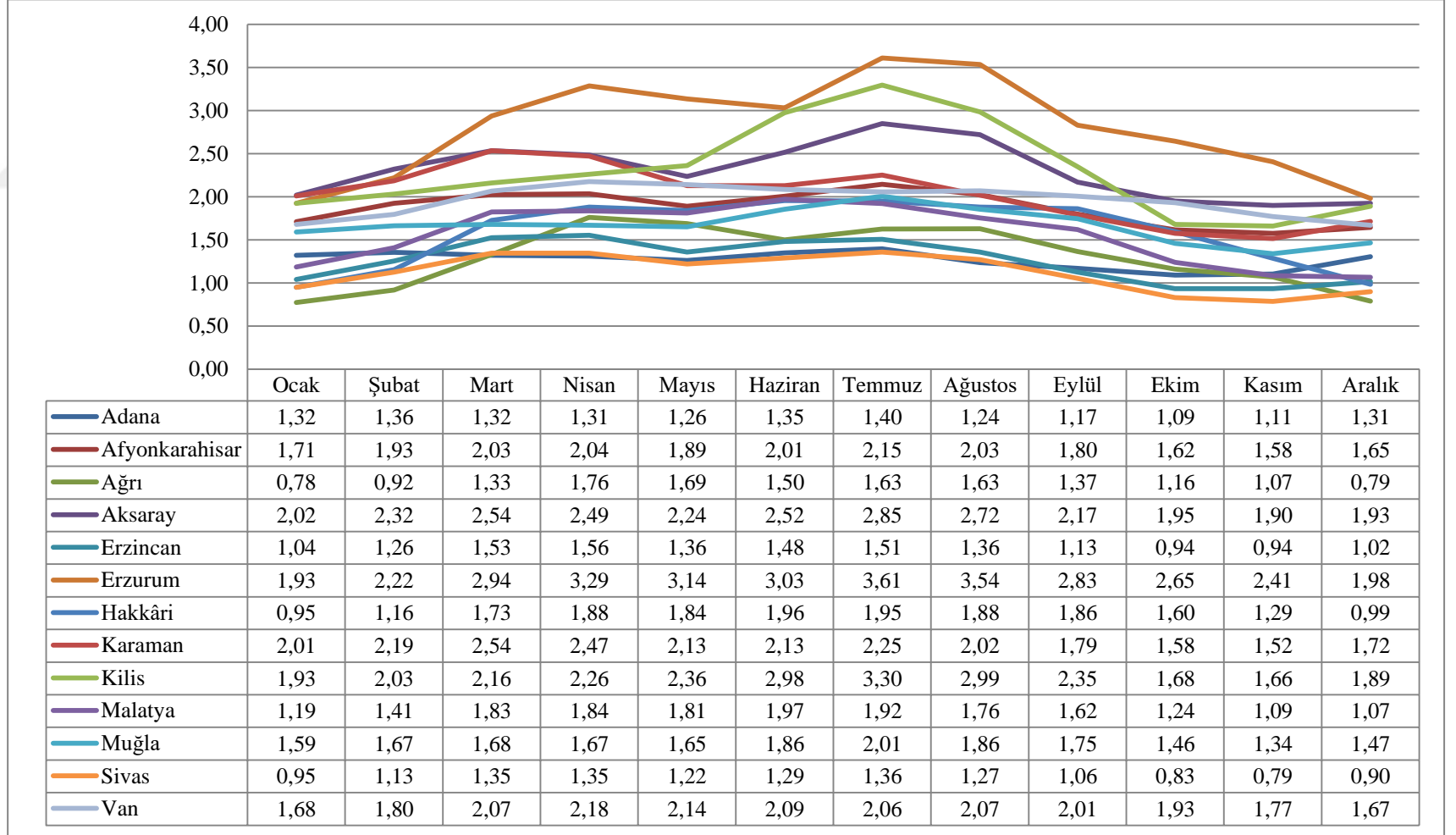


Şekil 17' ye göre yılın ayları itibariyle ışıınım değerlerinin en yüksek standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Erzurum, Şubat, Mart ve Nisan aylarında Adana, Mayıs ayında Erzincan, Haziran ayında Muğla, Temmuz ayında Afyonkarahisar, Ağustos ayında Adana, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında Muğla ve Aralık ayında Erzurum olmuştur. Yani bu illerde ışıınım değerlerinde değişkenliğin çok olduğu görölmektedir.

Yılın ayları itibariyle ışıınım değerlerinin en düşük standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Malatya, Şubat ayında Van, Mart ayında Muğla, Nisan ayında Sivas, Mayıs ve Haziran aylarında Aksaray, Temmuz ve Ağustos aylarında Erzincan, Eylül ayında Malatya, Ekim ayında Sivas, Kasım ve Aralık ayında Erzincan olmuştur. Yani bu illerde ışıınım değerlerinde değişkenliğin az olduğu görölmektedir.

Veri kümesini oluşturan illerin rüzgâr hızı parametresinin aylık ortalama değerleri Şekil 18' de gösterilmiştir.

Şekil 17. İllerin Rüzgâr Hızlarının Aylık Ortalama Değerleri

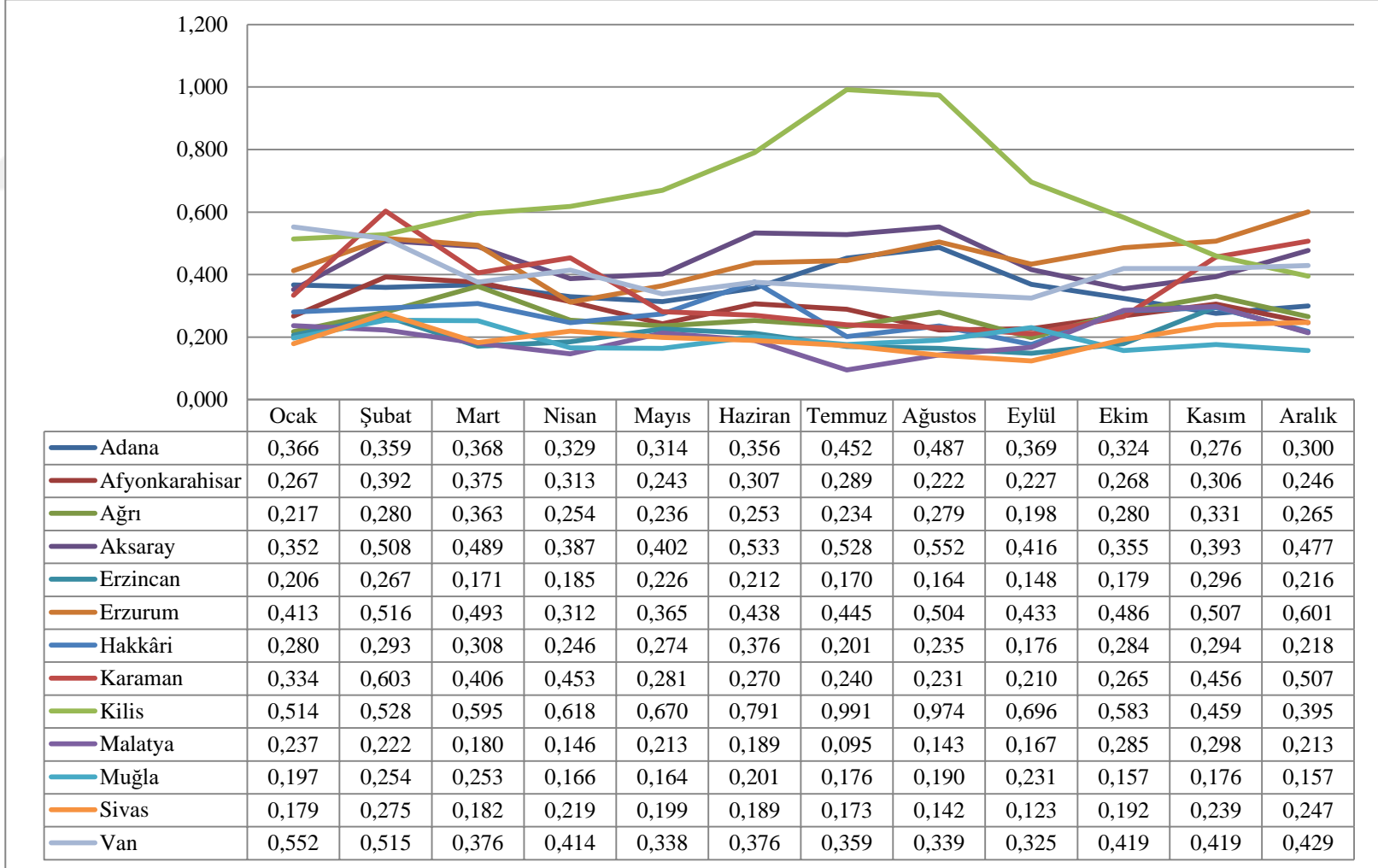


Şekil 18' e göre yılın ayları itibariyle rüzgâr hızının en yüksek ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak ve Şubat aylarında Aksaray, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında Erzurum olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dâhil olan iller arasında rüzgâr hızı bakımından Erzurum ili en yüksek ortalamaya sahip il olarak tespit edilmiştir.

Yılın ayları itibariyle rüzgâr hızının en düşük ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak ve Şubat aylarında Ağrı, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında Adana, Haziran ve Temmuz aylarında Sivas, Ağustos ayında Adana, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında Sivas ve Aralık ayında Ağrı olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dâhil olan iller arasında rüzgâr hızı bakımından Adana ve Sivas illeri en düşük ortalamaya sahip iller olarak tespit edilmiştir.

Veri kümesini oluşturan illerin rüzgâr hızı parametresinin standart sapma değerleri Şekil 19' da gösterilmiştir.

