

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE’NİN HİBRİT HARİTALARININ OLUŞTURULMASI VE
MALİYET ANALİZİ

Furkan ŞENGÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Programı

Danışman
Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’NİN HİBRİT HARİTALARININ OLUŞTURULMASI VE
MALİYET ANALİZİ**

Furkan ŞENGÜLER tarafından hazırlanan tez çalışması 05.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Enerji Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zehra YUMURTACI, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Burhanettin ÇETİN, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Levent KAVURMACIOĞLU, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Zehra YUMURTACI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Türkiye'nin Hibrit Haritalarının Oluşturulması ve Maliyet Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Furkan ŞENGÜLER

İmza

*Aileme ve
tüm sevdiklerime*

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Zehra YUMURTACI'ya, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Makine Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarımda yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşım Refik ÇEVİRME'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkürler ederim.

Furkan ŞENGÜLER

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	ix
HARİTA LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	7
2 Rüzgar ve Güneş Potansiyelleri	8
2.1 Rüzgar Potansiyeli	8
2.2 Güneş Potansiyeli.....	9
3 Potansiyellerin Hesaplanması	11
3.1 Rüzgar Enerjisinin Hesaplanması	11
3.2 Güneş Enerjisinin Hesaplanması	12
3.3 Güneş ve Rüzgar Enerji Potansiyellerinin Birleştirilerek Hibrit Enerji Potansiyelinin Saptanması	12
3.4 Marmara Bölgesi	14
3.5 Karadeniz Bölgesi.....	15
3.6 Ege Bölgesi.....	18
3.7 İç Anadolu Bölgesi	19
3.8 Akdeniz Bölgesi.....	21
3.9 Doğu Anadolu Bölgesi.....	23

3.10 Güneydoğu Anadolu Bölgesi.....	25
4 Maliyet Analizi	28
4.1 Ekonomik Parametreler.....	28
4.1.1 Bakım Maliyetleri	29
4.1.2 Gelirler.....	29
4.2 Marmara Bölgesi	31
4.3 Karadeniz Bölgesi.....	31
4.4 Ege Bölgesi.....	32
4.5 İç Anadolu Bölgesi	33
4.6 Akdeniz Bölgesi.....	33
4.7 Doğu Anadolu Bölgesi.....	34
4.8 Güneydoğu Anadolu Bölgesi	35
5 Şehirlerin Hibrit Potansiyelleri ve Yatırım Değerlerinin Karşılaştırılması	36
6 Devlet Teşviği ve Birim Elektrik Enerji Başına Maliyet Haritası.....	41
6.1 Devlet Teşviği.....	41
6.2 Birim Elektrik Enerji Başına Maliyet Hesabı ve Maliyet Haritası	44
7 Sonuç ve Öneriler.....	47
Referanslar	49
Tezden Üretilmiş Yayınlar.....	52

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Türkiye'nin enerji üretiminde kullandığı kaynakların dağılımı	2
Şekil 1.2 Rüzgar türbini parçaları	3
Şekil 1.3 Güneş paneli parçaları [8]	5
Şekil 1.4 Güneş enerjisi maliyetinin zaman içindeki değişimi [9]	15
Şekil 1.5 Hibrit enerji santralinin görünümü	17
Şekil 3.1 Marmara bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji potansiyeli	15
Şekil 3.2 Karadeniz bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji potansiyeli	17
Şekil 3.3 Ege bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji potansiyeli	19
Şekil 3.4 İç Anadolu bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji potansiyeli	21
Şekil 3.5 Akdeniz bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji potansiyeli	22
Şekil 3.6 Doğu Anadolu bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji	24
Şekil 3.7 Güneydoğu Anadolu bölgesi m2 başına yıllık hibrit enerji potansiyeli	26

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1	Haritadan alınan Marmara bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri.....	14
Tablo 3.2	Marmara bölgesi rüzgar potansiyeli verileri	14
Tablo 3.3	Marmara bölgesi güneş potansiyeli verileri	15
Tablo 3.4	Haritadan alınan Karadeniz bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri.....	15
Tablo 3.5	Karadeniz bölgesi rüzgar potansiyeli verileri.....	16
Tablo 3.6	Karadeniz bölgesi güneş potansiyeli verileri.....	16
Tablo 3.7	Haritadan alınan Ege bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri...	18
Tablo 3.8	Ege bölgesi rüzgar potansiyeli verileri.....	18
Tablo 3.9	Ege bölgesi güneş potansiyeli verileri.....	18
Tablo 3.10	Haritadan alınan İç Anadolu bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri.....	19
Tablo 3.11	İç Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli verileri	20
Tablo 3.12	İç Anadolu bölgesi güneş potansiyeli verileri.....	20
Tablo 3.13	Haritadan alınan Akdeniz bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri.....	21
Tablo 3.14	Akdeniz bölgesi rüzgar potansiyeli verileri.....	22
Tablo 3.15	Akdeniz bölgesi güneş potansiyeli verileri.....	22
Tablo 3.16	Haritadan alınan Doğu Anadolu bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri.....	23
Tablo 3.17	Doğu Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli verileri	23
Tablo 3.18	Doğu Anadolu bölgesi güneş potansiyeli verileri	24
Tablo 3.19	Haritadan alınan Güneydoğu Anadolu bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri	25
Tablo 3.20	Güneydoğu Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli verileri	25
Tablo 3.21	Güneydoğu Anadolu bölgesi güneş potansiyeli verileri	25
Tablo 4.1	Marmara bölgesi hibrit enerji yatırım durumu	31
Tablo 4.2	Karadeniz bölgesi hibrit enerji yatırım durumu	31
Tablo 4.3	Ege bölgesi hibrit enerji yatırım durumu.....	32
Tablo 4.4	İç Anadolu bölgesi hibrit enerji yatırım durumu.....	33
Tablo 4.5	Akdeniz bölgesi hibrit enerji yatırım durumu	33
Tablo 4.6	Doğu Anadolu bölgesi hibrit enerji yatırım durumu	34
Tablo 4.7	Güneydoğu Anadolu bölgesi hibrit enerji yatırım durumu	35
Tablo 5.1	Hibrit enerji potansiyeli ve yatırım değerlerinin karşılaştırılması	36
Tablo 6.1	Devlet teşviğinin yatırıma katkısının karşılaştırılması.....	42
Tablo 6.2	Birim elektrik enerji başına maliyet değerleri.....	46

HARİTA LİSTESİ

Harita 2.1 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel haritası [22]	8
Harita 2.2 Türkiye rüzgar kapasite faktörü haritası [23]	9
Harita 2.3 Türkiye yıllık ortalama güneş radyasyon dağılım haritası [24]	10
Harita 3.1 Türkiye'nin hibrit enerji potansiyel haritası.....	27
Harita 5.1 1 MW hibrit enerji santrali hem rüzgar hem de güneş tarafından kazandıran yatırım haritası.....	40
Harita 6.1 Birim elektrik enerji başına maliyet haritası.....	45

Türkiye'nin Hibrit Haritalarının Oluşturulması ve Maliyet Analizi

Furkan ŞENGÜLER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

Elektrik enerjisine olan ihtiyaç zamanla artarken, tek başına bir yenilenebilir enerji kaynağı henüz bu artışı karşılayamamaktadır. Gelecekte fosil yakıtlara bağlılığın azalması için alternatif yollar aranmaktadır. Hibrit enerji de bu konuda önemli bir adım olarak karşımıza çıkmaktadır. Tek başına güneş enerjisi veya rüzgar enerjisine göre üretim kapasitesinin fazla olması ve ek olarak depolama birimleri sayesinde yenilenebilir enerjinin önemli sorunlarından olan süreklilik sorununa karşı çözüm olması hibrit enerjiyi fosil yakıtlara karşı iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkarmaktadır. Türkiye’de rüzgar ve güneş enerjisine yatırım günden güne artarken, hibrit enerji potansiyelinin hangi noktalarda ne kadar olduğunun bilinmesi önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada Türkiye’nin sahip olduğu rüzgar ve güneş potansiyelleri birleştirilerek hibrit potansiyellerinin haritasının oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca bazı ekonomik faktörler göz önüne alınıp oluşturulan senaryo ile hibrit enerji santrali kurulması takdirde bu sistemin kazanç durumunun da belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda Türkiye’nin sahip olduğu rüzgar ve güneş enerjisinin potansiyel haritaları incelenmiştir. Bu potansiyel haritalarına göre 81 ilde mevcut güneş ve rüzgar

potansiyeli belirlenmiştir. Aynı noktalardaki rüzgar ve güneş potansiyeli verileri birleştirilerek hibrit enerji potansiyelleri saptanmıştır. Potansiyeller saptandıktan sonra haritası oluşturulmuştur. Ardından belirlenen hibrit potansiyeli verileri baz alınarak her il için 1MW enerji santrali kurulması takdirde yatırımın değerinin uygun ekonomik veriler baz alınarak maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Türkiye’de özellikle Hatay’da oldukça yüksek rüzgar potansiyeli ve yeterli düzeyde güneş potansiyeli olduğu saptanmıştır. Aynı zamanda Çanakkale ve Karaman gibi iller de yüksek kazanç sağlayan bölgeler olarak Hatay’ı takip etmektedir. Çalışmaların ardından Türkiye’nin hibrit enerji açısından elverişli bir konumda olduğu saptanmıştır. Hibrit enerji santralinin , temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretiminde fosil yakıtların kullanım oranı azaltılıp hem Türkiye’nin hem de Dünya’nın geleceğini kurtarmak için alternatif bir yol olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar, güneş, Türkiye, hibrit potansiyel haritası, maliyet analizi.

Creating Hybrid Energy Maps of Turkey and Cost Analysis

Furkan ŞENGÜLER

Department of Mechanical Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Zehra YUMURTACI

While the need for electrical energy has increased over time, a renewable energy source alone cannot meet this increase yet. In the future, alternative ways of decreasing loyalty to fossil fuels are sought. Hybrid energy is an important step in this regard. Hybrid energy is a good alternative to fossil fuels, due to the high production capacity compared to solar or wind energy alone. Also with help of storage units problem of continuity can be solved, which is one of the major problems of renewable energy. In Turkey, investment of solar and wind energy increasing day by day. While solar and wind power getting crucial for Turkey it is important to know how much potential of hybrid energy exists in country with a map. Purpose of this study is by combining solar and wind potential of Turkey, creating the hybrid energy potential map. In addition, with considering the economic conditions the establishment of a hybrid power plant scenario created. This scenario is aimed to determine the whether hybrid power plant feasible or not. In this regard, the potential map of where wind and solar energy in Turkey have been examined. According to these potential maps, solar and wind potential in 81 provinces were determined. By combining wind and solar potential data at the same points, hybrid energy potentials were determined.

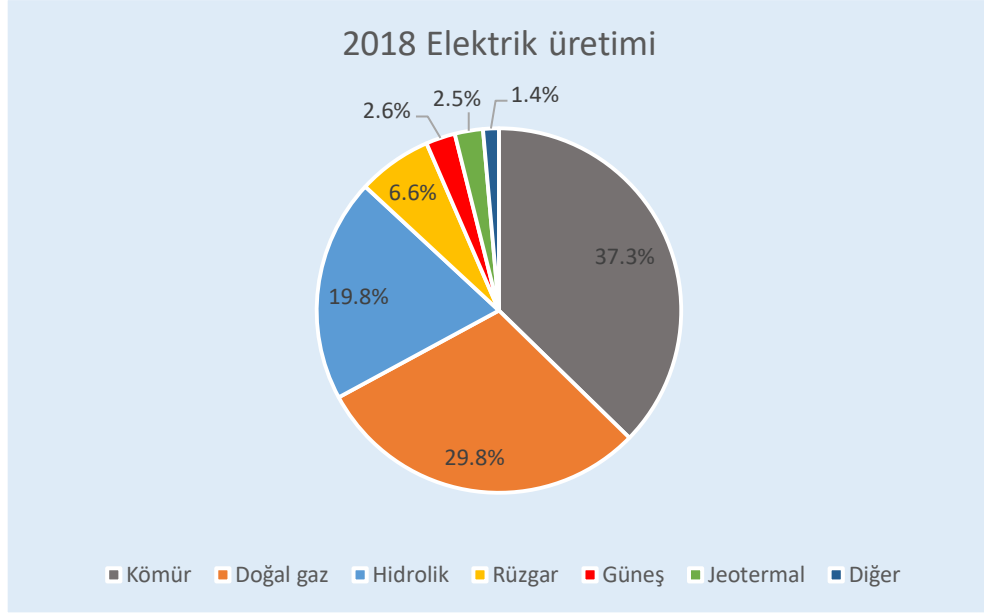
Map was created after potentials were determined. Then, if a 1MW power plant was established for each province based on the determined hybrid potential data, the cost analysis of the value of the investment was made based on the appropriate economic data. According the results of the study especially in Hatay in Turkey were found to be quite high wind potential and solar potential at an adequate level. Then it is found that investment to Hatay provides more revenue than rest of all provinces. Also, provinces such as Çanakkale and Karaman follow Hatay as high yielding regions. After the studies, Turkey has been found to be a suitable place for hybrid energy. Hybrid power plant, which using clean and renewable energy sources can reduce fossil fuel utilization rate. So hybrid energy can be alternative way to save both Turkey and World.

