

TÜRKİYE’NİN GÜNEŞ ENERJİSİ DURUMU VE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ KURULUMUNDA ÖNEMLİ PARAMETRELER

Oğuz Ozan YOLCAN^{1*}, Ramazan KÖSE²

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Öz

Fosil kökenli yakıtların limitli rezervleri ve çevreye verdikleri zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarını günden güne daha önemli kılmaktadır. Ülkemizin elektrik enerjisi üretiminde, ithal edilen fosil kökenli yakıtların payı çok büyüktür. Bu sebepten dolayı, elektrik üretiminde alternatif kaynaklara yönelmek önem arz etmektedir. Bu alternatiflerden birisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisidir. Dünyada ve ülkemizde, güneş enerjisi santrallerine yapılan yatırımlar yıldan yıla, hızlı bir şekilde artmaktadır. Ülkemiz yıllık toplam güneşlenme süresi olarak 2741 saat ve yıllık toplam gelen güneş enerjisi değeri olarak 1527 kWh/(m².yıl) değerleri ile önemli bir güneş potansiyeline sahiptir.

Bu çalışmada; ülkemizin enerji durumu, yenilenebilir enerji kaynakları ve güneş enerjisi durumu değerlendirilmiş, güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli olan parametrelerden, santral verimliliği, yasal düzenlemeler ve çevresel etkiler olmak üzere 3 ana başlık altında bahsedilmiştir. Ayrıca, çeşitli kriterler kullanılarak algoritmalar yardımıyla güneş enerjisi santrali yer seçimi incelenmiş, yapılmış çalışmalar üzerinde durulmuştur. Çalışmanın son aşamasında, DPÜ Evliya Çelebi Kampüs alanı ele alınarak, AHP yöntemiyle PV kurulumuna uygun olan alanlar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji, güneş enerjisi santrali yer seçimi

Abstract

Limited reserves of fossil fuels and the damage they cause to the environment make renewable energy resources more important day by day. The share of imported fossil based fuels in the electricity production of our country is very large. For this reason, it is important to turn to alternative sources in electricity generation. One of these alternatives is solar energy, which is one of the renewable energy sources. Investments in solar power plants in the world and in our country are increasing rapidly from year to year. Our country has a significant solar potential with 2741 hours of total sunshine duration and 1527 kWh / (m².year) as a total annual solar energy value.

In this study; Turkey's energy situation, renewable energy resources and solar energy situation were evaluated. The important parameters in solar power plant installation are mentioned under three main headings: power plant efficiency, legal regulations and environmental impacts.

*Sorumlu Yazar: oguzozan.yolcan@dpu.edu.tr

In addition, the location selection of the solar power plant has been examined using various criteria with the help of algorithms and the studies have been emphasized. In the last phase of the study, the areas suitable for PV installation with AHP method were determined by considering DPÜ Evliya Çelebi Campus area.

Keywords: Solar energy, renewable energy, solar powerplant site selection

1. GİRİŞ

Enerji tüketiminin her geçen gün arttığı dünyamızda, fosil kökenli yakıtların limitli rezervleri ve çevreye verdiği zararlar sebebiyle, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Tablo 1’ de bazı ülkelerin, 2016 yılı kaynak bazında elektrik enerjisi üretim oranları verilmektedir [1]. Tablo 1’den görüleceği üzere, Kanada elektrik üretiminin çok büyük bir kısmını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır. Dünya ortalamasına bakıldığında ise, yenilenebilir enerji kaynaklarının %22,9 gibi önemli bir orana sahip olduğu görülmektedir. Dünya ortalamasında kömürün oranı %40,6, petrolün oranı %4,3, doğal gazın oranı %21,6 ve nükleer enerjinin oranı %10,6 olarak görülmektedir. Dünyanın en çok elektrik üretimine sahip ülkeleri olan Çin ve ABD, elektrik üretimini çok büyük ölçüde fosil kökenli yakıtlardan sağlamaktadır. Ülkemiz 2002-2017 yılları arası 16 yıllık elektrik enerjisi üretim ve tüketim oranlarının verildiği Tablo 2 incelendiğinde, 2009 yılı hariç, üretim ve tüketim değerlerinde düzenli bir artış olduğu görülmektedir [2]. Tablo 2’de ülkemizin 2017 elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 296,7 milyar kWh, elektrik enerjisi üretimi ise yaklaşık 297,3 milyar kWh olarak belirtilmiştir. Ülkemizin kaynak bazında elektrik enerjisi üretim miktarları ve oranları ise Tablo 3’te verilmektedir [2]. Tablo 3’ten görüleceği üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi düzenli olarak artış göstermiştir. 2017 yılında ülkemizde üretilen 297,3 milyar kWh elektrik enerjisinin, 26,9 milyar kWh’lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiş olup, bu miktar, toplam elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %9’luk kısmına eşittir.

Tablo 1. Bazı ülkelerin kaynak bazında elektrik üretim oranları [1]

Ülke	Kömür (%)	Petrol (%)	Doğal Gaz (%)	Nükleer (%)	Yenilenebilir Enerji (%)	Diğer (%)
Fransa	2,1	0,3	2,3	77,6	17,5	0,2
Almanya	45,4	0,9	9,9	15,5	28,0	0,3
ABD	39,5	0,9	26,8	19,1	13,6	0,1
Kanada	9,9	1,2	9,3	16,4	62,8	0,3
Çin	72,5	0,2	2,0	2,3	23,0	0,0
Hindistan	75,1	1,8	4,9	2,8	15,5	0,0
Rusya	14,9	1,0	50,1	17,0	17,0	0,0
Dünya	40,6	4,3	21,6	10,6	22,9	0,1

Tablo 2. Ülkemiz elektrik enerjisi görünümü (GWh) [2]