Şekil 18. İllerin Rüzgâr Hızlarının Standart Sapma Değerleri

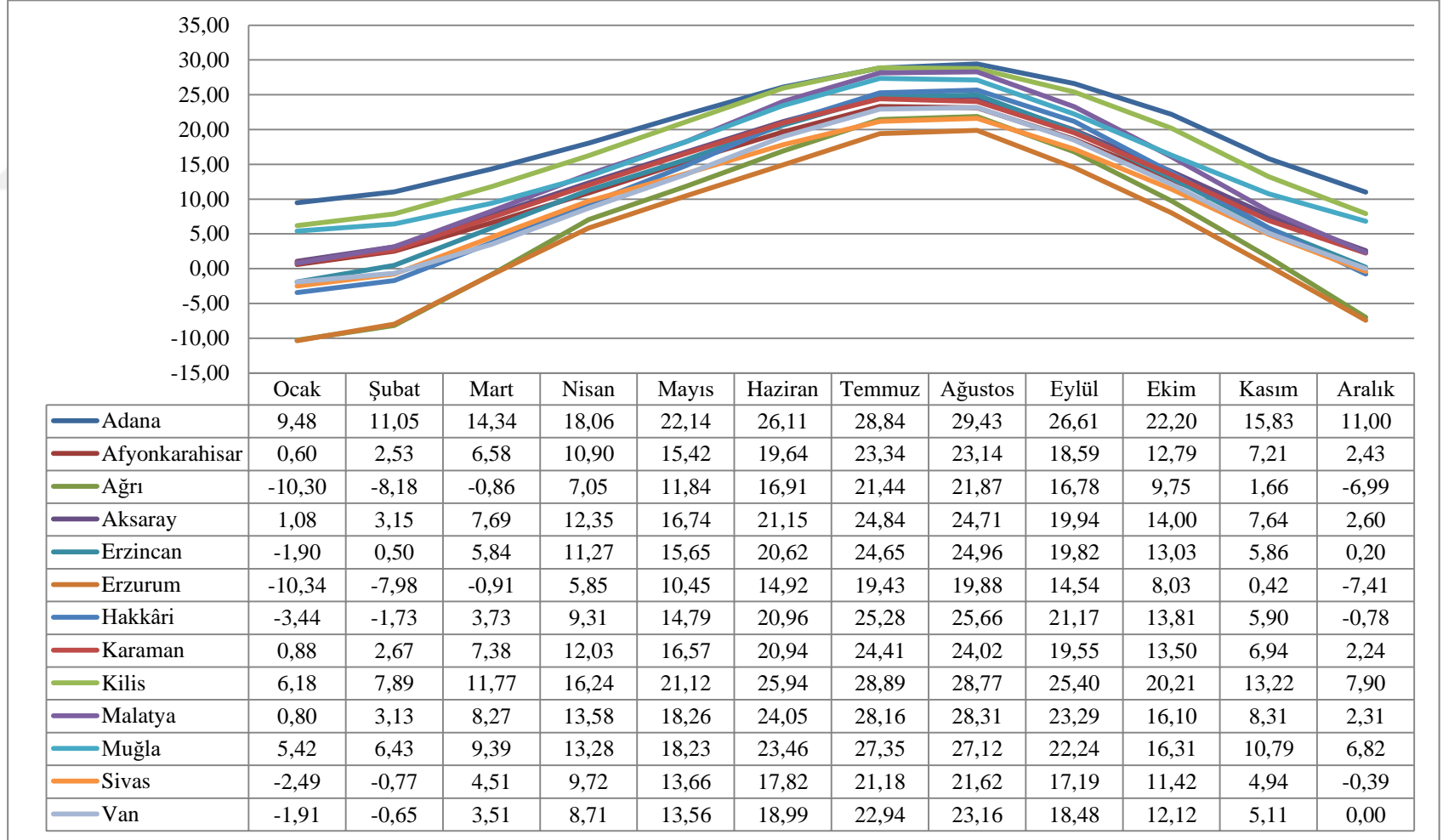


Şekil 19' a göre yılın ayları itibariyle rüzgâr hızının en yüksek standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Van, Şubat ayında Karaman, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında Kilis, Kasım ve Aralık aylarında Erzurum olmuştur. Yani bu illerin rüzgâr hızlarında değişkenliğin çok olduğu görülmektedir.

Yılın ayları itibariyle rüzgâr hızının en düşük standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Sivas, Şubat ayında Malatya, Mart ayında Erzincan, Nisan ayında Malatya, Mayıs ayında Erzincan, Haziran ayında Sivas, Temmuz ayında Malatya, Ağustos ve Eylül aylarında Sivas, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında Muğla olmuştur. Yani bu illerin rüzgâr hızlarında değişkenliğin az olduğu görülmektedir.

Veri kümesini oluşturan illerin sıcaklık parametresinin aylık ortalama değerleri Şekil 20' de gösterilmiştir.

Şekil 20. İllerin Sıcaklık Değerlerinin Aylık Ortalama Değerleri

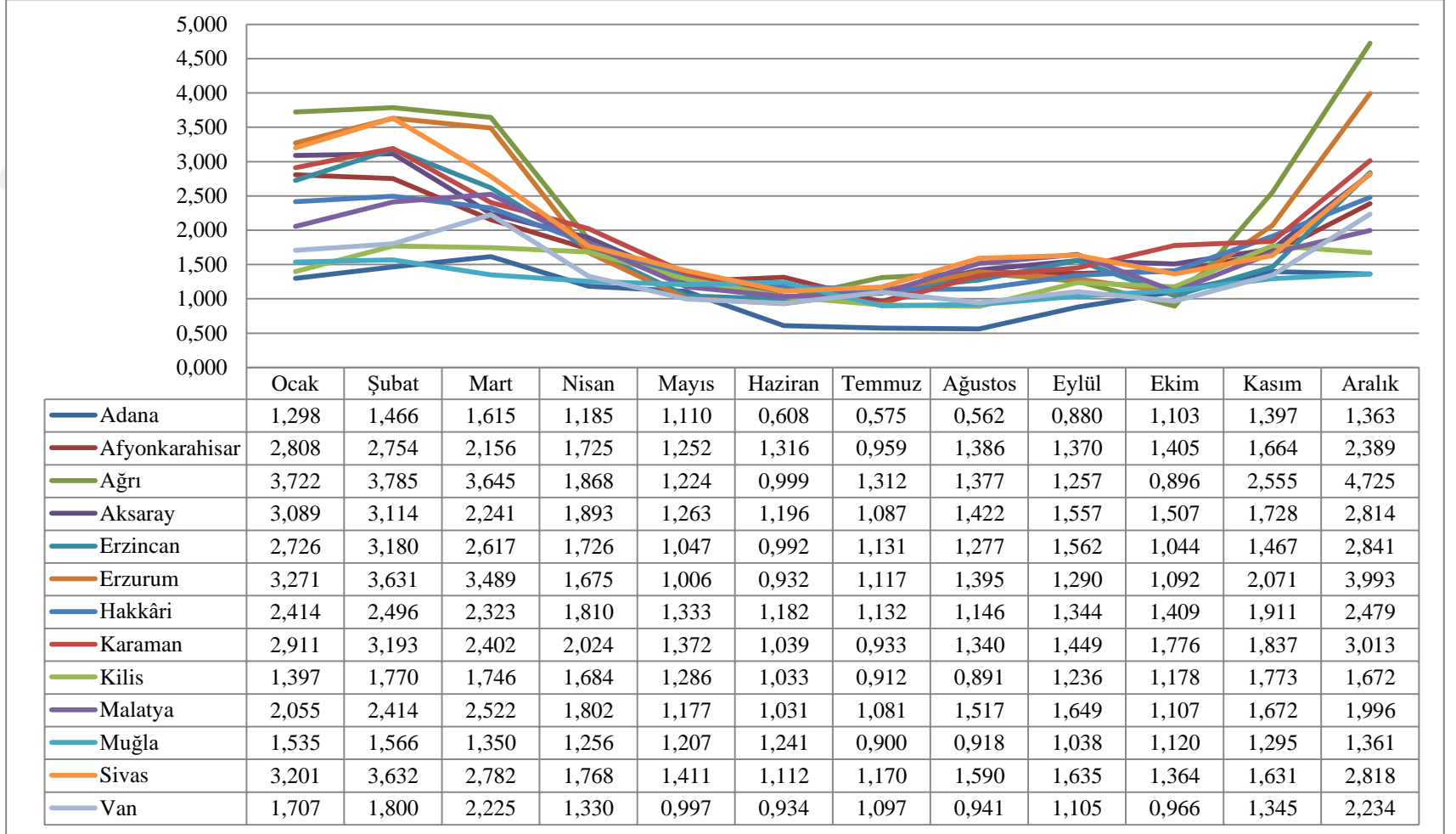


Şekil 20' ye bakıldığında yılın ayları itibariyle sıcaklık değerlerinin en yüksek ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında Adana, Temmuz ayında Kilis, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında Adana olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dâhil olan iller arasında sıcaklık değerleri bakımından Adana ili en yüksek ortalamaya sahip il olarak tespit edilmiştir.

Yılın ayları itibariyle sıcaklık değerlerinin en düşük ortalamaya sahip olduğu iller; Ocak ayında Erzurum, Şubat ayında Ağrı, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında Erzurum olmuştur. Görüldüğü gibi çalışmaya dâhil olan iller arasında sıcaklık değerleri bakımından Erzurum ili en düşük ortalamaya sahip il olarak tespit edilmiştir.

Veri kümesini oluşturan illerin sıcaklık parametresinin standart sapma değerleri Şekil 21' de gösterilmiştir.

Şekil 19. İllerin Sıcaklık Değerlerinin Standart Sapma Değerleri



Şekil 21' e bakıldığında yılın ayları itibariyle sıcaklık değerlerinin en yüksek standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak, Şubat ve Mart aylarında Ağrı, Nisan ayında Karaman, Mayıs ayında Sivas, Haziran ayında Afyonkarahisar, Temmuz ayında Ağrı, Ağustos ayında Sivas, Eylül ayında Malatya, Ekim ayında Karaman, Kasım ve Aralık aylarında Ağrı olmuştur. Yani bu illerin sıcaklık değerlerinde değişkenliğin çok olduğu görülmektedir.