Keywords: Wind, solar, Turkey, hybrid potential map, cost analysis.

1.1 Literatür Özeti

Türkiye, yüksek nüfusa ve giderek artan bir nüfusa sahip bir ülke konumundadır. Bundan dolayı enerjiye olan ihtiyacı da giderek artış göstermektedir. Ülkemizde üretilen enerjinin büyük bölümü fosil yakıtlarla elde edilirken fosil yakıtların bir gün biteceği bilinen bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca ithal edilen fosil yakıtlar ülke ekonomisine de zarar vermektedir. Bununla birlikte yüksek büyüme yükü, hızlı endüstrileşme ve ekonomik gelişmeler nedeniyle insanlık, fosil yakıt kaynaklarına bağlı olarak yaşamını devam ettirmektedir. Fosil yakıtlara bağımlılık devam ederken daha temiz ve sürdürülebilir kaynak arayışı geleceğimizi daha yaşanabilir kılmak için devam etmektedir. Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları incelendiğinde hem rüzgar hem de güneş enerjisinin önemli bir konumda olduğu belirlenebilmektedir [1].

Türkiye'de elektrik enerjisi tüketimi 2018 yılında bir önceki yıla göre %2,2 artarak 303,3 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %2,2 oranında artarak 303,9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik tüketiminin 2023 yılındaki senaryoya göre yıllık ortalama %4,8 artışla 385 TWh'e ulaşması beklenmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye'nin enerji üretiminde kullandığı kaynakların dağılımı

2018 yılında elektrik üretimimizin, %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 elde edilmiştir. Ayrıca Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2018 yılı sonu itibarıyla 7.423'e (Lisanssız santraller dahil) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 653 adedi hidroelektrik, 42 adedi kömür, 249 adedi rüzgâr, 48 adedi jeotermal, 320 adedi doğal gaz, 5.868 adedi güneş, 243 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir [2].

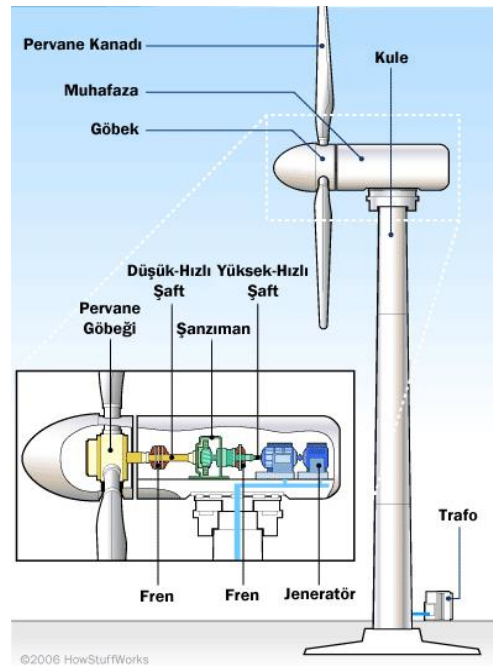
Rüzgar enerjisi; güneş radyasyonu nedeniyle yeryüzünün farklı sıcaklık seviyesine sahip olmasından dolayı meydana gelir. Bu farklı sıcaklık seviyesi basınç seviyelerinde de dalgalanma meydana gelmesine sebep olur ve farklı basınç seviyeleri de havanın hareket etmesine neden olur. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si rüzgar enerjisine dönüşmektedir.

Rüzgar gücü, hem karada hem denizde üretilen enerjinin yenilenebilir ve temiz bir formudur. Çalışması için herhangi bir yakıtı ihtiyacı olmaz ve karbon emisyonuna sahip değildir. Rüzgar türbini, rüzgar enerjisini elde edebilmek için kullanılan en önemli yapıdır. Rüzgardan enerjiyi sahip olduğu kanatlarından almaktadır. Rüzgarın hareket ettirdiği bu kanatlar bir jeneratöre bağlıdır. Bu jeneratörde kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmekte olup şebekeye aktarılmaktadır.

Rüzgar potansiyeli bölgesel coğrafi farklılıklara ve yeryüzüne eşit dağılmayan sıcaklıklara göre değişiklik göstermektedir. Rüzgar 2 farklı parametrede, hız ve yön olarak ifade edilebilmektedir. Rüzgar hızı yüksekliğe göre artış göstermektedir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, kapasite faktörü de düşüktür. Avantajları ise;

- Atmosferde ücretsiz bir şekilde bulunması,
- Yenilenebilir, temiz ve çevre dostu bir enerji olması
- Tükenme riski olmaması
- Maliyetler günümüzde yatıtım yapılabilir seviyelere inmesi
- Bakım ve tamir maliyetleri yüksek olaması
- Kurulum ve işletme teknolojisi görece kolay olması
- Kısa sürede devreye girebilmesi

Rüzgar türbinleri, dönüş eksenine göre dikey ve yatay olarak üretilebilmektedir. Yatay eksenli rüzgar türbinleri genelde tercih edilen rüzgar türbin çeşididir [3].



Şekil 1.2 Rüzgar türbini parçaları

Rüzgar türbinleri, elektrik üretimine blirli bir rüzgar hızı olduğunda başlayabilmektedir. Bir rüzgar türbini, elektrik üretebilmek için rüzgar hızı için bir alt limit(cut-in) bir de üst limit(cut-out) bulunmaktadır. Modern türbinlerde

alt limit 2-4 m/s arasında, üst limit ise 25-35 m/s arasındadır. Her rüzgar türbini belirli bir rüzgar hızında maximum güç değerine ulaşabilmektedir. Rüzgar hızı kritik seviyeye ulaştığında rüzgar türbini otomatik olarak kendini kapatarak sistemin zarar görmesini engellemektedir.

Gürültü kirliliğini önlemek için gövde ses izolasyonludur. Kuleler kafes veya boru biçiminde yapılmaktadır. Kule yükseklikleri fazla olabildiğinden kafes kulelerin dışındaki konstrüksiyonlar iki ya da üç parçalı olabilmektedir.

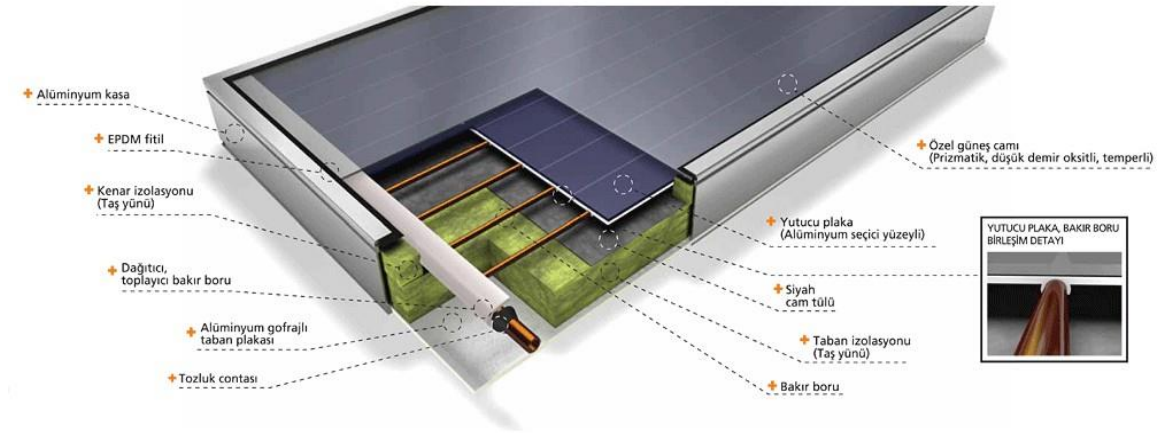
Türkiye’de rüzgar enerjisi potansiyelinin 48000 MW olduğu tahmin edilmektedir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1,30’una denk gelmektedir. 2018 yılında rüzgar enerjisinden 19.882 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2018 yılında toplam kurulu kapasite is 7005 MW’dır [4-6].

Güneş enerjisi; güneşten elde edilip elektrik veya termal enerji formuna dönüştürülebilir bir enerji çeşididir. Güneş enerjisi birkaç farklı yolla elde edilebilir. Bunlardan en yaygını fotovoltaiik güneş paneli yardımıyla güneş radyasyonunu kullanılabilir elektriğe çevirmektir.

Güneş enerjisi temiz, ucuz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu yüzden çevreye herhangi bir kirlilik sağlamaz. Güneş ışığının yeryüzüne ulaştığı her noktada potansiyel olarak güneş enerjisi üretilebilir. Güneş enerjisinin kaynağı güneş olduğundan dolayı sonsuz bir enerji kaynağıdır [7].

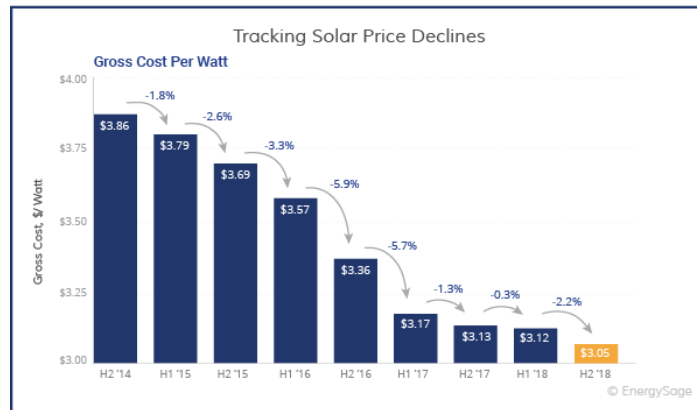
Güneş panelleri fabrikalarda ticari amaçla, konutlarda ya da enerji santrali olarak enerji ihtiyacını karşılayan sistemler olarak kullanılabilir. Konutlarda kullanılan fotovoltaiik paneller genellikle eblerin çatılarına yerleştirilmektedir. Konudun büyüklüğüne göre yaklaşık olarak 5 ile 20 kW arasında güce sahip olabilir. Ticari amaçla hazırlanan güneş enerji projeleri genellikle konutlarda kullanılanlardan daha büyük çapta kurulmaktadır. Ticari güneş enerji projeleri büyük oranda çeşitlilik göstermektedir. Ticari çapta kullanılan güneş panelleri güneş enerjisi kullanarak işletmeye enerji sağlamaktadır. Enerji santrali olarak kullanılan güneş enerji projeleri ise büyük çapta enerji üretimine öncelik veren projelerdir. Bu sistemlerin amacı güneş

enerjisini elektrik enerjine dönüştürüp müşteriye ulaştırarak kazanç elde etmektir.



Şekil 1.3 Güneş paneli parçaları [8]

Günümüzde güneş panellerinin verimliliğinin de artmasıyla güneş enerjisinin maliyeti önemli derecede düşüş gerçekleştirmiştir. Sadece son zamanlarda, güneş panel kurulum maliyeti %60'tan fazla bir düşüş gerçekleştirmiştir. Ve birçok endüstri uzmanının tahminine göre fiyatlar daha da düşme eğilimi göstermektedir.



Şekil 1.4 Güneş enerjisi maliyetinin zaman içindeki değişimi [9]

Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritasına göre ülkenin toplam yıllık solar radyasyon absorbe etme süresi 2741 saattir. Bu yaklaşık gün başına 7.5 saate karşılık gelmektedir. Bu veriye göre yıllık m^2 başına düşen güneş enerjisi 1527 kWh'dir. Günlük olarak 4.18 kWh/ m^2 değerine karşılık gelmektedir.

2018'in sonunda Türkiye'de toplam 5863 tane güneş enerji santrali bulunmaktadır. Toplam kurulu güneş enerji santrali kapasitesi ise 5063 MW'dır. Bunun 4981.2 MW kısmı lisanssız, 81.8 MW kısmı ise lisanslı güneş santrali olarak kullanılmaktadır. Türkiye, elektrik enerjisi ihtiyacını 7477.3 GWh ile %2.5'lik kısmını güneş enerjisinden karşılamaktadır [9-10].