Yıl	Üretim	İthalat	İhracat	Tüketim	Üretim Artış Oranı (%)	Tüketim Artış Oranı (%)
2002	129.399,5	3.588,2	435,1	132.552,6	5,4	4,5
2003	140.580,5	1.158,0	587,6	141.150,9	8,6	6,5
2004	150.698,3	463,5	1.144,3	150.017,5	7,2	6,3
2005	161.956,2	635,9	1.798,1	160.794,0	7,5	7,2
2006	176.299,8	573,2	2.235,7	174.637,3	8,9	8,6
2007	191.558,1	864,3	2.422,2	190.000,2	8,7	8,8
2008	198.418,0	789,4	1.122,2	198.085,2	3,6	4,3
2009	194.812,9	812,0	1.545,8	194.079,1	-1,8	-2,0
2010	211.207,7	1.143,8	1.917,6	210.434,0	8,4	8,4
2011	229.395,1	4.555,8	3.644,6	230.306,3	8,6	9,4
2012	239.496,8	5.826,7	2.953,6	242.369,9	4,4	5,2
2013	240.154,0	7.429,4	1.226,7	246.356,6	0,3	1,6
2014	251.962,8	7.953,3	2.696,0	257.220,1	4,9	4,4
2015	261.783,3	7.135,5	3.194,5	265.724,4	3,9	3,3
2016	274.407,7	6.330,3	1.451,7	279.286,4	4,8	5,1
2017	297.277,5	3.588,2	435,1	296.702,1	8,3	6,2

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi miktarları ve bu miktarların toplam elektrik üretimi içerisinde paylarının verildiği Tablo 4 incelendiğinde ise, özellikle güneş enerjisinden elektrik üretiminin son yıllarda katlanarak arttığı ve 2014 yılında 17,4 milyon kWh değerindeyken 2017 yılında 2,9 milyar kWh değerine ulaştığı görülmektedir [2].

Tablo 3. Kaynak bazında ülkemiz elektrik enerjisi üretimi (GWh) [2]

Yıl	Termik	Hidrolik	Rüzgar + Güneş + Jeotermal	Toplam
2002	95.563,1	33.683,8	152,6	129.399,5
2003	105.101,0	35.329,5	150,0	140.580,5
2004	104.463,7	46.083,7	150,9	150.698,3
2005	122.242,3	39.560,5	153,4	161.956,2
2006	131.835,1	44.244,2	220,5	176.299,8
2007	155.196,3	35.850,8	511,0	191.558,1
2008	164.139,3	33.269,8	1.008,9	198.418,0
2009	156.923,4	35.958,4	1.931,1	194.812,9
2010	155.827,6	51.795,5	3.584,6	211.207,7
2011	171.638,3	52.338,6	5.418,2	229.395,1
2012	174.871,7	57.865,0	6.760,1	239.496,8
2013	171.812,5	59.420,5	8.921,0	240.154,0
2014	200.416,6	40.644,7	10.901,5	251.962,8
2015	179.366,4	67.145,8	15.271,0	261.783,3
2016	185.798,1	67.230,9	21.378,7	274.407,7
2017	212.138,5	58.218,5	26.920,6	297.277,5

Tablo 5’ te, ülkemizin birincil kaynaklara göre kurulu gücü görülmektedir [3]. Mayıs 2019 sonu itibarıyla, ülkemizin toplam kurulu gücü yaklaşık 90 bin MW’ tır. Toplam kurulu güç içerisinde, fosil kökenli yakıt kullanan santrallerin oranı %52,8, hidrolik santrallerin oranı %31,7 ve yenilenebilir enerji santrallerinin oranı %15,5’tir. Türkiye kurulu gücünün önemli bir bölümünü, yakıt olarak ithal edilen fosil kökenli yakıtları kullanan santraller oluşturmaktadır.

Rüzgar, güneş ve jeotermal kaynaklarını kullanan santrallerin toplam payı içerisinde rüzgar %51,4 güneş %39,0 ve jeotermal %9,6 orana sahiptir. Güneş enerjisi santrallerinin, ülkemiz toplam kurulu gücü içerisindeki payı %6,1 dolayındadır.

Tablo 4. Ülkemiz elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı (GWh) [2]

Yıl	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
2002	104,6	48,0		152,6
2003	88,6	61,4		150,0
2004	93,2	57,7		150,9
2005	94,4	59,0		153,4
2006	94,0	126,5		220,5
2007	156,0	355,1		511,0
2008	162,4	846,5		1.008,9
2009	435,7	1.495,3		1.931,1
2010	668,2	2.916,4		3.584,6
2011	694,4	4.723,9		5.418,2
2012	899,3	5.860,8		6.760,1
2013	1.363,5	7.557,5		8.921,0
2014	2.364,0	8.520,1	17,4	10.901,5
2015	3.424,5	11.652,5	194,1	15.271,0
2016	4.818,5	15.517,1	1.043,1	21.378,7
2017	6.127,5	17.903,8	2.889,3	26.920,6

Tablo 5. Ülkemiz birincil kaynaklara göre kurulu gücü [3]

Birincil Kaynak	Santral Adedi	Kurulu Güç (MW)
Akarsu	541	7.855,2
Asfaltit Kömür	1	405,0
Atık Isı	74	338,3
Barajlı	121	20.554,2
Biyokütle	150	665,2
Doğalgaz	323	25.906,2
Fuel Oil	15	487,2
Güneş	6.323	5.435,1
İthal Kömür	14	8.938,9
Jeotermal	48	1.335,5
Linyit	48	9.842,0
LNG	1	2,0
Motorin	1	1,0
Nafta	1	4,7
Rüzgar	257	7.155,4
Taşkömürü	4	810,8
Toplam	7.922	89.736,7

2. ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

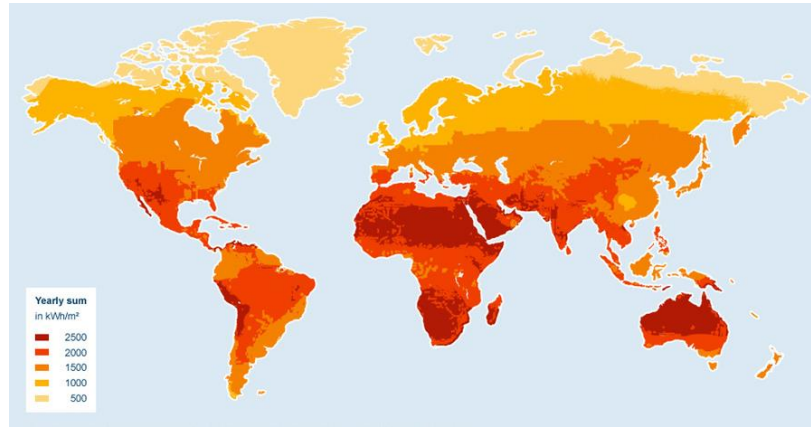
Enerji kaynakları değerlendirilirken, çeşitli kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Enerji teknolojilerinin değerlendirilmesinde, ülke yapısına ilişkin kriterler, teknolojik kriterler, ekonomik kriterler ve sosyo-ekonomik kriterler ayrı ayrı incelenmelidir. Ülkemizin, enerji konusunda sıkıntı yaşamaması için enerji talebinin hangi kaynaklarla karşılanacağını belirlenmesi ve uygulamaların da buna göre yapılması gereklidir. Enerji politikalarındaki ciddiyetsizlik ve dağınıklık önlenmeli, ülkemizin güvenli, temiz ve yeterli enerjiye sahip olmasını hedefleyen planlı bir enerji politikası oluşturularak, bu politikaya bağlı kalınmalıdır. Enerji teknolojilerini değerlendirme kriterleri, açıklamalarıyla birlikte Tablo 6’ da paylaşılmıştır [4].

Tablo 6. Enerji teknolojilerini değerlendirme kriterleri [4]

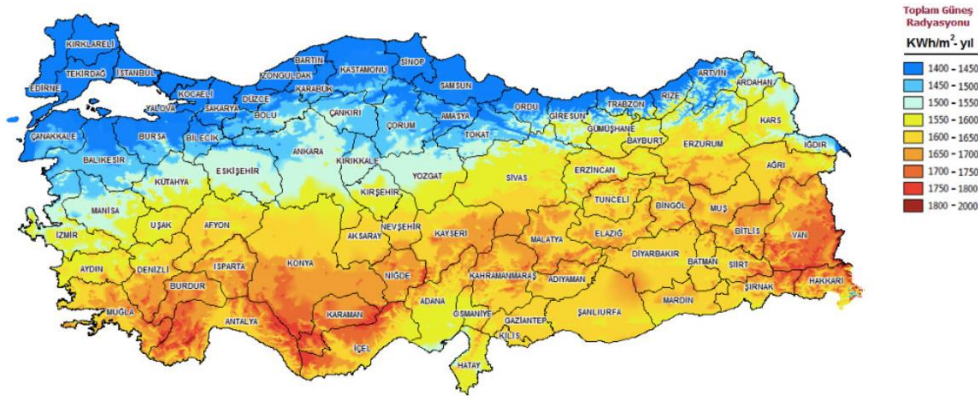
Kriterler	Açıklama
Ülke yapısına ilişkin kriterler	Doğal kaynaklardan yararlanma Nüfus dağılımına uyum İklim ve coğrafi koşullara uyum Sektörel yapı üzerindeki etkiler Milli hedeflere uyum
Teknolojik kriterler	Enerji talebini karşılamaya katkı Talep dağılımına uyum Teknolojinin gelişme düzeyi Teknolojik risk
Ekonomik kriterler	Birim enerji maliyeti Döviz ihtiyacı Dışa bağımlılık Sanayide yeni yatırımları teşvik etme olasılığı
Sosyo-ekonomik kriterler	Ülkede istihdamı artırma imkanı Toplum sağlığı üzerindeki etkiler Çevre üzerindeki etkiler Sosyal ve kültürel yapı üzerindeki etkiler

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışımaya enerjisidir. Atmosferin dışında güneş enerjisi şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Güneş, nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin dolaylı veya direkt kaynağıdır [5]. Aşağıda, dünya ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli haritaları görülmektedir.



Şekil 1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli atlası [6]



Şekil 2. Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli atlası [7]

Güneş enerjisinden doğrudan ve dolaylı olarak pek çok alanda yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi kullanım alanları doğal, ısı, doğrudan elektrik üretimi ve diğer kullanım alanları olmak üzere 4

başlıkta toplanabilir [8]. Güneş enerjisinin doğal kullanımına fotosentez ve fosil yakıtların oluşumu örnek gösterilebilir. Güneş enerjisi, çeşitli sıcaklık değerlerinde gruplandırılarak ısı uygulamalarda kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık uygulamalarına kullanım suyu eldesi ve tarım ürünleri kurutulması, orta sıcaklık uygulamalarına vakumlu güneş kolektörleri, yüksek sıcaklık uygulamalarına ise yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (CSP) örnek gösterilebilmektedir. Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretiminde PV paneller kullanılmaktadır. PV hücreler, güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine çeviren aygıtlardır.

4. GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİ YER SEÇİMİ

Güneş enerji santrallerinin yer seçimi kriterleri, santrallerin kurulum ve işletme aşaması süreçlerini ve elektrik üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir. Yer seçiminde santral verimliliği, yasal düzenlemeler ile çevresel etki kriterleri ön plandadır. Yasa ve yönetmeliklerin kısıtlama ve teşvik mekanizmalarının incelenmesi önemlidir [9].