Yılın ayları itibariyle sıcaklık değerlerinin en düşük standart sapmaya sahip olduğu iller; Ocak ve Şubat aylarında Adana, Mart ayında Muğla, Nisan ayında Adana, Mayıs ayında Van, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında Adana, Ekim ayında Ağrı, Kasım ve Aralık aylarında Muğla olmuştur. Yani bu illerin sıcaklık değerlerinde değişkenliğin az olduğu görülmektedir.

III.5. Araştırmanın Modeli

Araştırma modelinde Güneş enerjisi santrali için resmi gazetede yer alan ölçülmesi zorunlu olan parametrelerden güneşlenme süresi (T), ışınım şiddeti (R), rüzgâr hızı (W) ve sıcaklık (S) değerleri yer almaktadır. Güneşlenme süresi parametresi, yüzeye düşen direkt radyasyon anlarının süresi; ışınım şiddeti parametresi, yatay yüzeye düşen radyasyon miktarı; rüzgâr hızı parametresi, alandaki rüzgâr hızı; sıcaklık parametresi, alandaki sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. Verime olan katkısının oldukça düşük olmasından dolayı bağıl nem parametresine bakılmamıştır. Araştırma modelinde yer alan parametreler kuruluş yeri seçimi için kriterler olarak belirlenmiştir. Bu kriterlerden güneşlenme süresi (T), ışınım şiddeti (R) ve rüzgâr hızı (W) verimi pozitif yönde, sıcaklık (S) ise negatif yönde etkilemektedir. Bu parametreler kullanılarak oluşturulan $Max Y$ ve $Max Z$ ye göre kuruluş yeri için seçim yapılacaktır. $Max Y$, orijinal modele göre hesaplanırken, $Max Z$, robust eş değer modele göre hesaplanmıştır. $Max Y$ ve $Max Z$, güneşlenme süresi (T), ışınım şiddeti (R) ve rüzgâr hızının (W) tüm yıllara ait aylık değerleri toplanarak, sıcaklıkların (S) tüm yıllara ait bütün ayların değerleri ise çıkartılarak hesaplanmaktadır. Verimlilik için *Max Gerçekleşen Değer* hesaplanırken, güneşlenme süresi ve ışınım şiddetinin verimliliği %100 etkilemesi nedeniyle bu parametrelerin değerleri olduğu gibi alınmıştır. Ancak, hem rüzgâr hızı hem de sıcaklık verimliliği %100 etkilemediğinden bu parametrelerin değerleri verimliliği etkilediği oranda çarpılarak hesaplama yapılacaktır.

Çalışmanın 1. bölümünde, 20 °C nin üzerindeki her 1 °C derece sıcaklık artışında verimliliğin %0,30 – %0,65 oranında azaldığı, 20 °C nin altındaki her 1 °C derece sıcaklık azalışında ise verimliliğin $\beta = %0,30 - %0,65$ oranında arttığı belirtilmiştir. Bu sebeple ölçülen sıcaklık değerleri 20 den çıkartılıp sonra etkilediği katsayı ile çarpılarak verime olan katkısı hesaplanacaktır. Rüzgâr hızında ise her 1 m/s hız artışında verimliliğin $\alpha = %1 - %3,5$ oranında artacağı belirtilmiştir. Bundan dolayı, ölçülen rüzgâr hızları verimi etkilediği katsayı ile çarpılarak verime olan katkısı hesaplanacaktır. Bu bilgiler ışığında model kurulurken rüzgâr hızı ile sıcaklık katsayılarının verime katkısı için alt ve üst sınırları bulunduğu için hem alt sınır hem

de üst sınıra göre verim için gerçekleşen değerler hesaplanacaktır. Kurulacak yerde santral verimine ait gerçekleşen değer için alt ve üst sınırları hesaplanacaktır.

Gerçekleşen değer; verimlilik için güneşlenme süresi (T), ışınım şiddeti (R), rüzgâr hızı (W) ve sıcaklık (S) parametreleri kullanılarak hesaplanan bir değerdir. Burada gerçekleşen değer maksimize edilmeye çalışılmıştır.

Kuruluş yer seçim alternatifleri, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden verileri eksiksiz olarak alınabilen Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas ve Van olmak üzere toplam 13 il merkezi olarak belirlenmiştir. Bu iller Şekil 1, 2 ve 3' e bakıldığında güneşlenme süresi, ışınım şiddeti ve sıcaklık açısından en uygun iller arasında yer almaktadır. Yani güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti açısından yüksek değerlere sahip iken, sıcaklık açısından düşük değerlere sahip illerdir.

Araştırma modelinde $i \in I = \{1, 2, \dots, 20\}$ olmak üzere 1999 – 2018 arası yılları kapsayan sınıfı, $j \in J = \{1, 2, \dots, 12\}$ olmak üzere Ocak – Aralık arası ayları kapsayan sınıfı ve $k \in K = \{1, 2, \dots, 13\}$ olmak üzere sırasıyla Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas ve Van il merkezlerini kapsayan sınıfı temsil etmektedir.

Modelde yer alan parametrelerin birimleri birbirlerinden farklı olduğundan veriler normalize edildikten sonra çözüm yapılarak, sonuçlar elde edilmiştir.

Oluşturulan araştırma modeli şu şekildedir.

Karar Değişkeni:

X_k : k . şehre kurulacak tesis, $k = 1, 2, \dots, 13$

Amaç Fonksiyonu:

$$Max Y = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{12} (T_{ijk} + R_{ijk} + W_{ijk} - S_{ijk}) X_k, k = 1, 2, \dots, 13$$

Alt sınır;

$$Max Gerçekleşen Değer_{alt\ sınır} = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{12} (T_{ijk} + R_{ijk} + (\alpha_1 W_{ijk}) - (\beta_2 S_{ijk})) X_k,$$
$$k = 1, 2, \dots, 13$$

Üst sınır;

$$Max Gerçekleşen Değer_{üst\ sınır} = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{12} (T_{ijk} + R_{ijk} + (\alpha_2 W_{ijk}) - (\beta_2 S_{ijk})) X_k,$$
$$k = 1, 2, \dots, 13$$

Amaç Fonksiyonu Katsayıları:

T_{ijk} : k . şehrin i . yılındaki j . ayına ait güneşlenme süresi (saat)

R_{ijk} : k . şehrin i . yılındaki j . ayına ait ışınlam şiddeti (W/m^2)

W_{ijk} : k . şehrin i . yılındaki j . ayına ait rüzgar hızı (m/s)

S_{ijk} : k . şehrin i . yılındaki j . ayına ait ortalama sıcaklık değeri ($^{\circ}C$)

Kısıtlar:

$$\sum_{k=1}^{13} X_k = 1$$

$$X_k = 0, 1 \text{ (0 ve 1)}, k = 1, 2, \dots, 13$$

$$R_{ijk} > 0$$

$$W_{ijk} > 0$$

$$T_{ijk} > 0$$

III.6. Modelin Çözümleri:

Model, 0-1 tam sayılı programlama ile çözüldükten sonra, Sosyter (en kötü durum senaryosu) yaklaşımına göre robust eşdeğer model elde edilip, çözümü sunulacaktır.

III.6.1. Modelin Soyster Yaklaşımına Göre Robust Eşdeğer Modeli:

Modelin Soyster yaklaşımına göre robust eşdeğer modeli kurulacaktır. Daha sonra robust eşdeğer modelin çözümü elde edilecektir.

Amaç Fonksiyonu:

Max Z

$$Z - \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{13} (T_{ijk} + R_{ijk} + W_{ijk} - S_{ijk})X_k + \Psi \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{13} (\widehat{T}_{ijk} + \widehat{R}_{ijk} + \widehat{W}_{ijk} - \widehat{S}_{ijk})X_k \leq 0, k = 1, 2, \dots, 13$$

Max Gerçekleşen Değer alt sınır

$$\begin{aligned} \text{Gerçekleşen Değer} - \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{13} (T_{ijk} + R_{ijk} + (\alpha_1 W_{ijk}) - (\beta_2 S_{ijk}))X_k \\ + \Psi \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{13} (\widehat{T}_{ijk} + \widehat{R}_{ijk} + (\alpha_1 \widehat{W}_{ijk}) - (\beta_2 \widehat{S}_{ijk}))X_k \leq 0, k \\ = 1, 2, \dots, 13 \end{aligned}$$

Max Gerçekleşen Değer üst sınır

$$\begin{aligned} \text{Gerçekleşen Değer} &= \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{13} (T_{ijk} + R_{ijk} + (\alpha_2 W_{ijk}) - (\beta_1 S_{ijk})) X_k \\ &+ \Psi \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{13} (\widehat{T}_{ijk} + \widehat{R}_{ijk} + (\alpha_2 \widehat{W}_{ijk}) - (\beta_1 \widehat{S}_{ijk})) X_k \leq 0, k \\ &= 1, 2, \dots, 13 \end{aligned}$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{k=1}^{13} X_k = 1$$

$$X_k = 0, 1 \text{ (0 ve 1)}, k = 1, 2, \dots, 13$$

$$R_{ijk} > 0$$

$$W_{ijk} > 0$$

$$T_{ijk} > 0$$

Burada Ψ , aralık belirsizlik kümesinin genişliğini kontrol eden ayarlama parametresidir. \widehat{T}_{ijk} , \widehat{R}_{ijk} , \widehat{W}_{ijk} ve \widehat{S}_{ijk} , en kötü şartlar altında parametrelerin tahmini değerleridir.

III.6.2. Modellerin Çözümleri:

Orijinal model ve Robust eşdeğer model optimizasyonları Microsoft Excel programı yardımı ile hesaplanmıştır. Kuruluş yeri tercihi için hem orijinal model hem de robust eşdeğer modelden elde edilen çözümlere ilişkin *Max Y* ve *Max Z* Tablo 4’ te verilmiştir.