Şekil 1.5 Hibrit enerji santralinin görünümü

Rüzgar ve güneş enerjisi sadece fosil yakıtların bitmesine engel olmakla kalmayıp aynı zamanda temiz enerji üretimini sağlayarak kirliliğin önüne geçmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli enerji ihtiyacını karşılayarak sürekliliğin sağlanması karşımıza bir problem olarak çıkmaktadır. Bundan dolayı yenilenebilir, alternatif enerji kaynakları devamlılık ve sabit bir şekilde güç ihtiyacının karşılanması için birbiriyle entegre olabilmeleri gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kırsal alanlarda oldukça uygulanabilir bir alternatif olarak görünmektedir [11-15]. Rüzgar türbini ve fotovoltaiik panelden enerji üretiminde teknoloji, rüzgar ve güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretiminde yeni fırsatlar yaratmıştır [16]. Yenilenebilir enerji kaynakları önceden tahmin edilemeyen değişken davranışlar içersindedir. Ancak, bazıları, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı gibi, birbirini tamamlayıcı profillere sahiptir[17]. Potanyeli çok yüksek olmayan bölgelerde sadece rüzgar veya güneş enerjisini kullanmak yerine hibrit bir sistemde güneş ve rüzgar enerjisini kullanmanın çok daha verimli olduğu yapılan çalışmalarda saptanmıştır[18]. Hibrit sisteme depolama göreviyle batarya eklenmesiyle sistemin devamlılığı daha iyi hale gelmektedir [19,20]. Genellikle rüzgar - güneş hibrit sistemi rüzgar türbini, fotovoltaiik sistem, kontrolör ve depolama

biriminden oluşmaktadır. Rüzgar türbininden elde edilen elektrik enerjisi stabil değildir. Bu yüzden bazı kontrol üniteleri ya da invertörler bu enerjiyi devamlı ve depolanabilir bir hale getirirler. Bu enerji daha sonra yerel amaçlarla ya da diğer amaçlarla kullanılabilir. Fotovoltaik düzende güneş panelleri seri ya da paralel olarak sıralanıp güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edebilmektedir. Üretilen elektrik enerjisi depolanabilir ve alternatif ya da doğru akım olarak kullanılabilir. Hibrit sistemlerde günlük elektrik üretim kapasitesi yüksektir. Üretim maliyeti ve bakım maliyeti düşüktür [21].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada rüzgar-güneş hibrit sistemi kullanılarak Türkiye'nin bu sistem bakımından sahip olduğu potansiyel incelenmiştir. Rüzgar-güneş hibrit sisteminin seçilmesinin başlıca sebebi hibrit sistemin avantajlarıdır. Daha yaşanabilir bir geleceğe duyulan arzu sonucu ulaşılan çözümlerden biri olarak karşımıza çıkan hibrit enerjinin ülkemizde daha çok yaygınlaşarak hem ekonomiye hem de çevreye fayda sağlanması amaçlanmaktadır.

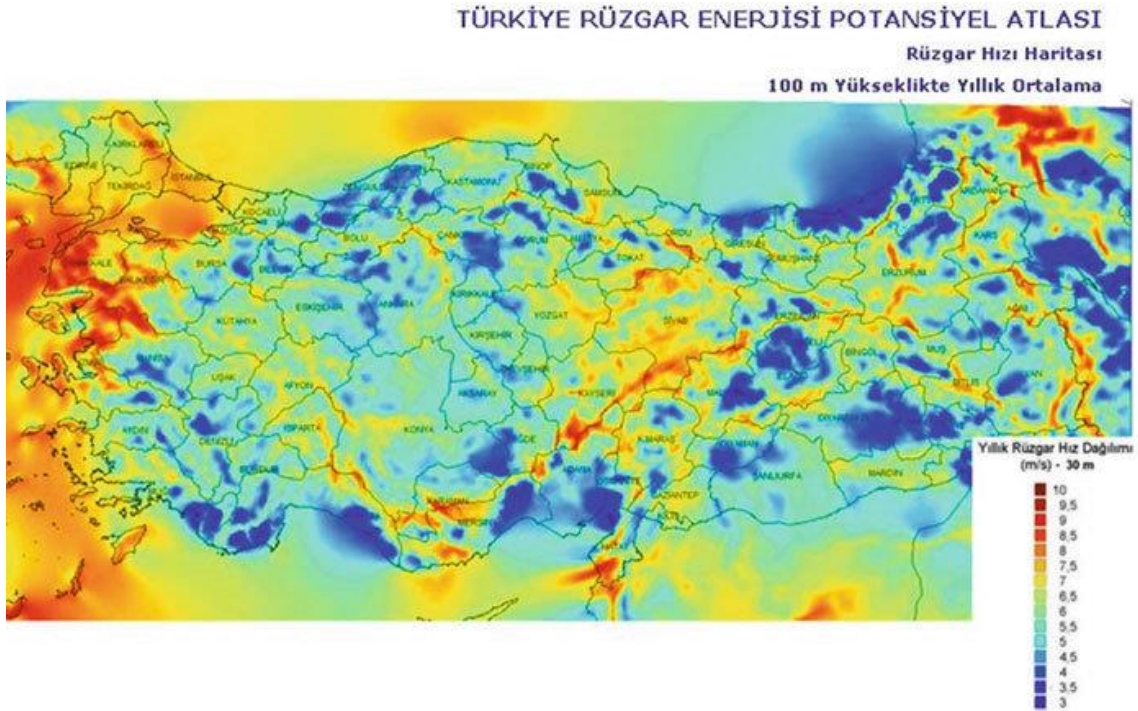
1.3 Hipotez

Bu çalışmada Türkiye'nin rüzgar ve güneş potansiyelleri birleştirilerek hibrit enerji potansiyeli incelenecektir. Türkiye'nin sahip olduğu rüzgar ve güneş enerjisi potansiyel durumuna göre hibrit enerji, Türkiye için kazançlı bir yatırım olacaktır.

RÜZGAR VE GÜNEŞ POTANSİYELLERİ

Projeye Türkiye'nin rüzgar ve güneş enerjisi haritaları incelenerek başlandı. Güneş ve rüzgar enerji potansiyelleri ayrı ayrı haritalardan okunarak aynı noktalarda sahip olunan potansiyeller dikkate alındı ve hibrit enerji potansiyeli saptanabilme imkanına erişildi. Rüzgar ve güneş enerji potansiyellerinin hesaplanmasında kritik öneme sahip değerlerin alındığı haritalar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

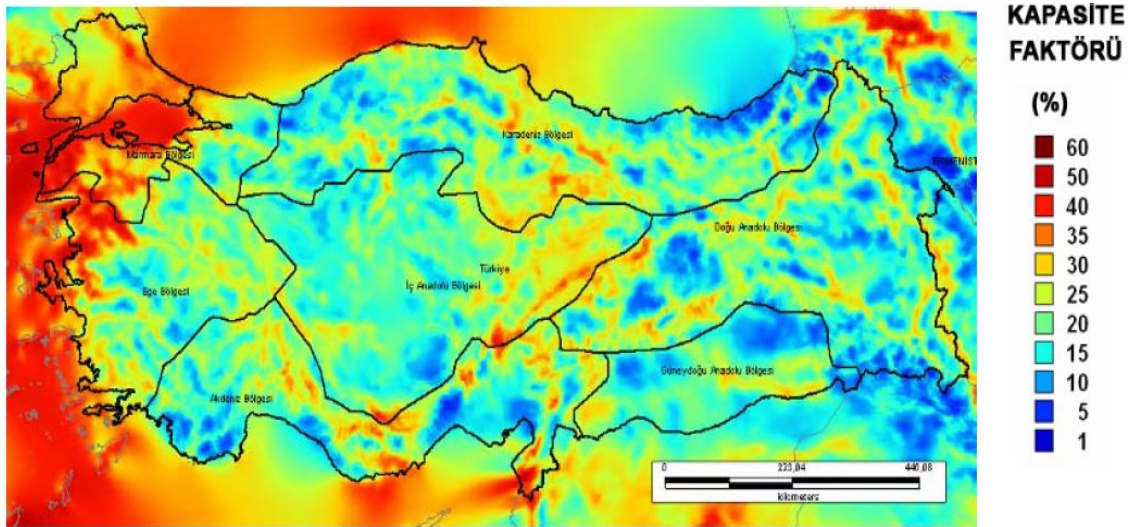
2.1 Rüzgar Potansiyeli



Harita 2.1 Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel haritası [22]

Harita 2.1'de rüzgar enerji potansiyeline en önemli etkiyen değer olan yıllık rüzgar hızı değerleri okunmuştur. Rüzgar hızı verileri renklerle belirtilmiş olup hız ise m/s cinsinden gösterilmiştir. Haritada görüldüğü üzere ülkemizin batı kesiminde rüzgar potansiyeli önemli seviyelerde görünmektedir. Ayrıca İç Anadolu, bazı güney kesimleri ve doğu bölgelerinde de kayda değer bir rüzgar potansiyeli saptanabilmektedir. Yukarıdaki grafikteki rüzgar hızı değerleri 100

metre yükseklikte yıllık ortalama rüzgar hızını vermektedir. Rüzgar enerji potansiyeli hesaplanırken yıllık rüzgar hızı dışında dikkate alınan değerlerden biri de kapasite faktörüdür. Kapasite faktörü, rüzgar enerji potansiyelini belirleyen ve kısıtlayan kayda değer bir değişken olarak hesaplamaya katılmakta olduğundan bu harita da rüzgar hızı kadar potansiyeli etkileyen önemli bir yere sahip olmaktadır. Aşağıda rüzgar enerji potansiyeli hesaplanmasında bir diğer değişken olan rüzgar kapasite faktörü haritası verilmiştir.

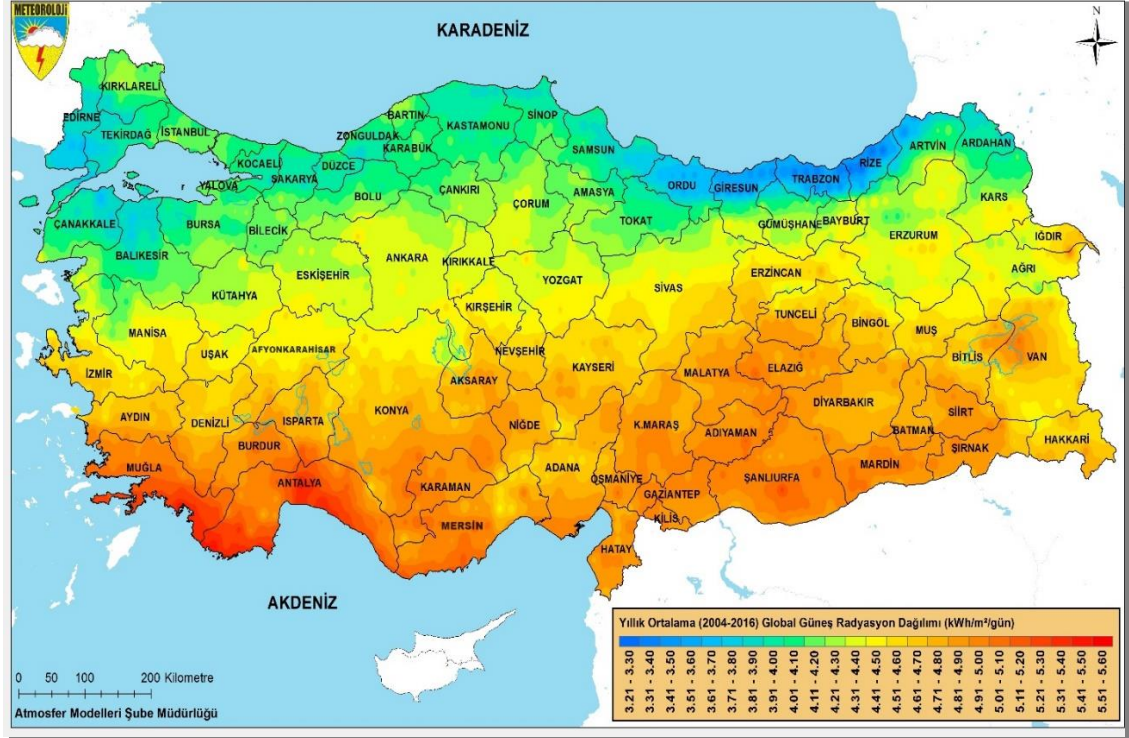


Harita 2.2 Türkiye rüzgar kapasite faktörü haritası [23]

Harita 2.2'deki kapasite faktörü verilerinin değişimi renk aracılığıyla yüzde olarak gösterilmiştir. rüzgar kapasite faktörü haritasına göre yıllık rüzgar hızı ortalaması yüksek olan kesimlerde kapasite faktörünün de yüksek olduğu gözlemlenmektedir.