4.1. Santralin Verimliliği ve Çevresel Etkiler

Uygun santral seçimi konusunda bölgenin güneş enerjisi potansiyeli, arazi yapısı, arazi kullanım durumu, şebeke bağlantıları, enerji tüketim bölgelerine mesafesi, erişilebilirliği, su kaynakları, arazinin jeolojik yapısı, arazi durumu ve arazi maliyeti gibi temel kriterler bulunmaktadır [8]. Bu kriterler ve gereklilikleri şu şekilde özetlenebilir [10];

Tablo 7. GES yer seçimi kriterleri ve gereklilikleri [10]

Kriter	Gereklilik
Güneş ışınımı	>1100 kWh/(m ² .yıl)
Eğim	<5° – 15°
Yerleşim bölgesine yakınlık	<2500 metre
Sanayi bölgelerine yakınlık	<3500 metre
Karayolu ağına yakınlık	<500 metre
Hava sıcaklık aralığı	15 °C – 40 °C
Arazi örtüsü	Ormanlardan, yerleşim yerlerinden, tarıma elverişli alanlardan, doğal afet riski taşıyan bölgelerden uzak olmalı, bitki örtüsünün yoğun olmamalı

Güneş enerji santrallerinin verimliliğini etkileyen temel koşullardan biri, santralin kurulacağı bölgenin güneş enerjisi potansiyelidir. Ülkemiz güneş ışınımı açısından oldukça zengin bir konumda yer almaktadır. Ülkemizde toplam güneş ışınım şiddeti yıllık 1527 kWh/m^2 , yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2 bin 741 saattir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası' na göre günlük ışınım değerlerinin en az $3,29 \text{ kWh/m}^2$, en fazla $5,48 \text{ kWh/m}^2$ olduğu görülmektedir [7].

Arazi eğimi, güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli bir kriterdir. Eğimli araziler inşaatı zorlaştırır ve maliyeti artırır. Panellerin dik yamaçlara montajı erozyon, drenaj ve statik problemlere yol açabilir [11]. Düz arazilerde, panellerin optimum açısı kolaylıkla ayarlanabilirken, eğimli arazide bu işlem zorlaşmaktadır.

Güneş enerjisi santralının, şebekeye olan mesafesi bir diğer önemli kriterdir. Santralin şebekeye yakın olması, yeni altyapı kurulumunu önleyerek kurulum maliyetini azaltmaktadır. Santralin, elektrik tüketiminin yoğun olduğu bölgelere yakın kurulması, iletim kayıplarını ve altyapı maliyetlerini azaltarak, kurulum ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır [12].

Ortam sıcaklığı, panellerin verimliliğini etkileyen önemli kriterlerdendir. Panellerin optimum verimde elektrik enerjisi üretebilmesi için en uygun hava sıcaklık aralığı $15^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}$ aralığıdır [10].

Arazinin mülkiyet durumu, kurulum ve işletme aşamasında üzerinde durulması gereken en önemli kriterlerdendir. Yaşanabilecek olası problemlerin aşılabilmesi için, kadastro belgeleri ve ihale anlaşmaları özenle hazırlanmalıdır [10]. Ayrıca santralin kurulacağı alan ormanlardan, yerleşim yerlerinden, tarıma elverişli alanlardan, doğal afet riski taşıyan bölgelerden uzak olmalı, bitki örtüsünün yoğun olmadığı bölgelere kurulmalıdır [10].

4.2. Yasal Düzenlemeler

Güneş enerjisi santrallerinin yer seçiminde, yapılmış olan yasal düzenlemeler ile uygulama yönetmeliklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir [9]. Güneş enerji santrallerinin yer seçimini etkileyen yasal düzenlemeler şöyle özetlenebilir;

Tablo 8. Güneş enerjisi santrallerinin yer seçimini etkileyen yasal düzenlemeler

Yasal Düzenleme	Amacı
5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun	Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesidir.
4737 Sayılı Endüstri Bölgeleri Kanunu	Endüstri bölgelerinin kurulması, yönetim ve işletilmesine ilişkin esasları düzenlemektir
2872 Sayılı Çevre Kanunu	Bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır.
2873 Sayılı Milli Parklar Kanunu	Yurdumuzdaki milli ve milletlerarası düzeyde değerlere sahip milli park, tabiat parkı, tabiat anıtı ve tabiatı koruma alanlarının seçilip belirlenmesine, özellik ve karakterleri bozulmadan korunmasına, geliştirilmesine ve yönetilmesine ilişkin esasları düzenlemektir.
4342 Sayılı Mera Kanunu	Daha önce çeşitli kanunlarla tahsis edilmiş veya kadimden beri kullanılmakta olan mera, yaylak, kışlak ve kamuya ait otlak ve çayırların tespiti, tahdidi ile köy veya belediye tüzel kişilikleri adına tahsislerinin yapılmasını, belirlenecek kurallara uygun bir şekilde kullandırılmasını, bakım ve ıslahının yapılarak verimliliklerinin artırılmasını ve sürdürülmesini, kullanımlarının sürekli olarak denetlenmesini, korunmasını ve gerektiğinde kullanım amacının değiştirilmesini sağlamaktır.
5403 Sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu	Toprağın korunması, geliştirilmesi, tarım arazilerinin sınıflandırılması, asgari tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazi büyüklüklerinin belirlenmesi ve bölünmelerinin önlenmesi, tarımsal arazi ve yeter gelirli tarımsal arazilerin çevre öncelikli sürdürülebilir kalkınma ilkesine

	uygun olarak planlı kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemektir
3083 Sayılı Sulama Alanlarında Arazi Düzenlenmesine Dair Tarım Reformu Kanunu	Sulama alanları ile Bakanlar Kurulunca gerekli görülen alanlarda; e) Zorunluluk halinde tarım arazisinin diğer amaçlara tahsisini düzenlemeyi sağlamaktır.
2863 Sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu	Korunması gerekli taşınır ve taşınmaz kültür ve tabiat varlıkları ile ilgili tanımları belirlemek, yapılacak işlem ve faaliyetleri düzenlemek, bu konuda gerekli ilke ve uygulama kararlarını alacak teşkilatın kuruluş ve görevlerini tespit etmektir.
3621 Sayılı Kıyı Kanunu	Deniz, tabii ve suni göl ve akarsu kıyıları ile bu yerlerin etkisinde olan ve devamı niteliğinde bulunan sahil şeritlerinin doğal ve kültürel özelliklerini gözeterek koruma ve toplum yararlanmasına açık, kamu yararına kullanma esaslarını tespit etmek amacıyla düzenlenmiştir.
2565 Sayılı Askeri Yasak Bölgeler ve Güvenlik Bölgeleri Kanunu	a) Yurt savunması bakımından hayati önemi haiz askeri tesisler ve bölgeler ile sınırların, güvenlik ve gizliliğini sağlamak için bunların çevrelerinde, kıyılarında ve havalarında; kara, deniz ve hava askeri yasak bölgelerinin, b) Yurt savunması veya yurt ekonomisine önemli ölçüde katkıda bulunan veya kısmen dahi tahripleri veya devamlı olarak ya da geçici bir zaman için faaliyetten alıkonulmaları halinde milli güvenlik veya toplum hayatı bakımından olumsuz sonuçlar doğurabilecek; diğer askeri tesis ve bölgeler ile kamu veya özel kuruluşlara ait her türlü yer ve tesislerin etrafında güvenlik bölgelerinin, Kurulması, kaldırılması ve gerektiğinde genişletilmesine ilişkin esas ve yöntemlerin düzenlenmesidir.
2920 Sayılı Türk Sivil Havacılık Kanunu	Devamlı ve hızlı bir gelişme gösteren, ileri teknolojinin uygulandığı, sürat ve emniyet faktörlerinin büyük önem taşıdığı sivil havacılık sahasındaki faaliyetlerin ulusal çıkarlarımız ve uluslararası ilişkilerimize uygun bir şekilde düzenlenmesini sağlamaktır.