Tablo 4. Kuruluş Yeri Tercihi İçin *Max Y* ve *Max Z* Değerleri

	<i>Max Y</i>		<i>Max Z</i>	
	Orijinal Model	Robust Eşdeğer Model	Fark (%)	
Adana	103,85	82,33	20,72	
Afyonkarahisar	111,67	85,28	23,63	
Ağrı	137,06	125,50	8,43	
Aksaray	111,12	74,42	33,02	
Erzincan	121,08	103,34	14,65	
Erzurum	139,58	118,50	15,10	
Hakkâri	127,32	107,59	15,49	
Karaman	112,22	80,80	27,99	
Kilis	104,56	61,93	40,77	
Malatya	110,31	88,49	19,78	
Muğla	103,98	88,60	14,79	
Sivas	123,82	106,18	14,24	
Van	124,56	99,48	20,13	

Tablo 4' e göre kuruluş yeri seçimi için her iki modelin amaç fonksiyon değerlerinde farklılık olduğu görülmektedir.

Max Y ve *Max Z* değerlerine bakıldığında Güneş enerji santrali için Türkiye'deki en uygun ilin orijinal model çözümüne göre Erzurum, Robust eşdeğer model çözümüne göre ise Ağrı olduğu görülmektedir. Orijinal model çözümüne göre tespit edilen en uygun ilin haritadaki yeri Şekil 22' de, Robust eşdeğer model çözümüne göre tespit edilen en uygun ilin haritadaki yeri Şekil 23' de gösterilmiştir.

Şekil 22. Orijinal Model Çözümüne Göre En Uygun İli Gösteren Harita



Şekil 23. Robust Eşdeğer Model Çözümüne Göre En Uygun İli Gösteren Harita



Orijinal model çözümüne göre en uygun illerin sıralaması; Erzurum, Ağrı, Hakkâri, Van, Sivas, Erzincan, Karaman, Afyonkarahisar, Aksaray, Malatya, Kilis, Muğla ve Adana olarak gerçekleşmiştir.

Robust eşdeğer model çözümüne göre en uygun illerin sıralaması; Ağrı, Erzurum, Hakkâri, Sivas, Erzincan, Van, Muğla, Malatya, Afyonkarahisar, Adana, Karaman, Aksaray ve Kilis olarak gerçekleşmiştir.

Orijinal model çözüm ile Robust eşdeğer model çözümü arasında genel olarak %20,67 lik bir fark tespit edilmiştir. İki model çözümüne göre en düşük fark, Robust model çözümüne göre en uygun il olarak tespit edilen Ağrı' da %8,43 olarak tespit edilmiştir. İki model çözümüne göre en yüksek fark ise, Kilis' de %40,17 olarak tespit edilmiştir.

Kuruluş yeri seçimi yapıldıktan sonra hem orijinal model hem de robust eşdeğer modelden elde edilen çözümlere ilişkin *Max Gerçekleşen Değer Alt Sınır* değerleri Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. Kuruluş Yeri Tercihi Sonrası *Max Gerçekleşen Değer Alt Sınır* Değerleri

	<i>Max Gerçekleşen Değer Alt Sınır*</i>		
	Orijinal Model	Robust Eşdeğer Model	Fark (%)
Adana	105,81	103,31	2,36
Afyonkarahisar	105,89	103,68	2,08
Ağrı	105,59	103,37	2,10
Aksaray	106,30	103,72	2,42
Erzincan	106,55	103,50	2,86
Erzurum	105,62	103,66	1,85
Hakkâri	106,45	104,07	2,23
Karaman	106,39	103,82	2,41
Kilis	106,23	103,47	2,59
Malatya	106,01	103,68	2,19
Muğla	104,02	102,31	1,64
Sivas	106,25	103,74	2,36
Van	106,78	104,11	2,50

* Gerçekleşen değer; verimlilik için güneşlenme süresi (T), ışıma şiddeti (R), rüzgâr hızı (W) ve sıcaklık (S) parametreleri kullanılarak hesaplanan bir değerdir ve birimi ω ile gösterilecektir. ω : saat*(W/m²)*(m/sn)*⁰C dır.

Kuruluş yeri seçimi yapıldıktan sonra hem orijinal model hem de robust eşdeğer modelden elde edilen çözümlere ilişkin *Max Gerçekleşen Değer Üst Sınır* değerleri Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Kuruluş Yeri Tercihi Sonrası *Max Gerçekleşen Değer Üst Sınır* Değerleri

	<i>Max Gerçekleşen Değer Üst Sınır*</i>		
	Orijinal Model	Robust Eşdeğer Model	Fark (%)
Adana	107,29	104,33	2,75
Afyonkarahisar	107,38	104,82	2,38
Ağrı	106,97	104,39	2,41
Aksaray	107,78	104,65	2,90
Erzincan	108,01	104,71	3,05
Erzurum	107,01	104,43	2,41
Hakkâri	107,88	105,16	2,52
Karaman	107,87	104,87	2,78
Kilis	107,71	104,14	3,31
Malatya	107,51	104,94	2,39
Muğla	105,54	103,58	1,85
Sivas	107,69	104,94	2,55
Van	108,21	105,02	2,94

* Gerçekleşen değer; verimlilik için güneşlenme süresi (T), ışıma şiddeti (R), rüzgâr hızı (W) ve sıcaklık (S) parametreleri kullanılarak hesaplanan bir değerdir ve birimi ω ile gösterilecektir. ω : saat*(W/m²)*(m/sn)*⁰C dır.

Tablo 5 ve Tablo 6 ya göre illerin verimlilik için gerçekleşen değer alt ve üst sınırları görülmektedir. Buna göre Adana ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 105,81 – 107,29 ω arasında, robust eşdeğer

modelin çözümüne göre 103,31 – 104,33 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,36 lık bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,75 lik bir fark oluşmuştur.

Afyonkarahisar ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 105,89 – 107,38 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,68 – 104,82 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,08 lik bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,38 lik bir fark oluşmuştur.

Ağrı ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 105,59 – 106,97 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,37 – 104,39 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,10 luk bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,41 lik bir fark oluşmuştur.

Aksaray ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,30 – 107,78 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,72 – 104,65 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,42 lik bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,90 lık bir fark oluşmuştur.

Erzincan ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,55 – 108,01 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,50 – 104,71 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,86 lık bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %3,05 lik bir fark oluşmuştur.

Erzurum ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 105,62 – 107,01 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,66 – 104,43 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %1,85 lik bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,41 lik bir fark oluşmuştur.

Hakkâri ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,45 – 107,88 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 104,07 – 105,16 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,23 lük bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,52 lik bir fark oluşmuştur.

Karaman ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,39 – 107,87 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,82 – 104,87 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,41 lik bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,78 lik bir fark oluşmuştur.

Kilis ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,23 – 107,71 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,47 – 104,14 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,59 luk bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %3,31 lik bir fark oluşmuştur.

Malatya ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,01 – 107,51 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,68 – 104,94 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,19 luk bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,39 luk bir fark oluşmuştur.

Muğla ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 104,02 – 105,54 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 102,31 – 103,58 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %1,64 lük bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %1,85 lik bir fark oluşmuştur.

Sivas ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,25 – 107,69 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,74 – 104,94 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları

arasında %2,36 lık bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,55 lik bir fark oluşmuştur.

Van ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 106,78 – 108,21 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 104,11 – 105,02 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,50 lik bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,94 lük bir fark oluşmuştur.

III.6.3. Duyarlılık Analizi:

Verilerde yapılabilecek değişikliklerin çözüm sonucunda meydana gelen etkilerin sistematik açıdan incelenip, değerlendirilmesine duyarlılık analizi adı verilir. Duyarlılık analizi ile oluşturulan modelin doğrulanması, modelin uygulanabilirliği ve modelin kararlılığı belirlenebilmektedir (Ervural, 2018). Duyarlılık analizine ilişkin çalışmalar incelenmiş ve aşağıda bunlardan bazıları açıklanmıştır.

Çetin ve arkadaşları (2014), çalışmalarında aile planlaması yöntemlerinin maliyet ve etkililiğini değerlendirmişlerdir. Çalışmadaki maliyet yapısını rahim içi araç, kombine oral kontraseptifler, kondom, enjeksiyon ve tüpligasyon olmak üzere 5 yöntemi ele almışlardır. Ele alınan bu yöntemlerin 2008 yılı fiyatlarını ve etkililiğini veri seti olarak düzenleyen araştırmacılar, analiz sonucunda maliyet-etkili yöntemlerin rahim içi araç, vazektomi ve tüpligasyon yöntemleri olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yapmış oldukları duyarlılık analizine göre elde ettikleri sonuçların iskonto oranına göre duyarlı olmadığını da tespit etmişlerdir. Aynı zamanda fiyatlamanın 10 yıllık verisini kullandıklarında da sıralamanın değişmediğini bulmuşlardır.

Nigiz (2018), çalışmasında doğalgaz dağıtım şirketleri için olası bir doğal afet sonrası kriz masası yerlerinin belirlenmesi problemini ele almıştır. Çalışmada personel sayısı ve ulaşım kısıtlarını ele alarak maksimum sayıda kullanıcıya ulaşabilmeyi amaçlayan bir matematiksel model kurmuştur. Araştırmacı modelin kararlılığını ortaya koymak için duyarlılık analizi yapmıştır. Amaç fonksiyonunda

yer alan ağırlıkların duyarlılığını test etmek için 55 senaryo hazırlamıştır. Duyarlılık analizi sonucunda açılacak kriz masalarının tercih sıklığını ortaya koymuştur.

Özer (2019), çalışmasında gömülü yazılım sistemleri kullanan firmalar için en uygun yazılım geliştirme yöntemini belirlemeyi amaçlamıştır. En uygun yazılım geliştirme yöntemini seçmek için AHP yöntemini kullanmıştır. Literatüre dayanarak 6 ana başlık altında faktörlerini oluşturan araştırmacı, faktörlerin ağırlıklarını zaman %12, maliyet %11, kapsam %14, risk %20, kalite %31 ve insan kaynağı %12 olarak bulmuştur. Ayrıca, duyarlılık analizi ile modelin kararlılığını da araştırmıştır. Modelin, maliyet ve kapsam faktörlerine duyarlı olduğunu, bu iki faktörün ağırlıklarının artması durumunda tercih edilen yöntemin değişeceği sonucuna ulaşmıştır.