2.2 Güneş Potansiyeli

Harita 2.3 ile beraber Türkiye'nin yıllık ortalama güneş potansiyelini hesaplamak için en gerekli değer olan yıllık güneş radyasyonunun Türkiye haritasındaki dağılımı verilmiştir. Güneş radyasyonu haritasında gösterilen radyasyonun birimi kWh/m²/gün olarak gösterilmiştir. Devlet Meteoroloji İşleri'nin 2004-2016 yılları arasında sağlamış olduğu güneş radyasyonu verilerine göre yurdumuzun batı, doğu ve iç kesimlerinde kayda değer bir güneş radyasyonu saptanmıştır. Özellikle güney bölgelerde, ortalama güneş radyasyon seviyesinin ülkemizin en yüksek potansiyellerine ulaştığı görülmüştür.



Harita 2.3 Türkiye yıllık ortalama güneş radyasyon dağılım haritası [24]

POTANSİYELLERİN HESAPLANMASI

3.1 Rüzgar Enerjisinin Hesaplanması

Rüzgar ve güneş enerjisini hesaplanmasına dair yapılan çalışmalarda alttaki denklemlerden yararlanıldı. Rüzgar enerjisi (3.2) eşitliği ve güç çıktısı (3.1) eşitliği kullanılmıştır.

$$P = 1/2 * \rho * v^3 * A * n_b * n_l \quad (3.1)$$

P ; Güç (W)

A ; Ortalama rotor alanı (ort. D=44 m)

v ; rüzgar hızı(m/s)

ρ ; hava yoğunluğu (1,23 kg/m³)

n_b ; Betz limiti (%59)

n_l ; Kayıplar (ortalama %50)

$$E = P * cf * 365 * 24 / 1000 \quad (3.2)$$

(3.2)

E ; Yıllık üretilen enerji (kWh/yıl)

cf ; kapasite faktörü

Bu eşitliklerde miktarları seçilmesi gereken bazı değerler mevcut durumdaydı. Bunlardan, A rotor alanı ve n_l kayıp değerleri ortalama bir rüzgar türbini baz alınarak hesaba katıldı. Rotor alanı için gerekli olan rüzgar türbini kanatlarının oluşturduğu çapı 44 m olarak alındı. Aerodinamik kayıplar da ortalama olarak %50 alındı. Hava yoğunluğu 1.23 kg/m³ olarak alındı. Rüzgar hızı (v) ve kapasite faktörü (cf) yukarıda verilen Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli haritalarından alınmıştır.

3.2 Güneş Enerjisinin Hesaplanması

Fotovoltaik panelden üretilen yıllık güneş enerjisinin hesaplanmasında;

$$E = A * r * H * 365 * PR \quad (3.3)$$

E ; tek panel için yıllık ortalama enerji (kWh/yıl)

A ; ortalama güneş panel alanı (1.9812m x 0,9906m = 1,9625m²)

r ; ortalama güneş panel verimliliği (%18,5)

H ; yıllık ortalama radyasyon (kwh/m²)

PR ; performans oranı, kayıpların katsayısı (0.5 ve 0.9 arasında, ortalama = 0.75)

(3.3) eşitliğinden yararlanılmıştır. Belirli olmayan değerler bu hesaplamada da mevcut durumdaydı. Bu değerler için yapılan işlemler rüzgar enerjisi için yapılan işlemlere benzer özellik taşımaktadır. Bu denklemdeki bilinmeyen değişkenler; A güneş panel alanı, PR performan oranı ve r güneş paneli verimliliğidir. Yıllık ortalama radyasyon, (H) Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritasından elde edilmiştir.

3.3. Güneş ve Rüzgar Enerji Potansiyellerinin Birleştirilerek Hibrit Enerji Potansiyelinin Saptanması

Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisini hesaplamak için gerekli olan veriler haritadan okunurken şu yol izlenmiştir;

1. Şehirdeki en yüksek güneş enerji potansiyeli olan noktayı belirleme
2. Şehirdeki en yüksek rüzgar eneji potansiyeli olan noktayı belirleme
3. Bu noktaları birbiriyle karşılaştırma ve birbirine olan uzaklığını saptama
4. Bu noktalar aynı konumlarda bulunuyorsa veriyi haritadan okuma
5. En yüksek güneş ve rüzgar potansiyelinin olduğu konum birbiri ile yakında değil ise şehrin detaylı incelenmesi

6. Rüzgar veya güneş enerjisi potansiyelinde en az düşüşün sağlanması koşuluyla iki enerji türüne de bakılarak şehir potansiyeli açısından en yükseğe yakın potansiyellerde farklı noktaların bulunup haritadan okunması

Rüzgar ve güneş için gerekli değerlerin haritalardan okunmasından sonra, ortalama değerleri de denkleme koyarak hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra hesaplanan rüzgar ve güneş enerjisinin yıllık enerjisi karşılaştırıldığında 1 panele göre 1 rüzgar türbini karşılaştırıldığında arasındaki farkın çok büyük olduğu gözlemlenmiştir. Rüzgar ve güneş enerjisinin hibrit olarak potansiyelini daha kolay gösterebilmek adına 1 rüzgar türbininin ve 1 güneş panelinin 1 m² başına ürettiği enerjiyi hesaplayıp karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu sayede Türkiye’de hibrit enerjisi potansiyelini yüzdelik olarak gösterebilme olanağına erişilmiştir. Bu hesaplama yöntemi ile Türkiye’nin 7 bölgesinden 81 tane ilimizin rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi potansiyel haritalarından okunan değerlere göre 1 m² başına üretilen toplam enerjinin yüzde kaçının rüzgar, yüzde kaçının güneş enerjisinden üretilebileceği hesaplanıp her bir il için grafik halinde şeması çıkarılmıştır. Daha sonra bu şemalar teker teker illerin üstüne yerleştirilerek aşağıdaki tablo ve haritaya ulaşılmıştır. Aşağıda bölge olarak ayrılarak 81 il için de güneş ve rüzgar potansiyel değerleri tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca tablolarda bir rüzgar türbini ve bir güneş paneli başına üreilebilecek yıllık enerji miktarı da gösterilmiştir. Bu miktar hesaplanırken m² başına sahip olunan yıllık potansiyelin daha önce bilinen türbinin yüzey alanı ve güneş panelinin yüzey alanı ile çarpımından elde edilmiştir.

3.4 Marmara Bölgesi

Tablo 3.1 Haritadan alınan Marmara bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m ² .gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
İstanbul	4,11 - 4,20	7,5 - 8	35
Edirne	3,71 - 3,90	8 - 8,5	40
Tekirdağ	4,11 - 4,20	8 - 8,5	40
Kırklareli	4,21 - 4,30	8,5 - 9	40
Çanakkale	4,21 - 4,40	9	45
Balıkesir	4,21 - 4,40	8 - 9	40
Bursa	4,11 - 4,30	7,5 - 8	40
Yalova	4,21 - 4,30	8 - 8,5	40
Kocaeli	4,11 - 4,20	6,5 - 7	35
Bilecik	4,21 - 4,30	6,5 - 7,5	30
Sakarya	4,21 - 4,30	6,5 - 7	30

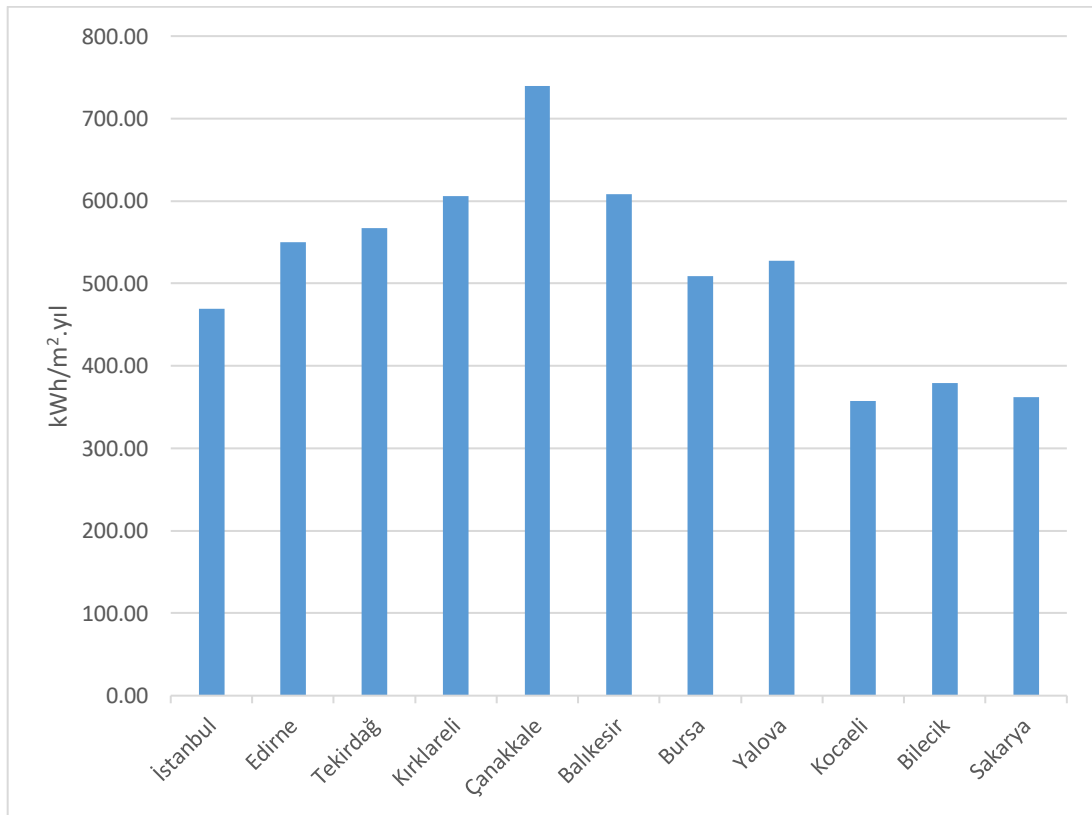
Tablo 3.2 Marmara bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/türbin)
İstanbul	258.93	Rüzgar	55.2%	393703.82
Edirne	356.96	Rüzgar	64.9%	542773.09
Tekirdağ	356.96	Rüzgar	62.9%	542773.09
Kırklareli	390.41	Rüzgar	64.4%	593626.45
Çanakkale	521.36	Rüzgar	70.5%	792750.48
Balıkesir	390.41	Rüzgar	64.2%	593626.45
Bursa	295.91	Rüzgar	58.2%	449940.28
Yalova	312.34	Rüzgar	59.2%	474926.46
Kocaeli	146.63	Rüzgar	41.1%	222961.07
Bilecik	163.54	Rüzgar	43.1%	248663.39
Sakarya	146.63	Rüzgar	40.5%	222961.07

Tablo 3.3 Marmara bölgesi güneş potansiyeli verileri

Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
İstanbul	210.42	Güneş	44.8%	412.96
Edirne	192.70	Güneş	35.1%	378.17
Tekirdağ	210.42	Güneş	37.1%	412.96
Kırklareli	215.49	Güneş	35.6%	422.90
Çanakkale	218.02	Güneş	29.5%	427.87
Balıkesir	218.02	Güneş	35.8%	427.87
Bursa	212.96	Güneş	41.8%	417.93
Yalova	215.49	Güneş	40.8%	422.90
Kocaeli	210.42	Güneş	58.9%	412.96
Bilecik	215.49	Güneş	56.9%	422.90
Sakarya	215.49	Güneş	59.5%	422.90

Marmara bölgesi için yapılan hesaplamalarda Hibrit enerjiye katkı açısından Rüzgar enerji potansiyelinin güneş potansiyelinden daha büyük bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Rüzgar türbini ve fotovoltaik panel başına üretilen enerji, bir önceki bölümde belirlenmiş değerler kullanarak hesaplanmıştır.