4.3. Algoritmalar İle Santral Sahası Belirlenmesi

Güneş enerjisi santral sahası belirlenmesinde, önceki bölümlerde belirtilen kriterler kullanılarak, çeşitli algoritmalar yardımıyla en uygun yer seçimi yapılabilmektedir.

Dhunny ve ark., rüzgar, güneş ve hibrit rüzgar-güneş santralleri için en uygun bölgeleri değerlendirmek için bulanık mantık kullanarak bir analitik çerçeve geliştirilmiştir; klimatolojik, topografik ve insan faktörleri yoluyla enerji optimizasyonu için kritik bileşenler kullanılmıştır. Model, oldukça karmaşık bir topografya taşıyan Mauritius adasına bir örnek olay incelemesiyle uygulanmıştır. Bu hesaplama sayesinde, rüzgar ve güneş enerjisi, saha kotu, yerleşim alanları ve ızgara hatlarına yakınlık gibi kısıtlamalar, farklı bulanık üyelik kümelerine uydurulmuş ve her birinin bireysel memnuniyet dereceleri hesaplanmış ve genel memnuniyet derecelerinde toplanmıştır [13]. Jung ve ark. dijital sayısal haritaları kullanarak PV güneş panelleri için yerlerin önceliklendirilmesi ve seçilmesi için güneş enerjisi potansiyelini tahmin eden bir hesaplama yöntemi önermiştir. Bu haritalar, doğru arazi kullanımını desteklemek için çeşitli mekansal veriler sunar. Ulusal karayolu yamaçlarının potansiyel kurulum alanları olarak kullanılmasına odaklanmaktadır, çünkü bunlar genellikle erişimi yüksek, az kısıtlı olan ortak kullanım alanlarıdır. Yıllık güneş ışınlarının tahmini için, yükseklik hatları ve otoyol ağları ilk önce sayısal haritalardan ayrılmıştır. Çıkarılan konturlar daha sonra tahmin için bir topografik veri kümesi üretmek için kullanılmıştır. Çıkarılan karayolu ağı, içinde yüksek güneş enerjisine sahip ızgara hücrelerinin tanımlandığı ve uygun bölgelerin yerini belirlemek için kümelenildiği doldurma eğimlerini temsil eden ikili bir maske üretmek için kullanılmıştır [14]. Palmer ve ark., İngiltere'deki güneş enerjisi çiftliklerinin yerlerini belirlemek için saha uygunluğu analizini kullanmışlardır. Coğrafi bilgi sistemleri (GIS) yazılımı ile her biri belirli bir uygunluk kriterini temsil eden bir harita seti oluşturulmuştur. Bunlar, büyük ölçekli PV çiftlik kurulumları için uygun olan alanların haritasını oluşturmak için birleştirilmiştir. Coğrafi faktörler, güneş enerjisi kaynağı ve elektrik dağıtım şebekesi kısıtlarını içeren kriterleri değiştirerek çeşitli senaryolar araştırılmıştır [15]. Doorga ve ark., coğrafi bilgi sistemi (GIS) analizi ile birleştirilmiş Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) tekniği kullanılarak yasal, sosyal, teknik, ekonomik, çevresel ve kültürel perspektiflere dayanan yere monte güneş enerjisi santrallerinin kurulumları için mekansal uygunluğunu araştırmışlardır. [16]. Ali ve ark., Tayland'ın güneyindeki bir il olan Songkhla'da faydalı ölçekli rüzgar ve güneş çiftliklerini bulmak için ideal bölgeleri tespit etmişlerdir. Coğrafi bilgi sistemi (GIS) ve analitik