Max Z ye göre kuruluş yeri seçimi yapılırken, parametrelerin ağırlıkları 1,00 (%100) olarak alınmıştır. *Max Z* amaç fonksiyonu katsayısı olan Güneşlenme Süresi, Işınım Şiddeti, Rüzgar Hızı ve Sıcaklık parametrelerinin ağırlıklarının sonucu etkilemeyecek şekilde aralıkları tespit edilecektir. Güneşlenme Süresi parametresi için duyarlılık analizi sonucu Tablo 7' de gösterilmiştir.

Tablo 7. Güneşlenme Süresi İçin Duyarlılık Analizi

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
0	103,85	111,66	137,06	111,12	121,07	139,58	127,32	112,22	104,55	110,31	103,97	123,82	124,56
1	104,38	111,14	136,53	110,59	120,54	139,05	126,78	111,69	104,02	109,78	103,46	123,29	124,03
2		110,61	136,01	110,06	120,01	138,53	126,25	111,16	103,49	109,25		122,76	123,49
3			135,49		119,48	138,00	125,72			108,73		122,23	
4			134,97		118,95	137,48	125,19			108,20		121,71	
5			134,44		118,42	136,95	124,66			107,67		121,18	
6			133,92		117,89		124,13			107,14		120,65	
7			133,40		117,36					106,62			
8			132,88		116,83					106,09			
9			132,35		116,30					105,56			

Tablo 7. (devamı)

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
10			131,83		115,77					105,03			
11			131,31		115,24					104,51			
12			130,79		114,71								
13			130,26		114,18								
14			129,74		113,65								
15			129,22		113,12								
16			128,70		112,59								
17			128,17		112,06								
18			127,65										
19			127,13										

Tablo 7' de, Güneşlenme Süresi parametresi için illere göre duyarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, Adana ili için %0, Afyonkarahisar ili için %1, Ağrı ili için % 18, Aksaray ili için %1, Erzincan ili için %16, Erzurum ili için %4, Hakkâri ili için %5, Karaman ili için %1, Kilis ili için %1, Malatya ili için %10, Muğla ili için %0, Sivas ili için %5 ve Van ili için %1 duyarlılığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneğin, Erzincan ili için Güneşlenme Süresi parametresinin ağırlığının 0,84 e düşürülmesi durumunda sonuç değişmeyecektir.

Işınım Şiddeti parametresi için duyarlılık analizi sonucu Tablo 8' de gösterilmiştir.

Tablo 8. Işınım Şiddeti İçin Duyarlılık Analizi

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
0	103,85	111,66	137,06	111,12	121,07	139,58	127,32	112,22	104,55	110,31	103,97	123,82	124,56
1	104,37	111,13	136,53	110,59	120,54	139,05	126,79	111,69	104,02	109,78	103,45	123,29	124,03
2		110,60	136,00	110,06	120,00	138,52	126,25	111,16	103,49	109,25		122,75	123,50
3			135,47		119,47	137,99	125,72			108,72		122,22	
4			134,94		118,94	137,47	125,19			108,19		121,69	
5			134,41		118,41	136,94	124,66			107,66		121,16	
6			133,88		117,87		124,13			107,12		120,63	
7			133,35		117,34					106,59			
8			132,82		116,81					106,06			
9			132,29		116,28					105,53			

Tablo 8. (devamı)

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
10			131,76		115,74					105,00			
11			131,23		115,21					104,47			
12			130,70		114,68								
13			130,17		114,15								
14			129,65		113,61								
15			129,12		113,08								
16			128,59		112,55								
17			128,06		112,02								
18			127,53										
19			127,00										

Tablo 8’ de, Işınım Şiddeti parametresi için illere göre duyarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, Adana ili için %0, Afyonkarahisar ili için %1, Ağrı ili için % 18, Aksaray ili için %1, Erzincan ili için %16, Erzurum ili için %4, Hakkâri ili için %5, Karaman ili için %1, Kilis ili için %1, Malatya ili için %10, Muğla ili için %0, Sivas ili için %5 ve Van ili için %1 duyarlılığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneğin, Ağrı ili için Işınım Şiddeti parametresinin ağırlığının 0,82 ye düşürülmesi durumunda sonuç değişmeyecektir.

Rüzgâr Hızı parametresi için duyarlılık analizi sonucu Tablo 9’ da gösterilmiştir.

Tablo 9. Rüzgâr Hızı İçin Duyarlılık Analizi

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
0	103,85	111,66	137,06	111,12	121,07	139,58	127,32	112,22	104,55	110,31	103,97	123,82	124,56
1	104,37	111,13	136,53	110,59	120,54	139,05	126,79	111,69	104,04	109,78	103,44	123,29	124,03
2		110,60	136,01	110,06	120,01	138,52	126,26	111,16	103,52	109,25		122,76	123,51
3			135,49		119,48	137,99	125,73			108,72		122,24	
4			134,96		118,95	137,46	125,20			108,19		121,71	
5			134,44		118,43	136,93	124,68			107,65		121,18	
6			133,92		117,90		124,15			107,12		120,65	
7			133,39		117,37					106,59			
8			132,87		116,84					106,06			
9			132,35		116,31					105,53			

Tablo 9. (devamı)

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
10			131,82		115,78					105,00			
11			131,30		115,25					104,47			
12			130,78		114,72								
13			130,25		114,20								
14			129,73		113,67								
15			129,20		113,14								
16			128,68		112,61								
17			128,16		112,08								
18			127,63										
19			127,11										

Tablo 9’ da, Rüzgâr Hızı parametresi için illere göre duyarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, Adana ili için %0, Afyonkarahisar ili için %1, Ağrı ili için % 18, Aksaray ili için %1, Erzincan ili için %16, Erzurum ili için %4, Hakkâri ili için %5, Karaman ili için %1, Kilis ili için %1, Malatya ili için %10, Muğla ili için %0, Sivas ili için %5 ve Van ili için %1 duyarlılığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneğin, Erzurum ili için Rüzgâr Hızı parametresinin ağırlığının 0,96 ya düşürülmesi durumunda sonuç değişmeyecektir.

Sıcaklık parametresi için duyarlılık analizi sonucu Tablo 10’ da gösterilmiştir.



Tablo 10. Sıcaklık İçin Duyarlılık Analizi

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
0	103,85	111,66	137,06	111,12	121,07	139,58	127,32	112,22	104,55	110,31	103,97	123,82	124,56
1	104,38	111,19	136,85	110,64	120,69	139,39	127,00	111,75	104,02	109,82	103,44	123,47	124,22
2		110,72	136,65	110,17	120,31	139,21	126,68	111,28	103,49	109,34		123,12	123,87
3			136,44		119,93	139,02	126,37			108,85		122,77	123,53
4			136,24		119,55	138,84	126,05			108,37		122,42	
5			136,03		119,17	138,65	125,74			107,88		122,07	
6			135,83		118,79	138,47	125,42			107,39		121,73	
7			135,62		118,40	138,28	125,10			106,91		121,38	
8			135,42		118,02	138,10	124,79			106,42		121,03	
9			135,21		117,64	137,91	124,47			105,94			

Tablo 10. (devamı)

%	Adana	Afyonkarahisar	Ağrı	Aksaray	Erzincan	Erzurum	Hakkâri	Karaman	Kilis	Malatya	Muğla	Sivas	Van
10			135,01		117,26	137,73				105,45			
11			134,80		116,88	137,54				104,97			
12			134,60		116,50	137,36				104,48			
13			134,39		116,12	137,17							
14			134,19		115,74	136,99							
22			132,55		112,69								
23			132,34		112,31								
24			132,14		111,93								
47			127,43										
48			127,22										

Tablo 10' da, Sıcaklık parametresi için illere göre duyarlılık analizi sonuçları görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, Adana ili için %0, Afyonkarahisar ili için %1, Ağrı ili için % 47, Aksaray ili için %1, Erzincan ili için %23, Erzurum ili için %13, Hakkâri ili için %8, Karaman ili için %1, Kilis ili için %1, Malatya ili için %11, Muğla ili için %0, Sivas ili için %7 ve Van ili için %2 duyarlılığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Örneğin, Sivas ili için Sıcaklık parametresinin ağırlığının 0,93 e düşürülmesi durumunda sonuç değişmeyecektir.



SONUÇ VE ÖNERİLER

Sanayi devriminden itibaren enerjiye duyulan gereksinim artarak devam etmektedir. Bu ihtiyaç, geçtiğimiz yüzyıla kadar yenilenebilir olmayan enerji kaynakları ile sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak, bu enerji kaynaklarının hem tükenecek olması hem de çevreye verdiği kirlilikten dolayı enerji ihtiyacını karşılamak için insanoglu yeni enerji kaynakları aramaya başlamıştır. Bilim insanları arayışlar sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji gereksinimlerinin karşılanabileceği gerçeğini ortaya koymuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, su vb. çeşitliliğin çok olması açısından tercih edilmeye başlanmıştır. Ayrıca, bu enerji kaynaklarının üretimi için gerekli olan hammaddenin doğa tarafından sağlanması sayesinde maliyetlerinin olmaması en önemli avantajlarından birisidir. Elbette bu enerjinin üretilmesi için santrallerin kurulması gerekmektedir ve bu santrallerin kurulumu da oldukça maliyetlidir. Ortalama olarak bir santralin kuruluş maliyetlerinin amorti edilmesi 5-6 yıl sürmektedir. 1MW lık güneş enerjisi santralının ortalama maliyeti 2-2,5 milyon Euro civarındadır. Bu kadar yüksek maliyetli santrallerin kuruluş yerinin belirlenmesi de önemli bir sorun olmaktadır.