**Şekil 3.1** Marmara bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

3.5 Karadeniz Bölgesi

Tablo 3.4 Haritadan alınan Karadeniz bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m ² .gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
Düzce	4,11 - 4,20	4,5 - 5,5	15
Zonguldak	3,71 - 3,90	5,5 - 6,5	20
Bolu	4,21 - 4,30	6,5 - 7	30
Karabük	4,11 - 4,20	6 - 6,5	25
Bartın	4,11 - 4,20	6 - 6,5	25
Kastamonu	4,21 - 4,30	7	30
Çorum	4,31 - 4,40	6,5 - 7	25
Sinop	4,11 - 4,20	7	35
Samsun	4,21 - 4,30	7 - 7,5	35
Amasya	4,21 - 4,30	6,5 - 7,5	30
Tokat	4,11 - 4,20	7 - 8	35
Ordu	4,01 - 4,10	7,5	30
Giresun	4,01 - 4,20	7	27,5
Gümüşhane	4,21 - 4,40	7 - 7,5	30
Trabzon	4,01 - 4,10	5 - 6	20
Bayburt	4,41 - 4,50	7	25
Rize	4,31 - 4,40	6,5 - 7,5	25
Artvin	4,41 - 4,50	7 - 7,5	30

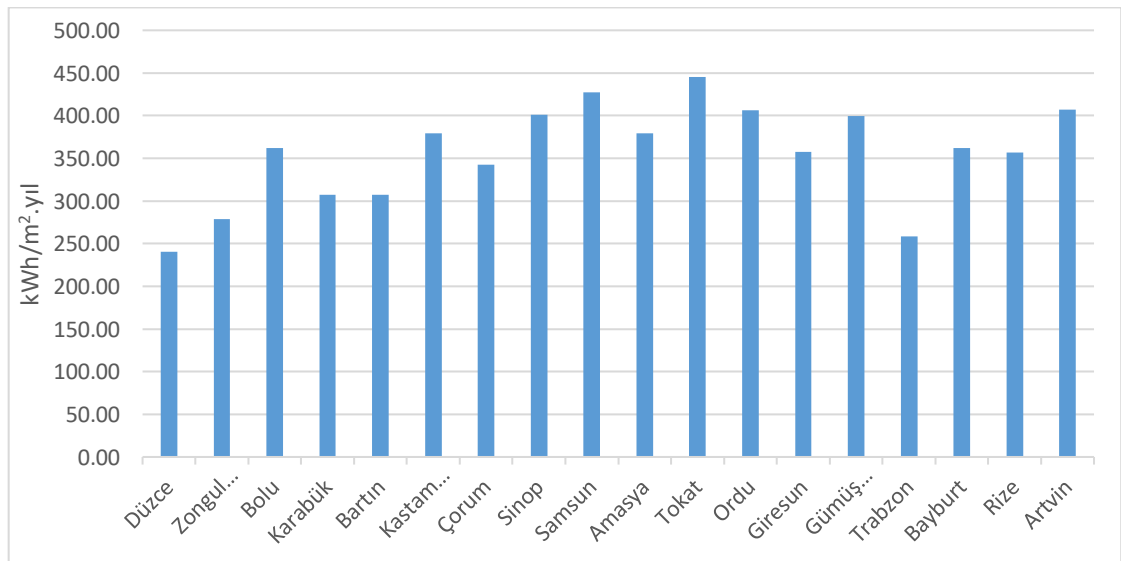
Tablo 3.5 Karadeniz bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)	Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)	Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/türbin)
Düzce	29.80	Rüzgar 12.4% 45310.38
Zonguldak	68.66	Rüzgar 24.6% 104395.13
Bolu	146.63	Rüzgar 40.5% 222961.07
Karabük	97.00	Rüzgar 31.6% 147494.74
Bartın	97.00	Rüzgar 31.6% 147494.74
Kastamonu	163.54	Rüzgar 43.1% 248663.39
Çorum	122.19	Rüzgar 35.7% 185800.89
Sinop	190.79	Rüzgar 47.6% 290107.29
Samsun	211.97	Rüzgar 49.6% 322313.53
Amasya	163.54	Rüzgar 43.1% 248663.39
Tokat	234.67	Rüzgar 52.7% 356819.28
Ordu	201.14	Rüzgar 49.5% 305845.09
Giresun	149.91	Rüzgar 41.9% 227941.44
Gümüşhane	181.69	Rüzgar 45.5% 276268.74
Trabzon	52.88	Rüzgar 20.5% 80410.83
Bayburt	136.28	Rüzgar 37.7% 207219.49
Rize	136.28	Rüzgar 38.2% 207219.49
Artvin	181.69	Rüzgar 44.6% 276268.74

Tablo 3.6 Karadeniz bölgesi güneş potansiyeli verileri

Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
Düzce	210.42	Güneş	87.6%	412.96
Zonguldak	210.42	Güneş	75.4%	412.96
Bolu	215.49	Güneş	59.5%	422.90
Karabük	210.42	Güneş	68.4%	412.96
Bartın	210.42	Güneş	68.4%	412.96
Kastamonu	215.49	Güneş	56.9%	422.90
Çorum	220.55	Güneş	64.3%	432.84
Sinop	210.42	Güneş	52.4%	412.96
Samsun	215.49	Güneş	50.4%	422.90
Amasya	215.49	Güneş	56.9%	422.90
Tokat	210.42	Güneş	47.3%	412.96
Ordu	205.36	Güneş	50.5%	403.02
Giresun	207.89	Güneş	58.1%	407.99
Gümüşhane	218.02	Güneş	54.5%	427.87
Trabzon	205.36	Güneş	79.5%	403.02
Bayburt	225.62	Güneş	62.3%	442.78
Rize	220.55	Güneş	61.8%	432.84
Artvin	225.62	Güneş	55.4%	442.78

Karadeniz bölgesi potansiyel hesaplamalarından sonra hem güneş hem rüzgar potansiyelinin ülkemiz ortalamasından biraz daha düşük seviyede olduğu anlaşılmıştır. En çok ilimizin bu bölgede olmasına rağmen bulunduğu konum itibari ile hibrit enerji potansiyeli açısından iyi seviyede olmayan bazı kesimlerin de bu bölgede olduğu saptanmıştır.

**Şekil 3.2** Karadeniz bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

3.6 Ege Bölgesi

Tablo 3.7 Haritadan alınan Ege bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m ² .gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
Kütahya	4,31 - 4,40	7	30
Afyonkarahisar	4,71 - 4,90	7	27,5
Uşak	4,41 - 4,50	6,5 - 7	25
Denizli	5,11 - 5,20	6 - 6,5	25
Muğla	5,21 - 5,30	7	35
Aydın	4,91 - 5,00	6,5 - 7	30
İzmir	4,71 - 4,80	8 - 8,5	40
Manisa	4,31 - 4,40	7 - 7,5	35

Tablo 3.8 Ege bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

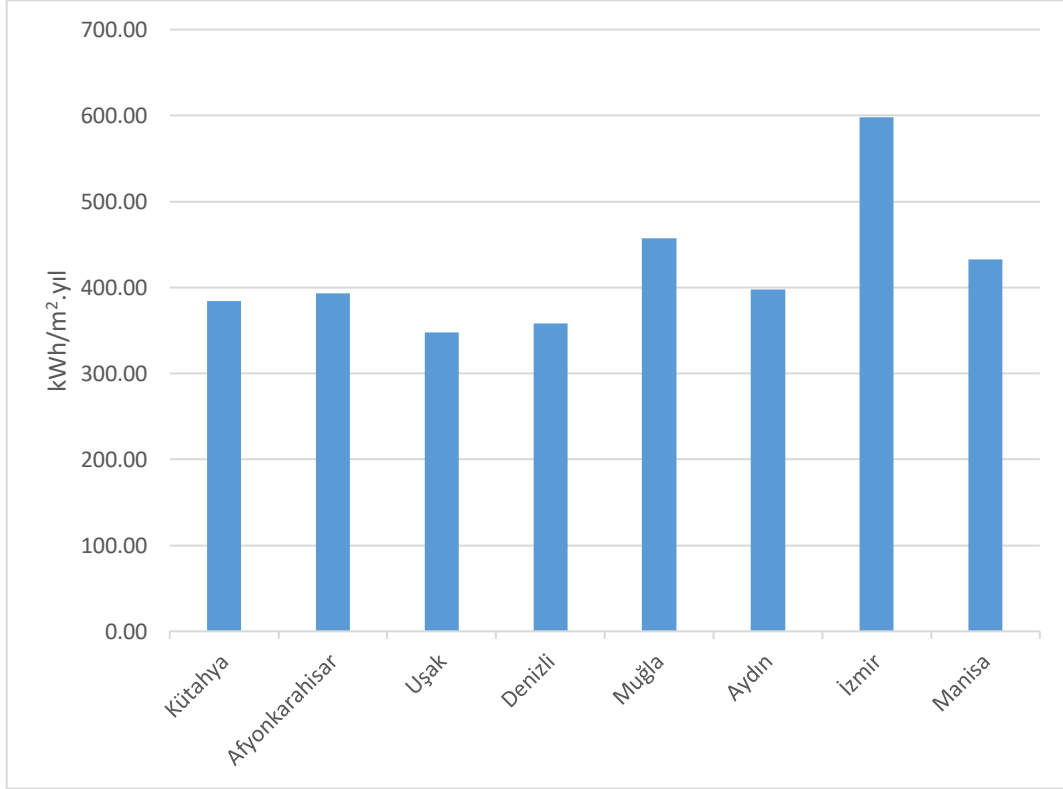
Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/türbin)
Kütahya	163.54	Rüzgar	42.6%	248663.39
Afyonkarahisar	149.91	Rüzgar	38.1%	227941.44
Uşak	122.19	Rüzgar	35.1%	185800.90
Denizli	97.00	Rüzgar	27.1%	147494.75
Muğla	190.79	Rüzgar	41.8%	290107.28
Aydın	146.63	Rüzgar	36.9%	222961.08
İzmir	356.96	Rüzgar	59.7%	542773.08
Manisa	211.97	Rüzgar	49.0%	322313.54

Tablo 3.9 Ege bölgesi güneş potansiyeli verileri

Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
Kütahya	220.55	Güneş	57.4%	432.84
Afyonkarahisar	243.34	Güneş	61.9%	477.56
Uşak	225.62	Güneş	64.9%	442.78
Denizli	261.07	Güneş	72.9%	512.35
Muğla	266.13	Güneş	58.2%	522.29
Aydın	250.94	Güneş	63.1%	492.47
İzmir	240.81	Güneş	40.3%	472.59
Manisa	220.55	Güneş	51.0%	432.84

Ege bölgesinde bulunan 8 ilimizin potansiyel hesaplamalarından sonra hem rüzgar hem de güneş potansiyeli açısından iyi seviyede bulunan birkaç ilimizin bu bölgede bulunduğu saptanmıştır. Bunlardan en önemlisi İzmir'in sahip

olduğu hem güneş hem de rüzgar potansiyelidir. Hibrit enerji açısından İzmir verimli bir il olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.3 Ege bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

3.7 İç Anadolu Bölgesi

Tablo 3.10 Haritadan alınan İç Anadolu bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m².gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
Ankara	4,61 - 4,70	6,5 - 7	27,5
Eskişehir	4,41 - 4,50	6,5	25
Çankırı	4,41 - 4,50	7 - 7,5	35
Kırıkkale	4,31 - 4,40	6 - 6,5	20
Kırşehir	4,41 - 4,60	6 - 6,5	20
Konya	4,81 - 5,00	8	35
Aksaray	4,61 - 4,70	6,5 - 7	25
Nevşehir	4,51 - 4,60	7	30
Yozgat	4,41 - 4,50	7 - 7,5	30
Kayseri	4,71 - 4,90	8,5	40
Sivas	4,51 - 4,70	8 - 8,5	35
Niğde	4,61 - 4,70	7	35
Karaman	4,91 - 5,00	8,5 - 9	40

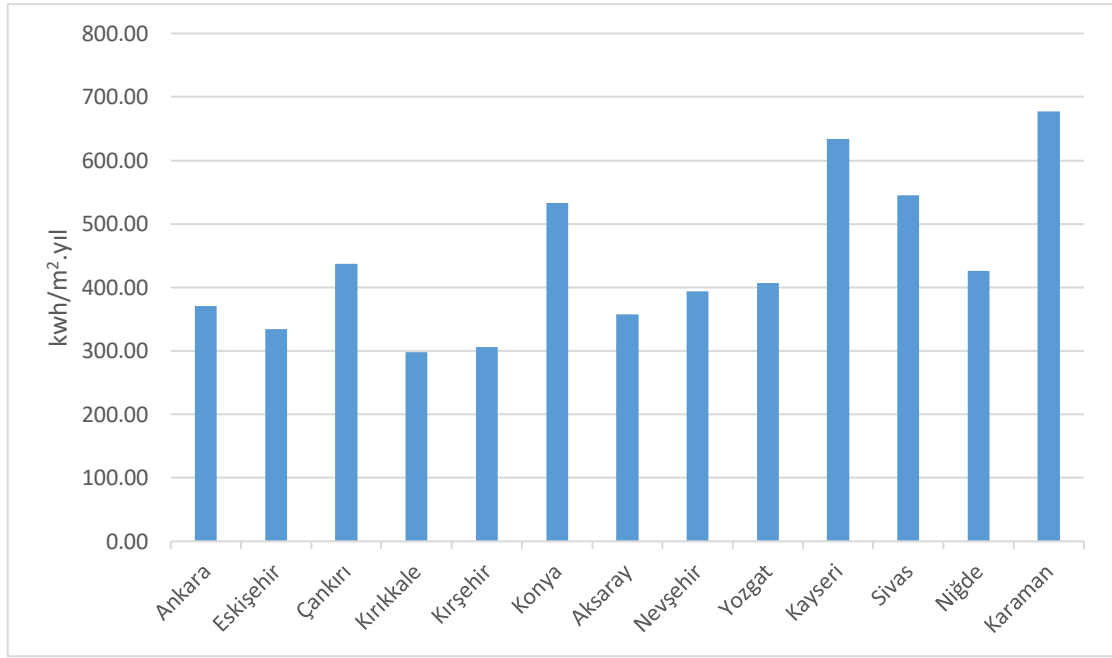
Tablo 3.11 İç Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/türbin)
Ankara	134.41	Rüzgar	36.3%	204380.98
Eskişehir	109.11	Rüzgar	32.6%	165911.52
Çankırı	211.97	Rüzgar	48.4%	322313.54
Kırıkkale	77.60	Rüzgar	26.0%	117995.79
Kırşehir	77.60	Rüzgar	25.4%	117995.79
Konya	284.80	Rüzgar	53.4%	433046.44
Aksaray	122.19	Rüzgar	34.1%	185800.90
Nevşehir	163.54	Rüzgar	41.5%	248663.39
Yozgat	181.69	Rüzgar	44.6%	276268.75
Kayseri	390.41	Rüzgar	61.6%	593626.45
Sivas	312.34	Rüzgar	57.3%	474926.45
Niğde	190.79	Rüzgar	44.7%	290107.28
Karaman	425.88	Rüzgar	62.9%	647560.91