hiyerarşi süreci (AHP), çeşitli fizyolojik, çevresel ve ekonomik konumlandırma kriterlerini değerlendirmek için kullanılmıştır. [17]. Wu ve ark., yer seçimi, sürdürülebilir çevre ve toplum üzerindeki etkileri göz önünde bulundurarak, parabolik çanaklı konsantre güneş enerjisi santrali projelerinin tüm yaşam döngüsünü dikkate almışlardır. Bilgi eksiklikleri, etkileşim problemi ve karar sürecinde var olan değerlendirme özelliklerinin çeşitli özellikleri göz önüne alınarak, parabolik çanaklı konsantre güneş enerjisi santrali yer seçim kararına, bulanık PROMETHEE II yaklaşımını uygulayan, üçgen bir sezgisel bulanık genelleştirilmiş sıralı ağırlıklı ortalama ile birleştirilen entegre bir çerçeve oluşturmuşlardır [18]. Shorabeh ve ark., İran'da farklı iklim koşullarına sahip dört ildeki güneş enerjisi santralleri için potansiyel alanları temsil eden haritalar üretmek için GIS tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Analizi (GIS-MCDA) tekniğini kullanmışlardır. Risk kavramı, Sipariş Edilen Ağırlıklı Ortalama (OWA) modeli kullanılarak GIS-MCDA sürecine dahil edilmiştir. OWA modeli, uygun santral alanlarını belirlemek için çeşitli risk alma (iyimser) ve riskten kaçınma (karamsar) senaryoları sağlanmıştır [19]. Garni ve ark., coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve çok kriterli bir karar verme (MCDM) tekniği kullanarak, güneş enerjisi projeleri için en uygun yerin değerlendirilmesi ve seçilmesini incelemiştir. Model, ekonomik ve teknik faktörler gibi farklı yönleri göz önünde bulundurarak, proje maliyetini en aza indirirken maksimum güç elde edilmesini sağlama amacındadır. Kriterleri ölçmek ve potansiyel bölgeleri değerlendirmek için bir arazi uygunluk endeksini (LSI) hesaplamak için analitik bir hiyerarşi süreci (AHP) uygulanmıştır. Çalışmada, Suudi Arabistan için bir vaka çalışması sunulmaktadır. Modelde, yollar, dağlar ve korunan alanlar gibi gerçek klimatoloji ve mevzuat verileri kullanılmıştır [20]. Zoghi ve ark., bulanık mantığa, ortalama bir riske sahip olan ve ağırlıklarına göre öncelikli katmanları içerebilen ağırlıklı doğrusal kombinasyona (WLC) ve Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) sürecine dayalı optimizasyon alanı seçimini incelemiştir. Alan tespit edildikten sonra, belirsizlikten dolayı bulanık yöntem kullanılarak ölçüt katmanlarının değerlendirilmesi ve önemi belirlenmiş, katmanlar birleştirilmiştir. Genel olarak, sonuçlar bulanık mantık, WLC ve MCDM kombinasyonunun optimal güneş alanlarını bulmakta yüksek bir hassasiyete ve konumlandırmaya sahip olduğunu ve bu şekilde iklimsel katmanların en önemli olduğunu göstermiştir [21]. Abdul-Wahab ve ark., Umman koşulları için en iyi PV sistemi bulmak ve mevcut bir PV sistemi kullanarak kaçınılabilecek kirlenici emisyonları maliyetlerini analiz etmek için Elektrik Yenilenebilir Hibrit Optimizasyon modeli (HOMER) kullanmışlardır. HOMER kullanımı, güneş

enerjisi üretimini en üst düzeye çıkarmak için Umman'daki en iyi konumların belirlenmesine yardımcı olmaktadır [22]. Cho ve ark., anketler ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ile gelir, eğitim ve güneş enerjisini benimseme ilişkilerini analiz etmişlerdir. GIS analizinden ve lineer regresyondan elde edilen sonuçlar, eğitim, gelir düzeyleri ve Oregon nüfus sayım yollarındaki solar PV uygulayıcılarının sayısı arasındaki korelasyonu göstermektedir [23].

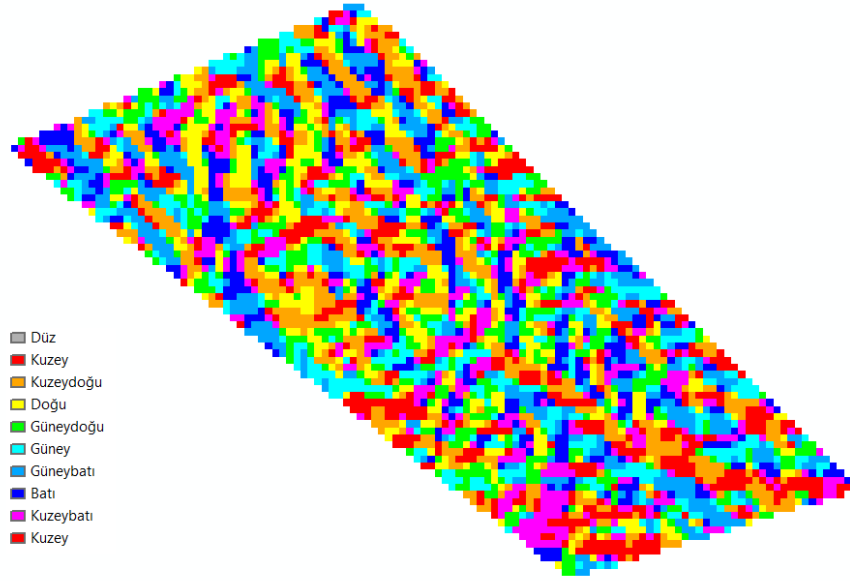
4.4. Örnek Çalışma: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Kampüsü

Bu bölümde, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Evliya Çelebi Kampüsü ele alınmış ve Analitik Hiyerarşi Süresi (AHP) yöntemi kullanılarak, PV santrali kurulabilecek alanlar belirlenmiştir. Seçili alan, Google Earth yazılımı üzerinden alınmıştır [24].

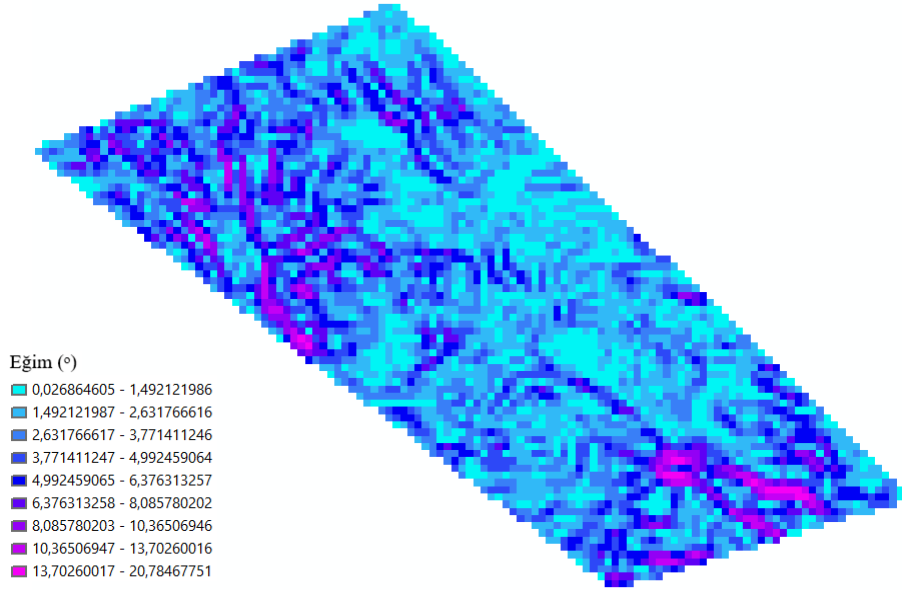
Yapılan örnek çalışmada eğim, bakı, kampüs içinde yer alan binalar, su kütleleri ve yollar kriter olarak alınmıştır. Haritalar NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) programından [25] alınmış ve ArcGIS yazılımında analiz edilmiştir [26]. ArcGIS yazılımında yapılan analiz sonucu elde edilen haritalar aşağıda görülmektedir.