Literatür incelendiğinde; Önal ve Yarbay (2010), çalışmalarında Türkiye'nin Güneş enerjisi potansiyelinin yaklaşık 108 milyon MW olduğunu belirtmiştir. Buna karşın Türkiye'deki elektrik üretiminde Güneş enerjisinin payının ise oldukça az olduğu görülmektedir. Bu sebeple çalışmada Güneş enerjisine yönelik kuruluş yeri seçimi ele alınmıştır.

Modele dahil edilen parametrelerin birbiri arasındaki korelasyon oldukça yüksek çıkmıştır. Ayrıca eksik verilerin tamamlanması için her il için regresyon denklemleri elde edilmiştir. Bu regresyon denklemlerinin modeli açıklama oranları (R^2), %78 in üzerinde bulunmuştur.

Modelde yer alan belirsiz parametreler için elde edilen verilere bakıldığında aylık ortalamaların normal dağılım eğrisi gösterdiği görülmüştür. Standart sapmalara bakıldığında ise her ilin oldukça değişken bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu

durum Robust (sağlam) optimizasyon ile analiz yapılmasının önemini bir kez daha ortaya koymuştur.

Bu çalışmada güneş enerjisi kuruluş yeri seçimi problemi için bir model önerilmiştir. Güneş enerji santrallerinin verimini önemli derecede etkileyecek olan güneşlenme süresi, ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve sıcaklık parametreleri dikkate alınarak model önerisi sunulmuştur. Modelde yer alan parametrelerin değerlerinin gelecekte nasıl olacağı belirsizdir. Bu sebeple, veri kümesindeki belirsizliğe karşı koruma sağlayan robust optimizasyon ile çözümler elde edilmiştir. Ayrıca yer seçimi için güneş enerjisi santralının verimini pozitif etkileyecek olan güneşlenme süresi, ışınım şiddeti ve rüzgâr hızının maksimum olduğu ve negatif etkili olan sıcaklık değerinin minimum olduğu yer belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada Adana, Afyonkarahisar, Ağrı, Aksaray, Erzincan, Erzurum, Hakkâri, Karaman, Kilis, Malatya, Muğla, Sivas ve Van illeri arasında en uygun yerin seçilmesi için orijinal model ve robust eşdeğer model çözülmüştür. $Max Y$ ve $Max Z$ değerlerine bakıldığında Güneş enerji santrali için Türkiye'deki en uygun ilin orijinal model çözümüne göre Erzurum, Robust eşdeğer model çözümüne göre ise Ağrı olduğu görülmektedir.

Orijinal model çözümüne göre en uygun il sıralaması; Erzurum, Ağrı, Hakkâri, Van, Sivas, Erzincan, Karaman, Afyonkarahisar, Aksaray, Malatya, Kilis, Muğla ve Adana olarak gerçekleşmiştir. Robust eşdeğer model çözümüne göre en uygun il sıralaması; Ağrı, Erzurum, Hakkâri, Sivas, Erzincan, Van, Muğla, Malatya, Afyonkarahisar, Adana, Karaman, Aksaray ve Kilis olarak gerçekleşmiştir.

Orijinal model çözüm ile Robust eşdeğer model çözümü arasında genel olarak %20,67 lik bir fark tespit edilmiştir. İki model çözümüne göre en düşük fark, Robust model çözümüne göre en uygun il olarak tespit edilen Ağrı' da %8,43 olarak tespit edilmiştir. İki model çözümüne göre en yüksek fark ise, Kilis' de %40,17 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 1-2-3 e bakıldığında Marmara ve Karadeniz bölgelerinin Güneş enerjisi santrali için uygun bölgeler olmadığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple Marmara ve Karadeniz bölgeleri araştırmaya dâhil edilmemiştir.

En uygun kuruluş yeri olarak belirlenen illerin orijinal model ve Robust eşdeğer model çözümlerine göre verimlilik için gerçekleşen değer minimum ve maksimum değerlerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Ağrı ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 105,59 – 106,97 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,37 – 104,39 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %2,10' luk bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,41' lik bir fark oluşmuştur. Erzurum ilinde orijinal modelin çözümüne göre verimlilik için gerçekleşen değer 105,62 – 107,01 ω arasında, robust eşdeğer modelin çözümüne göre 103,66 – 104,43 ω arasında gerçekleşmiştir. Verimlilik için gerçekleşen değer alt sınırları arasında %1,85' lik bir fark oluşurken, verimlilik için gerçekleşen değer üst sınırları arasında %2,41' lik bir fark oluşmuştur.

Robust optimizasyon ile elde edilen modelin çözümünün, orijinal model çözümünden daha düşük çıkması beklenen bir durumdur. Çünkü robust optimizasyon verideki belirsizliğe karşı bir koruma sağlayarak en kötü durum için bir çözüm vermektedir. Apaydın ve Kazancık (2017), çalışmalarında yapmış oldukları maliyet analizinde Soyster' e göre buldukları sonuç diğer çözümlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani robust optimizasyon ile elde edilen robust eşdeğer model sonucunun, orijinal model çözümlerine göre daha yüksek/düşük (maliyet/kâr) bulunmaktadır. Bu durum çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir.

Modellerde yer alan parametreler için duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi ile, sonuçların değişmeyeceği şekilde parametre ağırlıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Güneşlenme Süresi, Işınım Şiddeti ve Rüzgâr Hızı parametreleri için illere göre duyarlılık analizi sonuçlarına göre, Adana ilinin %0, Afyonkarahisar ilinin %1, Ağrı ilinin % 18, Aksaray ilinin %1, Erzincan ilinin %16, Erzurum ilinin %4, Hakkâri ilinin %5, Karaman ilinin %1, Kilis ilinin %1, Malatya ilinin %10, Muğla

ilinin %0, Sivas ilinin %5 ve Van ilinin %1 duyarlılığa sahip oldukları tespit edilmiştir.

Sıcaklık parametresi için illere göre duyarlılık analizi sonuçlarına göre ise, Adana ilinin %0, Afyonkarahisar ilinin %1, Ağrı ilinin % 47, Aksaray ilinin %1, Erzincan ilinin %23, Erzurum ilinin %13, Hakkâri ilinin %8, Karaman ilinin %1, Kilis ilinin %1, Malatya ilinin %11, Muğla ilinin %0, Sivas ilinin %7 ve Van ilinin %2 duyarlılığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu duyarlılıklara göre ağırlıklar değiştirilse bile kuruluş yeri seçimi için bulunan *Max Z* sonuçları değişmeyecektir.

Literatür incelendiğinde kuruluş yeri seçimi ile ilgili çalışmalarda genellikle sezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, TOPSIS, VIKOR, vb., yöntemlerin sıklıkla kullanılmıştır. Bu çalışmada ise sezgisel yöntemler yerine daha net sonuçlar veren optimizasyon yöntemlerinden biri olan Robust Optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Güneş enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları santrallerinin kurulumu ve işletim maliyetleri de oldukça yüksektir. Bu sebeple kuruluş yeri seçimleri de önem arz etmektedir. Çalışma kuruluş yeri seçimi için robust optimizasyon kullanılarak çözüme ulaşılması açısından ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır. En kötü şartlarda ne kadar verim elde edilebileceğinin bilinmesi yatırımcılar açısından büyük önem arz etmektedir. Özellikle enerji santrallerinin kurulum maliyetlerinin milyonlarca Euro olduğu göz önüne alındığında yatırımcılara bir ışık tutmaktadır.

Çalışma, Güneş enerji santrali kuruluş yeri seçimi için oluşturulan model ve kullanılan robust optimizasyon yöntemi ile özgünlüğünü ortaya çıkarmıştır.

Çalışmada ele alınan illerin verileri merkez ilçeye aittir. Veriler, yatırımcıların kurmayı düşündükleri alanlarda, ölçülerek alınması durumunda daha net sonuçlar elde edilebilecektir. Özellikle aynı iklim şartlarına sahip yerler arasında en uygun yerin belirlenmesi yatırımcılara en doğru fikri verecektir.

Bu çalışma ışığında diğer yenilenebilir enerji kaynakları kuruluş yeri seçimleri de belirlenebileceği gibi belirsiz parametrelere sahip tüm kuruluş yerleri için

belirlenebilecektir. Buna ek olarak farklı santral tipleri için geçerli olan farklı parametrelerdeki belirsizlikler de dikkate alınarak benzer modeller oluşturulabilir. Ayrıca, alan kısıtlaması yapılarak belirlenebilen alternatifler arasında en uygun il coğrafi bilgi sistemleri ile de çözülebilir.



KAYNAKÇA

- ABD-ELHADY, M. S.; SERAG, Z.; KANDIL, H. A.; “An innovative solution to the overheating problem of PV panels”, *Energy conversion and management*, S.157, 2018, ss.452-459.
- AKPINAR, Erdal; “Nehir Tipi Santrallerin Türkiye'nin Hidroelektrik Üretimindeki Yeri”, *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, C.7(2), 2005, ss.1-25.
- ALBAYRAK, Berat; “Elektrik Enerjisi Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Finansmanı: Bir Uygulama”, *Kadir Has Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi*, 2011.
- ALTINTAŞ, Halil; “Türkiye’de birincil enerji tüketimi, karbondioksit emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi: eşbütünleşme ve nedensellik analizi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, C.8(1), 2013, ss.263-294.
- ALTUNTOP, Necdet; ERDEMİR, Doğan; “Dünyada Ve Türkiye’de Güneş Enerjisi İle İlgili Gelişmeler”, *Engineer & the Machinery Magazine*, C.45, S.639, 2013, ss.69-77.
- ARSLAN, Sinan; DARICI, Mustafa; KARAHAN, Çetin; “Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli”, *Jeotermal Enerji Semineri*, Ankara, 2001, ss.21-27.
- ATHAWALE, Vijay Manikrao; CHAKRABORTY, Shankar; “Facility location selection using PROMETHEE II method”, *In Proceedings of the 2010 international conference on industrial engineering and operations management*, Bangladesh Dhaka, 2010, ss.9-10.
- ATILGAN, İbrahim; “Türkiye’nin enerji potansiyeline bakış”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, C.15(1), 2000.
- APAYDIN, Ayşen; KAZANCIK, Leyla Bilen; “Robust Optimizasyon İle Türkiye Elektrik Enerjisi Modeli”, *TISK Academy/TISK Akademi*, C.12(23), 2017.