Tablo 3.12 İç Anadolu bölgesi güneş potansiyeli verileri

Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
Ankara	235.75	Güneş	63.7%	462.65
Eskişehir	225.62	Güneş	67.4%	442.78
Çankırı	225.62	Güneş	51.6%	442.78
Kırıkkale	220.55	Güneş	74.0%	432.84
Kırşehir	228.15	Güneş	74.6%	447.74
Konya	248.41	Güneş	46.6%	487.50
Aksaray	235.75	Güneş	65.9%	462.65
Nevşehir	230.68	Güneş	58.5%	452.71
Yozgat	225.62	Güneş	55.4%	442.78
Kayseri	243.34	Güneş	38.4%	477.56
Sivas	233.21	Güneş	42.7%	457.68
Niğde	235.75	Güneş	55.3%	462.65
Karaman	250.94	Güneş	37.1%	492.47

İç Anadolu bölgesi için yapılan hesaplamalar sonucunda güney kesimlerinin kuzey kesimlerine göre daha yüksek bir hibrit enerji potansiyeline sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu bölgemizde Karaman ilimiz hem rüzgar hem de güneş enerji potansiyeli açısından verimli bir konuma sahip olduğu da yapılan hesaplamalarla saptanmıştır.



Şekil 3.4 İç Anadolu bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

3.8 Akdeniz Bölgesi

Tablo 3.13 Haritadan alınan Akdeniz bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m ² .gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
Burdur	5,11 - 5,20	6,5 - 7	30
Isparta	4,91 - 5,10	7 - 7,5	30
Antalya	5,11 - 5,20	7	30
Mersin	5,01 - 5,20	7,5 - 8	35
Adana	4,71 - 4,90	8 - 8,5	35
Kahramanmaraş	4,81 - 5,00	7 - 7,5	35
Osmaniye	4,81 - 4,90	7,5 - 8	35
Hatay	4,81 - 5,00	9	50

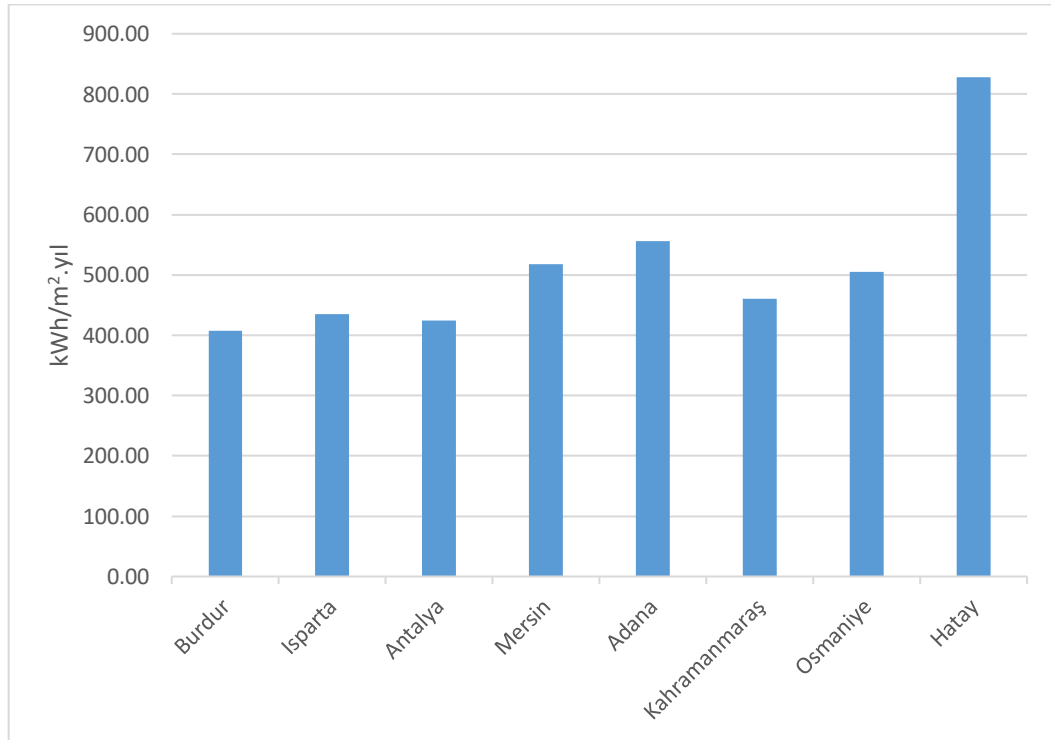
Tablo 3.14 Akdeniz bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/türbin)
Burdur	146.63	Rüzgar	36.0%	222961.08
Isparta	181.69	Rüzgar	41.8%	276268.75
Antalya	163.54	Rüzgar	38.5%	248663.39
Mersin	258.93	Rüzgar	50.0%	393703.81
Adana	312.34	Rüzgar	56.2%	474926.45
Kahramanmaraş	211.97	Rüzgar	46.0%	322313.54
Osmaniye	258.93	Rüzgar	51.3%	393703.81
Hatay	579.29	Rüzgar	70.0%	880833.86

Tablo 3.15 Akdeniz bölgesi güneş potansiyeli verileri

Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
Burdur	261.07	Güneş	64.0%	512.35
Isparta	253.47	Güneş	58.2%	497.44
Antalya	261.07	Güneş	61.5%	512.35
Mersin	258.54	Güneş	50.0%	507.38
Adana	243.34	Güneş	43.8%	477.56
Kahramanmaraş	248.41	Güneş	54.0%	487.50
Osmaniye	245.88	Güneş	48.7%	482.53
Hatay	248.41	Güneş	30.0%	487.50

Akdeniz bölgemizde özellikle güneş enerji potansiyelinin de yüksek olması sayesinde hibrit enerji açısından verimli bir konumda olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda saptanmıştır. Bu bölgemizde öne çıkan ilimiz Hatay'dır. Hatay, rüzgar enerji potansiyeli açısından önemli bir konumda olup, aynı zamanda güneş enerji potansiyeli açısından da iyi bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda hibrit enerji potansiyeli olarak oldukça elverişli bir durumda olduğu saptanmıştır.

**Şekil 3.5** Akdeniz bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

3.9 Doğu Anadolu Bölgesi

Tablo 3.16 Haritadan alınan Doğu Anadolu bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m ² .gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
Ardahan	4,31 - 4,50	7 - 7,5	27,5
Kars	4,41 - 4,50	7 - 7,5	30
Iğdır	4,31 - 4,40	7,5 - 8	35
Ağrı	4,31 - 4,40	7,5 - 8	35
Van	4,51 - 4,70	8	35
Hakkari	4,51 - 4,70	7	25
Bitlis	4,61 - 4,70	7,5 - 8	35
Muş	4,61 - 4,70	7	27,5
Erzurum	4,41 - 4,50	8 - 8,5	35
Erzincan	4,61 - 4,80	8 - 8,5	35
Tunceli	4,51 - 4,60	7,5 - 8	30
Bingöl	4,71 - 4,80	7	27,5
Elazığ	4,71 - 4,80	7,5	35
Malatya	4,81 - 4,90	7,5 - 8	35

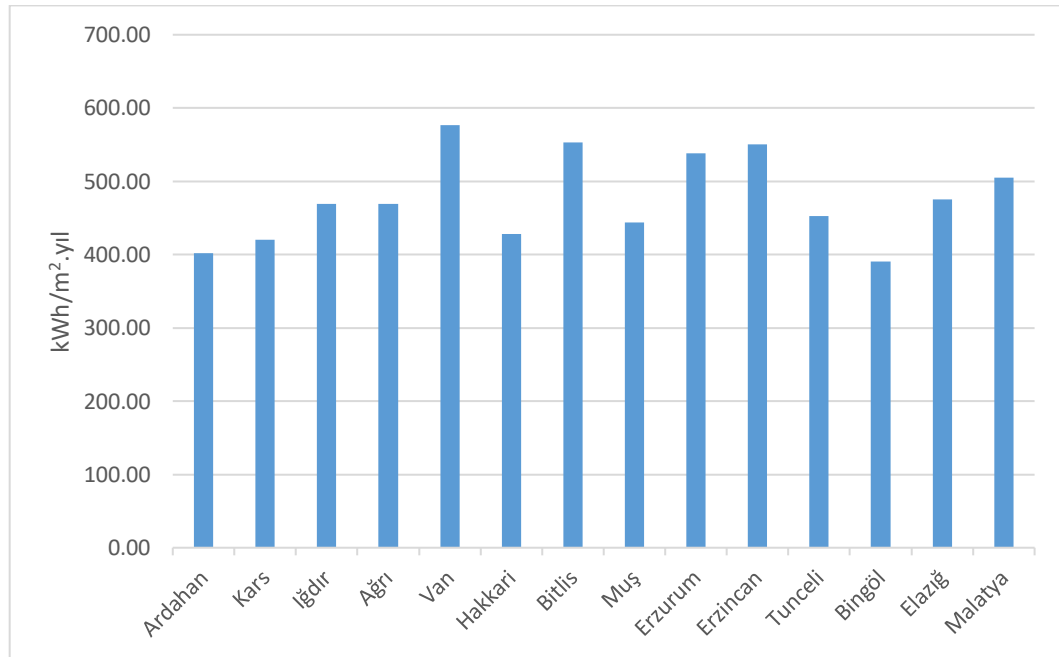
Tablo 3.17 Doğu Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)	Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)	Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/türbin)
Ardahan	166.55	Rüzgar 41.4% 253246.34
Kars	181.69	Rüzgar 43.3% 276268.75
Iğdır	258.93	Rüzgar 55.2% 393703.81
Ağrı	258.93	Rüzgar 55.2% 393703.81
Van	284.80	Rüzgar 49.4% 433046.44
Hakkari	136.28	Rüzgar 31.9% 207219.49
Bitlis	258.93	Rüzgar 46.8% 393703.81
Muş	149.91	Rüzgar 33.8% 227941.44
Erzurum	312.34	Rüzgar 58.1% 474926.45
Erzincan	312.34	Rüzgar 56.7% 474926.45
Tunceli	221.94	Rüzgar 49.0% 337460.41
Bingöl	149.91	Rüzgar 38.4% 227941.44
Elazığ	234.67	Rüzgar 49.4% 356819.28
Malatya	258.93	Rüzgar 51.3% 393703.81

Tablo 3.18 Doğu Anadolu bölgesi güneş potansiyeli verileri

Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
Ardahan	235.75	Güneş	58.6%	462.65
Kars	238.28	Güneş	56.7%	467.62
Iğdır	210.42	Güneş	44.8%	412.96
Ağrı	210.42	Güneş	44.8%	412.96
Van	291.45	Güneş	50.6%	571.98
Hakkari	291.45	Güneş	68.1%	571.98
Bitlis	293.99	Güneş	53.2%	576.95
Muş	293.99	Güneş	66.2%	576.95
Erzurum	225.62	Güneş	41.9%	442.78
Erzincan	238.28	Güneş	43.3%	467.62
Tunceli	230.68	Güneş	51.0%	452.71
Bingöl	240.81	Güneş	61.6%	472.59
Elazığ	240.81	Güneş	50.6%	472.59
Malatya	245.88	Güneş	48.7%	482.53

Doğu Anadolu bölgemizde yapılan hesaplamalar sonucunda güneş enerji potansiyeli açısından iyi bir durumda olduğu belirlenmiştir. Rüzgar enerjisi açısından ise birkaç ilimiz dışında iyi durumda olduğu saptanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bu bölgemizin hibrit enerji potansiyeli olarak yeterince iyi bir konuma sahip olduğu saptanmıştır.