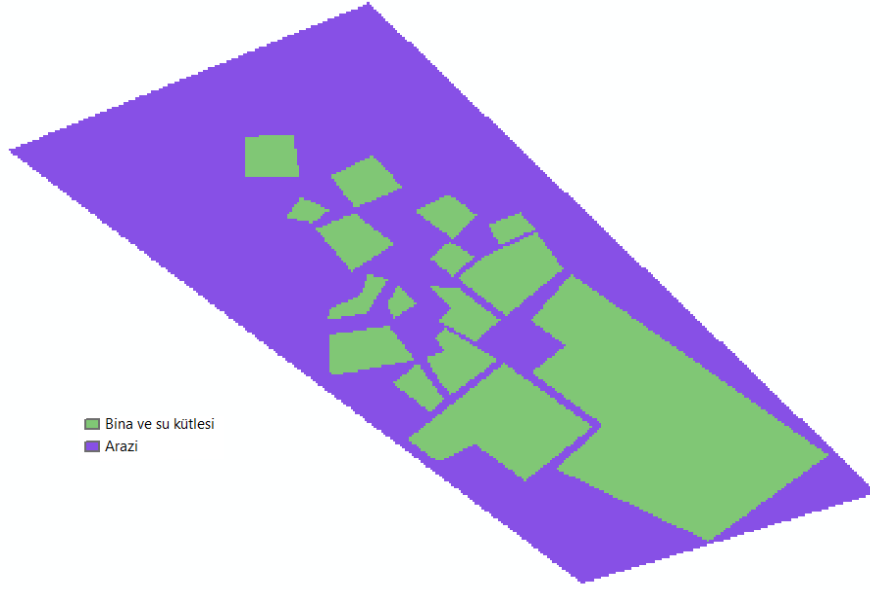
Şekil 3. DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü



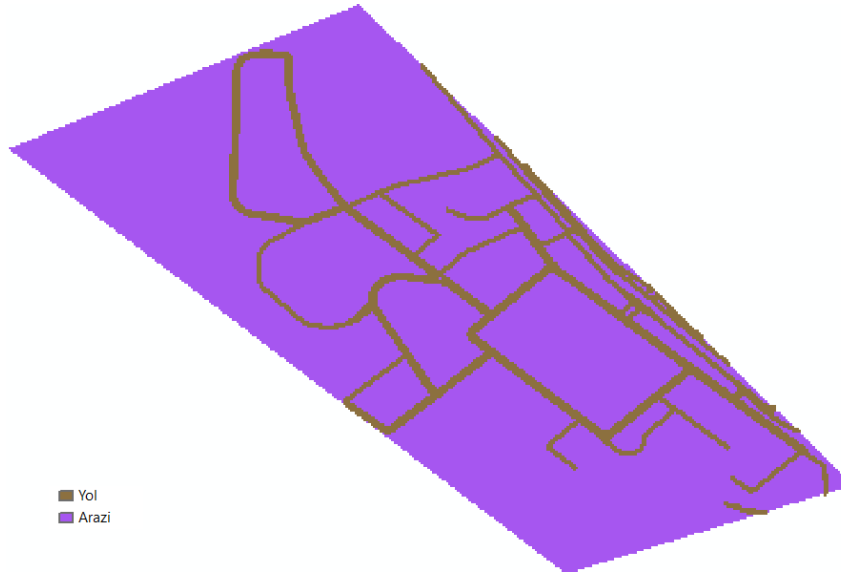
Şekil 4. DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü Bakı Haritası



Şekil 5. DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü Eğim Haritası



Şekil 6. DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü Binalar ve Su Kütleleri

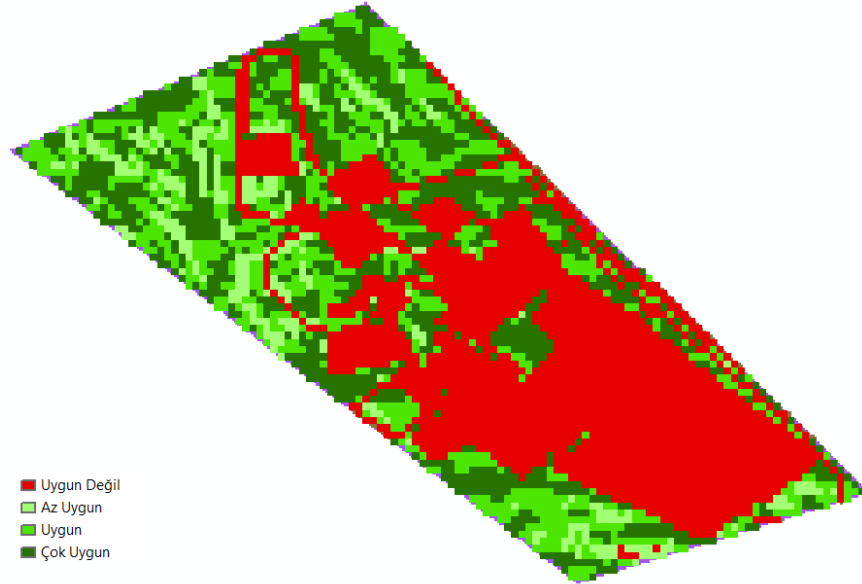


Şekil 6. DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü Yolları

Verilen haritalar kullanılarak, ele alınan arazi kriterlerine göre sınıflara ve derecelere ayrılmış, AHP ile ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuçlar, Tablo 9.' da görülmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan haritalar ve gerçekleştirilen AHP yöntemiyle, DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü PV kurulumu uygunluk haritası elde edilmiştir. Harita üzerinde uygun olmayan, az uygun, uygun ve çok uygun alanlar görülmektedir. Elde edilen harita Şekil 7.' de görülmektedir.