- APERGIS, Nicholas; PAYNE, James E.; “Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model”, *Energy economics*, C.34(3), 2012, ss.733-738.
- AYDİN, Yaşar; “Bulanık topsis ve vikor yöntemi kullanılarak rüzgâr enerjisi santral yer seçimi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, 2013.
- BAĞCI, Erdem; “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli, Üretimi, Tüketimi ve Cari İşlemler Dengesi İlişkisi”, *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, C.2(4), 2019, ss.101-117.
- BAI, Xuejie; LI, Xiang; JIA, Ruru; LIU, Yankui; “A distributionally robust credibilistic optimization method for the economic-environmental-energy-social sustainability problem”, *Information Sciences*, C.501, 2019, ss.1-18.
- BARUTÇUGİL, İsmet; “*Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri*”, Uludağ Üniversitesi Yayınları, 1998, Bursa.
- BEHZADIAN, Majid; OTAGHSARA, S. Khanmohammadi; YAZDANI, Morteza; IGNATIUS, Joshua; “A state-of the-art survey of TOPSIS applications”, *Expert Systems with applications*, C.39(17), 2012, ss.13051-13069.
- BEN-TAL, Aharon; EL GHAOU, Laurent; NEMIROVSKI, Arkadi; “*Robust Optimization*”, Princeton University Press, 2009, USA.
- BILGEN, Sselçuk; KAYGUSUZ, Kamil; SARI, Ahmet; “Renewable energy for a clean and sustainable future”, *Energy sources*, C.26(12), 2004, ss.1119-1129.
- BİLGİLİ, Mehmet; ŞAHİN, Beşir; ŞİMŞEK, Erdoğan; “Türkiye’nin güney, güneybatı ve batı bölgelerindeki rüzgâr enerjisi potansiyeli”. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, C.30(1), 2010, ss.1-12.
- Dudley, Bob; “BP statistical review of world energy”, *World Petroleum Congress*, 2017, London.
- CAI, Wei; MOHAMMADITAB, Rasoul; FATHI, Gholamreza; WAKIL, Karzan; EBADI, Abdoul Ghaffar; GHADİMİ, Noradin; “Optimal bidding and offering

- strategies of compressed air energy storage: A hybrid robust-stochastic approach”, *Renewable Energy*, C.143, 2019, ss.1-8.
- CASSEDY, Edward S.; GROSSMAN, Peter Z.; “*Introduction to Energy*”, Cambridge U. Press, 1998, Cambridge, UK.
- CHANG, Kuei Lun; LIAO, Sen Kuei; TSENG, Tzeng Wei; LIAO, Chi Yi; “An ANP based TOPSIS approach for Taiwanese service apartment location selection”, *Asia Pacific Management Review*, C.20(2), 2015, ss.49-55.
- CIVAN, Abdulkadir; KÖKSAL, Bülent; “Factors that affect the decision of having nuclear energy and predictions for Turkey”, *Uluslararası İlişkiler (International Relations)*, C.6, S.24, 2010, ss.117-140.
- ÇANKA KILIÇ, Fatma; “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, *Engineer & The Machinery Magazine*, C. 56, S. 671, 2015, ss. 28-40.
- ÇANKA KILIÇ, Fatma; KILIÇ, Mehmet Keskin; “Jeotermal Enerji ve Türkiye”, *Engineer & the Machinery Magazine*, C.54, S.639, 2013, ss.45-56.
- ÇETİN, Emine; ŞAHİN, İsmet; YALÇIN BALÇIK, Pınar; “Türkiye’de Aile Planlaması Yöntemlerinin Maliyet-Etkililik Analizi”. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*; C.32(1), 2014, ss.73-86.
- ÇINAR, Tırmıkçioğlu Nihan; “Kuruluş yeri seçiminde bulanık TOPSIS yöntemi ve bankacılık sektöründe bir uygulama”, *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, C.12, S.18, 2010, ss.37-45.
- DEMİRCİOĞLU, Onur; “Kuruluş Yeri Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, 2010.
- DEMİRDÖĞEN, Osman; BİLGİLİ, Bilsen; “Organize sanayi bölgeleri için yer seçimi kararlarını etkileyen faktörler: erzurum örneği”. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, C.4, S.2, 2004, ss.305-324.

- DİKMEN, Abdulvahap Çağatay; “Türkiye’de Güneş Ve Rüzgar Enerjisinden Elektrik Üretiminin Sera Gazı Emisyonları Ve Çevre Maliyetinin Azalmasına Katkıları”, *Electronic Turkish Studies*, C.13, S.2, 2019, ss.275-293.
- DÜZGÜN, Ruken; “Robust Optimization With Multiple Ranges and Chance Constraints”, *Degree of Doctor of Philosophy Theses. Lehigh University*, 2012.
- ELEREN, Ali; “Kuruluş yeri seçiminin Fuzzy Topsis yöntemi ile belirlenmesi: deri sektörü örneği”. Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler *Fakültesi Dergisi*, C.7, S.13, 2007, ss.280-295.
- ELGÜN, Mahmut Nevfel; AŞIKOĞLU, Nihat Onur; “Lojistik köy kuruluş yeri seçiminde topsis yöntemiyle merkezlerin değerlendirilmesi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C.18 (1), 2016, ss.161-170.
- ERTUĞRUL, İrfan; KARAKAŞOĞLU, Nilsen; “Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, C.39(7-8), 2008, ss.783-795.
- ERVURAL, Ç. Beyzanur; “Yenilenebilir Enerji Planlaması İçin Bütünleşik Çok Amaçlı Bir Karar Modeli Önerisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi*, 2018
- GENÇOĞLU, Muhsin Tunay; “Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, C.14(2), 2002, ss.57-64.
- GOLDEMBERG, Jose; “*World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability*”, New York^eNY NY: United Nations Development Programme, 2000.
- GORGULU, Sertac; “Investigation of Renewable Energy Potential and Usage in TR 61 Region”. *Journal of Cleaner Production*, C.236, 2019, ss. 1-10.
- HAN, Ke; LIU, Hongcheng; GAYAH, Vikas V.; FRIESZ, Terry L.; YAO, Tao; “A robust optimization approach for dynamic traffic signal control with emission

- considerations”, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, C.70, 2016, ss.3-26.
- İNCEKARA, Çetin. O.; “Use of an optimization model for optimization of Turkey’s energy management by inclusion of renewable energy sources”, *International Journal of Environmental Science and Technology*, C.16, 2019, ss.1-12.
- İRİZ, Rifat; ALTINIŞIK, İsa; PEKER, Hasan Sencer; “Güneş Enerjisi Yatırımlarına Yönelik Teşvikler Ve Türkiye’deki Durum”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, C.13(1-2), 2010, ss.69-78.
- İŞERİ, Emre; ÖZEN, Cem; “Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Politikaları Kapsamında Nükleer Enerjinin Konumu”, *İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, S.47, 2012, ss.161-180.
- JEDDI, Babak; VAHIDINASAB, Vahid; RAMEZANPOUR, Parviz; AGHAEI, Jamshid; SHAFIE-KHAH, Miadreza; CATALÃO, João P.; “Robust optimization framework for dynamic distributed energy resources planning in distribution networks”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, C.110, 2019, ss.419-433.
- KALDELLIS, John K.; KAPSALI, Marina; KAVADIAS, Kosmas A.; “Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations”, Experience obtained from outdoor measurements in Greece. *Renewable Energy*, C.66, 2014, ss.612-624.
- KANG, Doosun; LANSEY, Kevin.; “Scenario-based robust optimization of regional water and wastewater infrastructure”. *Journal of Water Resources Planning and Management*, C.193, S.3, 2012, ss.325-338.
- KARAGÖL, Erdal Tanas; KAVAZ, İsmail; “Renewable Energy in the World and Turkey”, *Seta Foundation*, C.197, 2017, ss.7-32.
- KARAYILMAZLAR, Selman; SARAÇOĞLU, Nedim; ÇABUK, Yıldız; KURT, Rifat; “Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi”, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, C.13(19), 2011, ss.63-75.

- KELEŞ, Murat Kemal; “İşletmelerin teknokent seçiminde hiyerarşik electre yönteminin kullanımı ve Ankara bölgesinde bir uygulama”, *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 2014.
- KOÇ, Erdem; ŞENEL, Mahmut Can; “Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme”, *Mühendis ve Makina*, C.54, S.639, 2013, ss.32-44.
- KOUVELIS, Panos; YU, Gang; “*Robust discrete optimization and its applications*”, Springer Science & Business Media, 2013.
- KÖKEY, İskender; “Güneş Enerji Santrallerinin Kurulumunda Güneş Ölçümünün Önemi ve Türkiye’de Yasal Mevzuat”, *VIII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi*, 2013, Gebze-Kocaeli.
- KRUGER, Paul; “*Alternative energy resources: the quest for sustainable energy*”, Hoboken: Wiley, 2006
- KUBASEK, Nancey K.; SILVERMAN, Gary S.; “*Environmental Law*”, 8th edn. Pearson Education, Upper Saddle River, 2014.
- KURT, Gizem; KOÇER, Nilüfer Nacar; “Malatya ilinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, C.26, S.3, 2010, ss.240-247.
- KÜÇÜKKAYA, Elif; “Enerji nedir? Enerji kaynakları nelerdir?”, 2018, www.enerjiportali.com, Erişim tarihi: 17.09.2019
- KÜLEKÇİ, Özlem Candan; “Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, C.1, S.2, 2009, ss.83-91.
- LI, Zukui; DING, Ran; FLOUDAS, Christodoulos A.; “A Comparative Theoretical and Computational Study on Robust Counterpart Optimization: I. Robust Linear Optimization and Robust integer Linear Optimization”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, C.50, S.18, 2011, ss.10567–10603.