**Şekil 3.6** Doğu Anadolu bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

3.10 Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Tablo 3.19 Haritadan alınan Güneydoğu Anadolu bölgesi rüzgar ve güneş potansiyeli verileri

Şehir	Solar radyasyon (kWh/m ² .gün)	Rüzgar hızı (m/s)	Rüzgar kapasite faktörü (%)
Şırnak	4,81 - 4,90	6,5 - 7	27,5
Siirt	4,81 - 4,90	6 - 6,5	25
Batman	4,81 - 5,00	6,5 - 7	27,5
Mardin	4,91 - 5,00	7	30
Diyarbakır	4,81 - 4,90	7	30
Şanlıurfa	5,01 - 5,10	5,5 - 6	20
Adıyaman	4,91 - 5,00	6,5 - 7	27,5
Gaziantep	4,91 - 5,00	7	30
Kilis	4,81 - 5,00	6,5	25

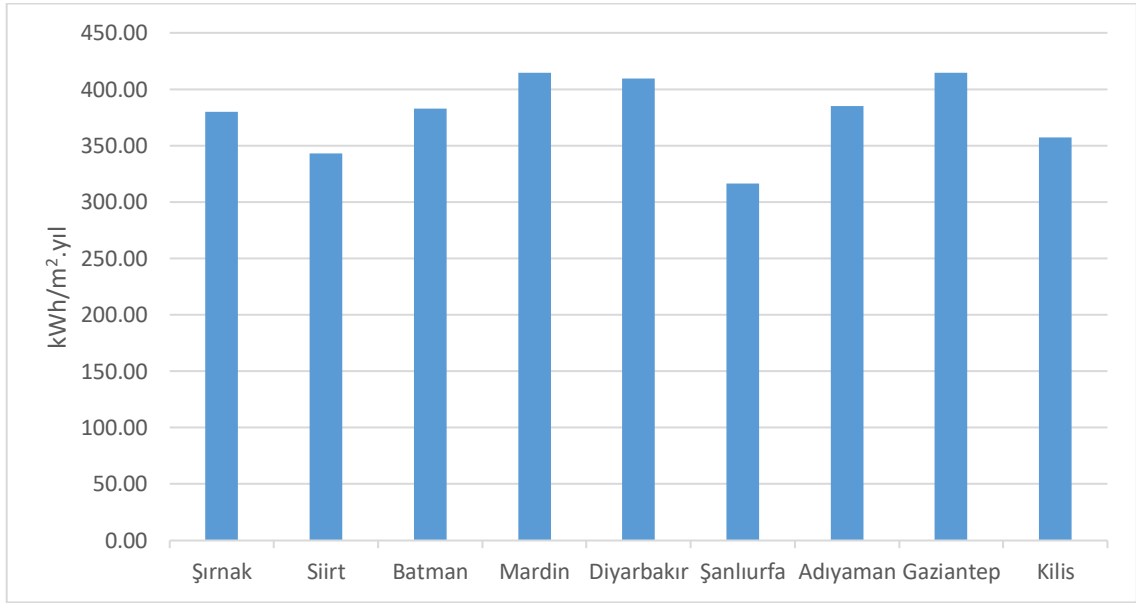
Tablo 3.20 Güneydoğu Anadolu bölgesi rüzgar potansiyeli verileri

Yıllık rüzgar enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir rüzgar enerjisi (kWh/Türbin)
Şırnak	134.41	Rüzgar	35.3%	204380.98
Siirt	97.00	Rüzgar	28.3%	147494.75
Batman	134.41	Rüzgar	35.1%	204380.98
Mardin	163.54	Rüzgar	39.5%	248663.39
Diyarbakır	163.54	Rüzgar	39.9%	248663.39
Şanlıurfa	60.43	Rüzgar	19.1%	91881.91
Adıyaman	134.41	Rüzgar	34.9%	204380.98
Gaziantep	163.54	Rüzgar	39.5%	248663.39
Kilis	109.11	Rüzgar	30.5%	165911.52

Tablo 3.21 Güneydoğu Anadolu bölgesi güneş potansiyeli verileri

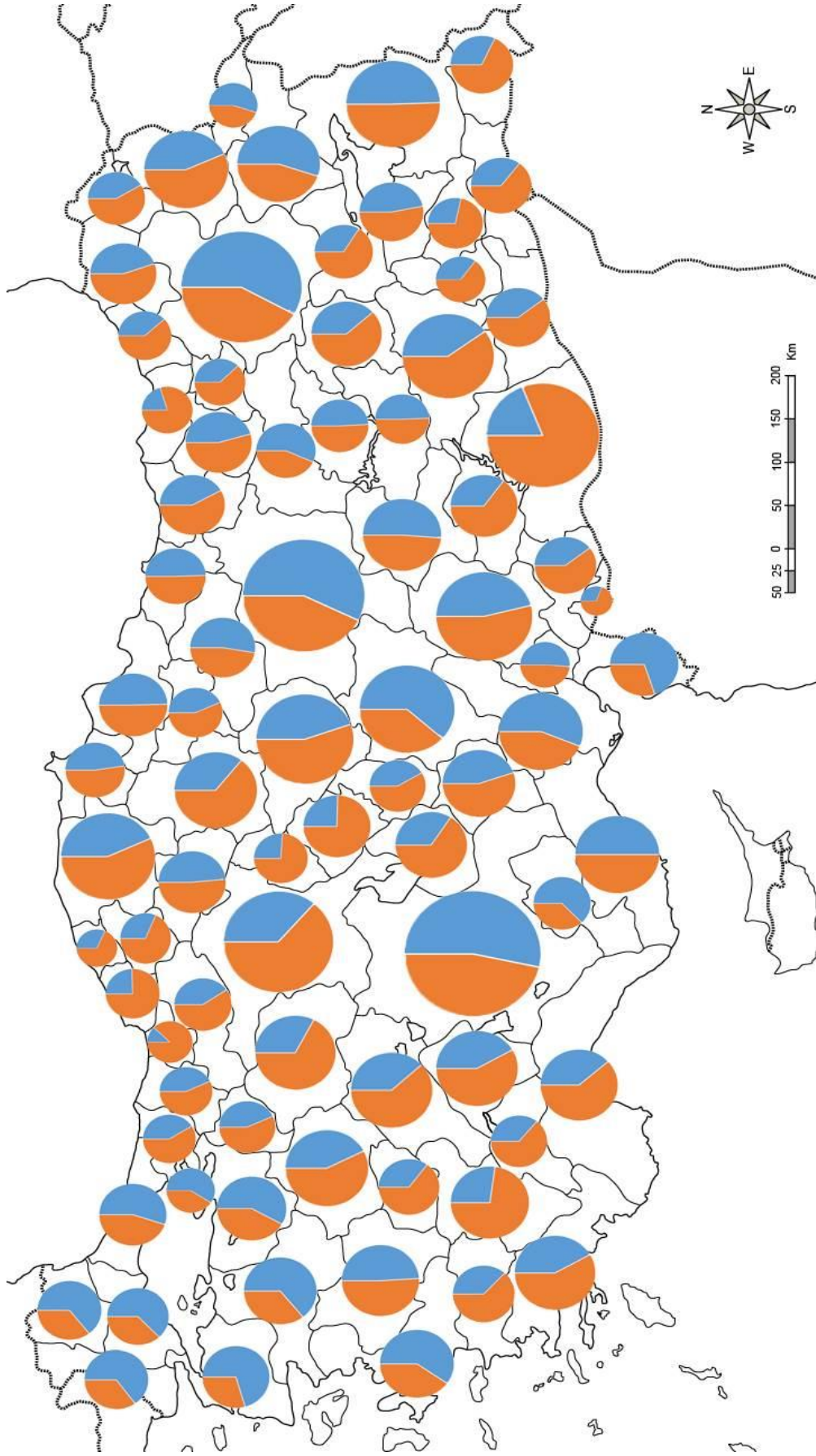
Yıllık güneş enerji potansiyeli (kWh/m ² .yıl)		Hibrit enerji potansiyelleri (m ² başına %)		Yıllık üretilebilir güneş enerjisi (kWh/panel)
Şırnak	245.88	Güneş	64.7%	482.53
Siirt	245.88	Güneş	71.7%	482.53
Batman	248.41	Güneş	64.9%	487.50
Mardin	250.94	Güneş	60.5%	492.47
Diyarbakır	245.88	Güneş	60.1%	482.53
Şanlıurfa	256.00	Güneş	80.9%	502.41
Adıyaman	250.94	Güneş	65.1%	492.47
Gaziantep	250.94	Güneş	60.5%	492.47
Kilis	248.41	Güneş	69.5%	487.50

Güneydoğu Anadolu bölgemizdeki çalışmaların sonucunda güneş enerji potansiyeli açısından iyi konumda olan bir bölge olduğu saptanmıştır. Ancak rüzgar enerji potansiyeli açısından çok iyi bir konumda olmadığı saptanmıştır. Toplam hibrit enerji potansiyeli açısından bakıldığında çok kötü olmasa da rüzgar potansiyelinin düşük olması hibrit enerji verimliliğini düşürdüğü saptanmıştır.



Şekil 3.7 Güneydoğu Anadolu bölgesi m² başına yıllık hibrit enerji potansiyeli

Harita 3.1’de hem rüzgar hem de güneş enerji potansiyellerinin hibrit enerji potansiyeline verdikleri katkı gösterilmiştir. Bazı kısımlarda güneş potansiyeli, bazı kısımlarda ise rüzgar potansiyelinin katkısı daha fazla görünmektedir. Aynı zamanda rüzgar ve güneş potansiyelinin birbirine oranı neredeyse eşit olan bölgelerimizin de mevcut olduğu saptanmıştır. Haritada her il için kullanılan grafiklerin büyüklüğü illerin yüzölçümüne göre ayarlanmıştır. Enerji açısından bir karşılığı bulunmamaktadır. Turuncu renk güneş enerjisi potansiyelini, mavi renk rüzgar enerjisi potansiyelini gösterir.



Harita 3.1 Türkiye'nin hibrit enerji potansiyel haritası

4.1 Ekonomik Parametreler

Maliyet hesabını yaparken bazı seçimler yapılmıştır. Bunlardan biri, her bir il için 1MW lisanssız hibrit enerji santrali baz alınarak hesap yapılmasıdır. Kurulu güc, rüzgar ve güneş enerjilerinin yüzdesine göre hesaplanılmıştır. Rüzgar için her bir türbin 200 kW gücünde, her bir fotovoltaiik güneş paneli 250 W gücünde seçilmiştir.

Türbin ve güneş panellerinin sayısı bölgedeki enerji potansiyeli yüzdesi dikkate alınarak her bir enerji türü için gerekli gücün hesaplanmasından sonra seçilmiştir. Örneğin bir şehirde rüzgar potansiyeli %60 ve güneş potansiyeli de %40 ise, 3 tane 200kW rüzgar türbini ve geri kalan 400 kW'lık kısmı da $400\text{kW}/0.25\text{kW}$ hesabının sonucunda ortaya çıkan 1600 güneş paneli kullanılarak maliyete eklenmiştir. Aynı zamanda bu sistemin sürekliliğini sağlayacak 100 kW'lık bir batarya sistemi de maliyete eklenmiştir. Böylece 1MW lisanssız hibrit enerji santrali için gerekli yatırım maliyeti hesaplanmıştır. Aşağıda bu hesaplamada kullanılan bazı değerler verilmiştir.

Rüzgar ve güneş enerji santrali için yatırım maliyetleri ve seçilen bazı değerler aşağıdaki gibidir;

- Türbin Maliyeti(200kW): 280000 \$ [25]
- Güneş paneli maliyeti(250W): 84 \$ [26]
- Enerji depolama için 100 kW pil: 95000 \$ [27]

Türbin ve güneş paneli maliyeti şehirde kullanılacak sayıya göre değişiklik göstermektedir. Bunun sonucunda her şehirde ayrı bir maliyet ortaya çıkmaktadır.

4.1.1 Bakım Maliyetleri

Türbinler için yatırım maliyetinin %2'si yıllık bakım masrafı olarak alınmıştır. Yıllık bakım maliyeti eskalasyonu %1 olarak alınmıştır. Türbin maliyetine göre 1.yıl bakım maliyeti hesaplandıktan sonra gerekli işlemler yapılarak 25 yıl boyunca toplam bakım maliyetinin bugünkü değeri bulunmuştur.