Tablo 9. AHP Sonuç Tablosu

Kriter	Ağırlık	Sınıf	Derece
Eğim (°)	0,546	0° - 5°	5
		5° - 10°	3
		10° - 15°	2
		15° +	1
Bakı	0,232	Düz ve Güney	5
		Güneydoğu ve Güneybatı	4
		Doğu ve Batı	3
		Kuzeydoğu ve Kuzeybatı	2
		Kuzey	1
Binalar ve Su Kütleleri	0,111	Arazi	5
		Binalar ve Su Kütleleri	0
Yollar	0,111	Arazi	5
		Yollar	0

**Şekil 7.** DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü PV Uygunluk Haritası

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Güneş enerjisinin temiz ve sonsuz bir enerji kaynağı olduğu ve ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olup, mevcut durumda enerji yönünden dışa bağımlı olduğu gerçeği göz önüne alındığında, ülkemizde güneş enerjisi yatırımlarının artırılması önemle teşvik edilmelidir. Bu çalışmada ülkemizin enerji ve güneş enerjisi durumundan bahsedilmiş, güneş enerjisi santrali yer seçiminde önemli olan kriterler 3 ana başlık altında değerlendirilmiştir. Bu kriterler, santral kurulumu ve işletmesi sırasında maliyetleri doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, çeşitli kriterler kullanılarak algoritmalar yardımıyla güneş enerjisi santrali yer seçimi incelenmiş, yapılmış çalışmalar üzerinde durulmuştur. Çalışmanın son kısmında, DPÜ Evliya Çelebi Kampüsü ele alınmış ve eğim, bakı, kampüs içerisinde yer alan binalar, su kütleleri ve yollar kriter olarak alınmıştır. Ele alınan kriterler doğrultusunda haritalar oluşturulmuş ve AHP yöntemiyle kampüs alanı içinde PV kurulumu uygunluk haritası elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Enerji-ve-Tabii-Kaynaklar-Gorunumleri> Erişim Tarihi: 26.08.2019
- [2] <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-2017-yili-istatistikleri> Erişim Tarihi: 03.09.2019
- [3] http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369 Erişim Tarihi: 03.09.2019
- [4] Köse, R., Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, 3e Dergisi S 68-72, 1998.
- [5] http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx Erişim Tarihi: 03.09.2019
- [6] www.meteonorm.com Erişim Tarihi: 11.09.2019
- [7] www.eie.gov.tr Erişim Tarihi: 11.09.2019
- [8] <https://www.yenienerji.com/gunes-enerjisi-ve-kullanim-alanlari> Erişim Tarihi: 03.09.2019
- [9] Şenlik, İ., Güneş Enerjisi Santrallerinin Yer Seçimi, Elektrik Mühendisliği S 462 S 94-98, 2017.

- [10] Kereush, D., Perovych, I., Determining Criteria For Optimal Site Selection For Solar Power Plants, *Geomatics, Landmanagement and Landscape C 4 S* 39-54, 2017.
- [11] Brewer, J., Ames, D.P., Solan, D., Lee, R., Carlisle, J., Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable Energy S 81 S* 825-836, 2015.
- [12] Charabi, Y., Gastli, A., PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy S 36 S* 2554-2561, 2011.
- [13] Dhunny, A., Doorga, J., Allam, Z., Lollchund, M., Boojhawon, R., Identification of optimal wind, solar and hybrid wind-solar farming sites using fuzzy logic modelling. *Energy S 188* 116056, 2019.
- [14] Jung, J., Han, S., Kim, B., Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on national highway slopes. *Applied Energy S 242 S* 57–68, 2019.
- [15] Palmer, D., Gottschalg, R., Betts, T., The future scope of large-scale solar in the UK: Site suitability and target analysis. *Renewable Energy S 133 S* 1136–1146, 2019.
- [16] Doorga, J. R., Rughooputh, S. D., Boojhawon, R., Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. *Renewable Energy S 133 S* 1201–1219, 2019.
- [17] Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J., Gyawali, S., GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable Energy S 132 S* 1360–1372, 2019.
- [18] Wu, Y., Zhang, B., Wu, C., Zhang, T., Liu, F., Optimal site selection for parabolic trough concentrating solar power plant using extended PROMETHEE method: A case in China. *Renewable Energy S 143 S* 1910–1927, 2019.
- [19] Shorabeh, S. N., Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Firozjaei, H. K., Jelokhani-Niaraki, M., A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy S 143 S* 958–973, 2019.
- [20] Garni, H. Z. A., Awasthi, A., Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy S 206 S* 1225–1240, 2017.
- [21] Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Amiri, M. J., Karimi, S., Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews S 68 S* 986–996, 2017.



[22] Abdul-Wahab, S., Charabi, Y., Al-Mahruqi, A. M., Osman, I., Osman, S., Selection of the best solar photovoltaic (PV) for Oman. *Solar Energy S* 188 S 1156–1168, 2019.

[23] Cho, Y., Shaygan, A., Daim, T. U., Energy technology adoption: Case of solar photovoltaic in the Pacific Northwest USA. *Sustainable Energy Technologies and Assessments S* 34 S 187–199, 2019.

[24] *Google Earth*, earth.google.com/web/ Erişim Tarihi: 22.11.2020

[25] NASA SRTM, <https://search.earthdata.nasa.gov/search> Erişim Tarihi: 22.11.2020

[26] ArcGIS Desktop 10.5, ESRI Inc.