- LIANG, Ruey Hsun; LIAO, Jian Hao; “A fuzzy-optimization approach for generation scheduling with wind and solar energy systems”, *IEEE Transactions on Power Systems*, C.22, S.4, 2007, ss.1665-1674.
- MAHDY, Mostafa; BAHAJ, Abubakr S.; “Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt”, *Renewable energy*, C.118, 2018, ss.278-289.
- MEVLANA KALKINMA AJANSI; “Karapınar İlçesi’nde Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisi Yatırımları için Enerji İhtisas Endüstri Bölgesi Kurulmasına Yönelik Fizibilite Çalışması Raporu”, *Karar Destek Eğitim Hizmetleri Danışmanlık Mühendislik ltd. şti.*, 2012.
- MOAZENI, Somayeh; “Flexible Robustness in Linear Optimization”, *Degree of Doctor of Philosophy Theses Waterloo*, 2006.
- MODARRES, Modarres; IZADPANAHI, Ehsan; “Aggregate production planning by focusing on energy saving: A robust optimization approach”, *Journal of Cleaner Production*, C.133, 2016, ss.1074-1085.
- MOHR, Steve, WANG, Jiangliang; ELLEM, Gary; WARD, James; GIURCO, Damien; “Projection of world fossil fuels by country”, *Fuel*, C.141, 2015, ss.120-135.
- MULVEY, John M.; VANDERBEI, Robert J.; ZENIOS, Stavros A.; “Robust optimization of large-scale systems”, *Operations research*, C.43, S.2, 1995, ss.264-281.
- NGÔ, Christian; NATOWITZ, Joseph B.; “*Our energy future: Resources, alternatives and the environment*”, John Wiley & Sons. Inc, Publication, 2009.
- NİĞİZ, Mehmet Gökçe; “Kocaeli İlinde Olası Bir Doğal Afet Sonrası Doğalgaz Kriz Masası Yerleşim Optimizasyonu”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2018, Kocaeli.

- OPRICOVIC, Serafim; TZENG, Gwo Hshiong; “Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, *European journal of operational research*, C.156, S.2, 2004, ss.445-455.
- ÖNAL, Eylem; YARBAY, Rahmiye Zerrin; “Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği”. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, C.9, S.18, 2010, ss.77-60.
- ÖRER, Gürkan; GÜRSEL Turgut K.; ÖZDAMAR Aydoğan; ÖZBALTA Necdet; “Dalga Enerjisi Tesislerine Genel Bakış”, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 2003, Kayseri.
- ÖZÇAKAR, Necdet; BASTI, Mehmet; “P-Medyan kuruluş yeri seçim probleminin çözümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritması yaklaşımı”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, C.41, S.2, 2012, ss.241-257.
- ÖZER, Sadık; “Gömülü Yazılım Sistemlerinde Proje Yönetim Metodoloji Seçimi”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, 2019, İstanbul.
- ÖZGENER, Önder; “Türkiye’de ve Dünya’da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı”, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, C.4, S.3, 2002, ss.159-173.
- ÖZMEN, Aslı; “Türkiye’de Kurulması Planlanan Nükleer Santraller için Kuruluş Yeri Seçimi”, *Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2007, Bolu.
- ÖZTÜRK, Nihat; BİLGİÇ, Mehmet; ARSLAN, Cemali; “Hidrojen Enerjisi ve Türkiye’deki Hidrojen Potansiyeli”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 2005, Mersin.
- PANWAR, N. L.; KAUSHIK, S. C.; KOTHARI, Surendra; “Role of renewable energy sources in environmental protection: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C.15, S.3, 2011, ss.1513-1524.

- RIGHETTO, Giovanni Margarido; REINALDO Morabito; DOUGLAS Alem; “A robust optimization approach for cash flow management in stationery companies”, *Computers & Industrial Engineering*, C.99, 2016, ss.137-152.
- SAGLAM, Mustafa; SULUKAN, Egemen; UYAR, Tanay Sıdkı; “Wave energy and technical potential of Turkey”, *Journal of Naval Science and Engineering*, C.6, S.2, 2010, ss.34-50.
- SHANG, Xiao Ting; CAO, Jin Xin; REN, Jie; “A robust optimization approach to the integrated berth allocation and quay crane assignment problem”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, C.94, 2016, ss.44-65.
- SHERMAN, Josapha; “*Fossil Fuel Power*”, Minnesota: Capstone Press, 2007.
- ŞEKKELİ, Mustafa; KEÇECİOĞLU, Ö. Fatih; “Hidroelektrik Santrallerin Türkiye'deki Gelişimi ve Kahramanmaraş Bölgesi Örnek Çalışması”, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, C.14, S.2, 2011, ss.19-26.
- TAŞ, Cemre; BEDİR, Neşet; EREN, Tamer; ALAĞAŞ, Hacı Mehmet, ÇETİN, Suna; “Ahp-topsis yöntemleri entegrasyonu ile poliklinik değerlendirilmesi: ankara’da bir uygulama”, *Sağlık Yönetimi Dergisi*, C.2, S.1, 2018, ss.1-17.
- TAVAKKOLI, Moghaddam Reza; MOUSAVI, S. M.; HEYDAR, M.; “An Integrated Ahp-Vikor methodology For Plant Location Selection”, *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, C.24, S.2, 2011, ss.127-137.
- TEMURÇİN, Kadir; ALİAĞAOĞLU, Alpaslan; “Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği”, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, C.1, S.2, 2003, ss.25-39.
- TOPAL, Murat; ARSLAN, E. Işıl; “Biyokütle enerjisi ve Türkiye”, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, UTES, 2008, ss.241-247.

- TUTAR, Filiz; EREN, Mehmet Vahit; "Geleceğin enerjisi: hidrojen ekonomisi ve türkiye." *International Journal of Economic & Administrative Studies*, C.3, S.6 2011, ss.1-25.
- TÜRKİYE CUMHURİYETİ ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI STRATEJİ GELİŞTİRME BAŞKANLIĞI; "Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü", Sayı 15, 2017, s.8.
- ÜRKER, Orkan; ÇOBANOĞLU, Nesrin; "Türkiye'de hidroelektrik santrallerin durumu (HES'ler) ve çevre politikaları bağlamında değerlendirilmesi", *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, C.3, S.2, 2012, ss.65-88.
- VASEL, Ahmad; IAKOVIDIS, Frantzis; "The effect of wind direction on the performance of solar PV plants", *Energy Conversion and Management*, C.153, 2017, ss.455-461.
- VEZIROGLU, T. Nejat; SAHIN, Sümer; "21st Century's energy: Hydrogen energy system", *Energy conversion and management*, C.49, S.7, 2008, ss.1820-1831.
- WANG, Xu; JIANG, Chuanwen; LI, Bosong; "Active robust optimization for wind integrated power system economic dispatch considering hourly demand response", *Renewable energy*, C.100, S.97, 2016, ss.798-808.
- YERLİ, Bihter; "İstanbul İklim Şartlarında Meteorolojik Parametrelerin PV (Fotovoltaik Pil) Elektrik Üretimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2011.
- YESILYURT, Kaan Muhammet; ONER, Volkan Ilhan; OMEROGLU, Gökhan; YILMAZ, Çetin Efe; "A scrutiny study on wave energy potential and policy in TURKEY", *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, C.5, S.3, 2017, ss.286-297.
- YILDIRIM, Metin; ÖRNEK, İbrahim; "Enerjide son seçim: Nükleer enerji", *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, C.6, S.1, 2007, ss.32-44.

- YILMAZ, Mutlu; “Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, C.4, S.2, 2012, ss.33-54.
- YU, Chian Son; LI, Han Lin; “A robust optimization model for stochastic logistic problems”, *International journal of production economics*, C.64, S.1-3, 2000, ss.385-397.
- ZOKAEE, Shiva; BOZORGI-AMIRI, Ali; SADJADI, Seyed Jafar; “A robust optimization model for humanitarian relief chain design under uncertainty”, *Applied Mathematical Modelling*, C.40, S.17-18, 2016, ss.7996-8016.

İnternet Kaynakları

Elektrik Üretim A.Ş.; “Yıllık Faaliyet Raporu: 2018 yılı”, 2018. Erişim Adresi:

http://www.euas.gov.tr/Documents/Sayfalar/Y%c4%b1ll%c4%b1k-Raporlar/euas_rapor_2018.pdf

<https://www.boem.gov/Renewable-Energy-Program-Overview/> Erişim tarihi: 17.12.2017

<https://www.eia.gov/> Erişim tarihi: 20.10.2018

<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx/> Erişim tarihi: 13.11.2018

<https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx/> Erişim tarihi: 13.11.2018

<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/sicaklik-analizi.aspx?s=m/> Erişim tarihi: 13.11.2018

<https://www.enerjibes.com/solar-panel-cesitleri-nelerdir/> Erişim tarihi: 23.12.2018

<https://khosann.com/pencereye-takilan-saydam-gunes-panelleri/> Erişim tarihi: 23.12.2018

<http://www.akdemirsolar.com/10-amper-pwm-sarj-regulatoru/> Erişim tarihi: 23.12.2018

<https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik/akumulator-aku-2119/> Erişim tarihi: 23.12.2018

<https://www.ece.com.tw/jp/applications/> Erişim tarihi: 23.12.2018

<https://www.wanhossolars.com/ground-mounting-system/aluminum-ground-mounting-system/ground-mount-solar-racking-aluminum-structure.html/>
Erişim tarihi: 23.12.2018

http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=cse_sistema_foto_voltaico/ Erişim tarihi: 23.12.2018

<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> Erişim Tarihi: 02.04.2019

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı- Soyadı	Turgut KARABULUT
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 30.11.1987
Eğitim Durumu	
Lisans Eğitimi	Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü
Yüksek Lisans	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı
Doktora	Erzincan Üniversitesi ve Atatürk Üniversitesi (Ortak Doktora) Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı
Çalıştığı Kurum	Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü
İletişim	
E-Posta	tkarabulut@erzincan.edu.tr