Güneş panelleri için yatırım maliyetinin %1'i yıllık bakım masrafı olarak alınmıştır. Yıllık bakım maliyeti eskalasyonu %1 olarak alınmıştır. Güneş paneli için de 1.yıl bakım maliyeti hesaplandıktan sonra gerekli işlemler yapılarak 25 yıl boyunca toplam bakım maliyetinin bugünkü değeri bulunmuştur [29].

4.1.2 Gelirler

Türkiye Cumhuriyeti devletinde rüzgar ve güneş enerjisi için bazı teşvikler bulunmaktadır. Yönetmeliğe göre ilk 10 yıl rüzgar için 0.073 \$/kWh elektrik satış fiyatı olarak belirlenmiştir. Yine ilk 10 yıl güneş için 0.133 \$/kWh olarak elektrik satış fiyatı belirlenmiştir [30].

10. yıldan sonra elektrik fiyatı günümüz satış fiyatı normaline dönmektedir. Bu da şu anda EPDK tarafından belirlenen, Amerikan doları karşılığıyla yaklaşık 0.06 \$/kWh fiyatına tekabül etmektedir [31]. Ama bu fiyat günümüzdeki fiyat olduğu için teşvik başladıktan 10 sene sonraki bedeli hesaplanarak 11. yıl elektrik fiyatı alınmıştır. Bu kısım hesaplanırken ilk 10 yıl için sabit, sonraki, 15 yıl için Amerikan dolarının enflasyonu da göz önüne alınarak, günümüz fiyatının üstüne yıllık yaklaşık %2 artan elektrik satış fiyatı baz alınarak hesap yapılmıştır.

$$F_{10} = 0.06 * (F/P, \%2, 11) = 0.0746 \text{ \$/kWh} \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinin hesaplanmasının ardından ardından 1. Yıl ve 11.yıl gelirleri ayrı olarak hesaplanmıştır. 1.yıl elektrik satış geliri hesaplanmak için 1.yıl elektrik üretiminin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için de rüzgar türbininde rüzgar potansiyelinden hesaplanan kinetik güç ve kapasite faktörü de dikkate alınarak yıllık üretililecek enerji hesaplanmıştır. Bu değeri türbin sayısı ile çarptığımızda hibrit enerji santralinde rüzgardan elde edilen yıllık enerji

hesaplanmıştır. Bunun ardından ilk 10 yıl için sabit elektrik fiyatı baz alınarak elektrik satış geliri hesaplanmıştır. 11.yıl için de yukarıda hesaplanan elektrik satış fiyatı kullanılarak 11.yıl geliri hesaplanmıştır. Bu gelir ilk 10 yıl gibi sabit olmayıp belirli bir artış göstermektedir. Ayrıca son 15 yıl olan gelir hesabı 10.yıl değerinde hesaplandığı için, bu değeri de günümüzdeki değere dönüştürmek için gerekli işlem de yapılmıştır.

Güneş enerjisinden elde edilen gelir hesaplanırken de yine ilk yıl fiyatı devletin belirlemiş olduğu değer alınıp 11. yıl için yukarıda hesaplanan elektrik satış fiyatı baz alınmıştır. Elektrik satış geliri hesaplamak için yine yıllık üretilen enerji miktarı gerekmektedir. Yıllık solar radyasyon göz önüne alınarak yapılan hesaplamayla ortalama yıllık enerji üretimi bulunmuştur. Ardından 1 ve 11.yıl elektrik satış fiyatlarıyla çarpılarak ayrı ayrı yıllık gelirler bulunmuştur. İlk 10 yıl sabit ve sonraki 15 yılda teşviğin bitişiyile ve artan bir gelir modeliyle gerekli hesaplamalar her il için uygulanmıştır. Rüzgar enerjisi gelirleri hesaplanırken son 15 yıllık periyodunun günümüz değerinin karşılığını hesaplanması işlemi güneş enerjisi gelirleri hesaplanırken de uygulanmıştır. Hem rüzgar ve hem de güneş enerjisinden elde edilen gelir toplanarak yıllık hibrit enerji santrali geliri olarak hesaplamaya katılmıştır. Sistem ömrü, 25 yıl olarak seçilmiştir. İskonto oranı, %18,5 olarak seçilmiştir.

$$Bpw = 1.yıl satış geliri * (P/A, \%18.5, 10) + 11.yıl satış geliri * (P/A_1, \%2, \%18.5, 15) * (P/F, \%18.5, 10) \quad (4.2)$$

$$Cpw = Yatırım maliyeti(Güneş + Rüzgar + Depolama) + 1.yıl rüzgar türbini bakım gideri * (P/A_1, \%1, \%18.5, 25) + 1.yıl güneş paneli bakım gideri * (P/A_1, \%1, \%18.5, 25) \quad (4.3)$$

$$Npw = Bpw - Cpw \quad (4.4)$$

$Npw > 0$ ise yatırım uygun, $Npw < 0$ ise yatırım uygunsuz olarak belirlenmiştir.

4.2 Marmara Bölgesi

Tablo 4.1 Marmara bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
İstanbul	-100857.71	272925.96	172068.26	#1 Çanakkale	1295273.96
Edirne	459839.83	130089.67	589929.51	#2 Balıkesir	764071.68
Tekirdağ	414204.03	185995.47	600199.50	#3 Kırklareli	762748.34
Kırklareli	584218.59	178529.75	762748.34	#4 Tekirdağ	600199.50
Çanakkale	1148820.45	146453.51	1295273.96	#5 Edirne	589929.51
Balıkesir	577621.31	186450.38	764071.68	#6 Yalova	402698.03
Bursa	83354.41	245091.76	328446.18	#7 Bursa	328446.18
Yalova	163721.31	238976.72	402698.03	#8 İstanbul	172068.26
Kocaeli	-287845.61	363558.13	75712.52	#9 Bilecik	132904.96
Bilecik	-222672.18	355577.14	132904.96	#10 Sakarya	92922.19
Sakarya	-293152.50	386074.68	92922.19	#11 Kocaeli	75712.52

Marmara bölgesinde yapılan maliyet hesaplarının ardından Çanakkale ilimizin yatırım değerinin en yüksek olduğu saptanmıştır. Ardından gelen 4 ilimiz de yatırım açısından iyi bir konuma sahip durumda olduğu görülmüştür. Bu bölgemizde yatırıma daha çok değer kazandıran enerji rüzgardan gelen enerji olmuştur. Rüzgar enerjisinin güneşe göre daha fazla kazandırmasının en önemli sebebi coğrafi konum karşımıza çıkmaktadır.

4.3 Karadeniz Bölgesi

Tablo 4.2 Karadeniz bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Düzce	-143533.97	583815.00	440281.03	#1 Düzce	440281.03
Zonguldak	-227220.56	480746.13	253525.57	#2 Zonguldak	253525.57
Bolu	-293152.50	386074.68	92922.19	#3 Trabzon	240122.94
Karabük	-307612.78	436529.17	128916.38	#4 Artvin	212124.50
Bartın	-307612.78	436529.17	128916.38	#5 Tokat	212060.55
Kastamonu	-222672.18	355577.14	132904.96	#6 Karabük	143586.22
Çorum	-392790.60	459089.53	66298.93	#7 Bartın	132904.96

Tablo 4.2 Karadeniz bölgesi hibrit enerji yatırım durumu (devam)

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Sinop	-262410.43	324564.61	62154.18	#8 Samsun	132904.96
Samsun	-171753.24	315339.46	143586.22	#9 Amasya	128916.38
Amasya	-222672.18	355577.14	132904.96	#10 Kastamonu	128916.38
Tokat	-54489.92	266550.47	212060.55	#11 Bayburt	108415.43
Ordu	-206960.42	289287.40	82326.98	#12 Bolu	92922.19
Giresun	-271527.66	346396.62	74868.97	#13 Rize	89881.63
Gümüşhane	-313702.23	370203.62	56501.39	#14 Giresun	82326.98
Trabzon	-265412.71	505535.65	240122.94	#15 Ordu	74868.97
Bayburt	-343920.12	452335.55	108415.43	#16 Çorum	66298.93
Rize	-339330.43	429212.05	89881.63	#17 Sinop	62154.18
Artvin	-156581.37	368705.86	212124.50	#18 Gümüşhane	56501.39

Karadeniz bölgesi kuzeyde olmasına rağmen güneş enerjisi rüzgara göre daha değerli bir yatırım olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi güneş enerjisine verilen teşvik ve rüzgar enerjisinin yatırım maliyetinin rüzgar hızına ve kapasite faktörüne çok bağlı olmasıdır. Karadeniz bölgesinde rüzgar açısından çok verimli bölgeler bulunmadığından bu doğrudan maliyete de yansımıştır.

4.4 Ege Bölgesi

Tablo 4.3 Ege bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Kütahya	-228534.89	377623.32	149088.43	#1 İzmir	629430.42
Afyonkarahisar	-307206.26	505256.18	198049.92	#2 Muğla	363576.81
Uşak	-396787.73	482714.47	85926.74	#3 Denizli	348629.71
Denizli	-334891.20	683520.91	348629.71	#4 Aydın	220379.19
Muğla	-165287.61	528864.42	363576.81	#5 Afyonkarahisar	198049.92
Aydın	-326515.06	546894.26	220379.19	#6 Kütahya	156274.68
İzmir	342267.73	287162.70	629430.42	#7 Manisa	149088.43
Manisa	-179508.92	335783.59	156274.68	#8 Uşak	85926.74

Ege bölgesinde yapılan hesaplamalar sonucunda en önemli hibrit enerji yatırım noktası İzmir olarak belirlenmiştir. Bu bölgemizde güneş önemli bir yatırım

potansiyeline sahip durumdadır. Ancak rüzgar sadece belirli yerlerde iyi bir kazanç olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.5 İç Anadolu Bölgesi

Tablo 4.4 İç Anadolu bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Ankara	-359740.67	502917.56	143176.88	#1 Karaman	953678.93
Eskişehir	-276348.19	479419.05	203070.86	#2 Kayseri	782658.59
Çankırı	-187085.10	356379.66	169294.56	#3 Konya	477617.46
Kırıkkale	-373207.13	538492.85	165285.72	#4 Sivas	427359.56
Kırşehir	-376369.33	576328.29	199958.96	#5 Niğde	267560.24
Konya	124434.47	353182.99	477617.46	#6 Aksaray	258841.16
Aksaray	-237615.49	496456.65	258841.16	#7 Yozgat	212124.51
Nevşehir	-239808.39	422098.10	182289.71	#8 Eskişehir	203070.86
Yozgat	-156581.35	368705.86	212124.51	#9 Kırşehir	199958.96
Kayseri	514548.02	268110.57	782658.59	#10 Nevşehir	182289.71
Sivas	125880.31	301479.25	427359.56	#11 Kırıkkale	169294.56
Niğde	-129524.15	397084.40	267560.24	#12 Çankırı	165285.72
Karaman	687689.85	265989.08	953678.93	#13 Ankara	143176.88

İç anadolu bölgesinde yapılan hesaplamalar doğrultusunda yatırım potansiyeli en yüksek ilin Karaman olduğu saptanmıştır. Ayrıca Kayseri'nin de iyi bir yatırım potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bölgemizde Güneş biraz daha ön plana çıkmakla beraber rüzgar da belirli bölgelerde oldukça önemli bir yatırım potansiyeli barındırmaktadır.

4.6 Akdeniz Bölgesi

Tablo 4.5 Akdeniz bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Burdur	-334981.58	593744.57	258762.99	#1 Hatay	1588249.58
Isparta	-189272.08	489582.44	300310.36	#2 Adana	443453.06
Antalya	-270401.80	558253.49	287851.69	#3 Mersin	407160.86
Mersin	-17718.81	424879.67	407160.86	#4 Osmaniye	377447.36
Adana	105340.79	338112.26	443453.06	#5 Isparta	300310.36
Kahramanmaraş	-219115.23	450807.58	231692.35	#6 Antalya	287851.69
Osmaniye	2757.81	374689.56	377447.36	#7 Burdur	258762.99
Hatay	1387059.96	201189.62	1588249.58	#8 Kahramanmaraş	231692.35

Akdeniz bölgesinde yapılan çalışmalar sonucunda Hatay ilimizin hem bu bölgede hem de tüm Türkiye’de en yüksek yatırım potansiyeline sahip olduğu saptanmıştır. Bu durumun başlıca sebebi çok iyi bir rüzgar potansiyeline sahip olmasıdır. Güneş olarak da iyi bir durumda olmakla beraber, rüzgar potansiyelinin en iyi olduğu noktasında güneş potansiyeli normalden biraz daha düşük durumdadır. Yine de hem güneş hem rüzgar enerjisi kullanan bir hibrit enerji santrali kurmak bu bölgede önemli bir yatırım kazanç projeksiyonu sunmaktadır.

4.7 Doğu Anadolu Bölgesi

Tablo 4.6 Doğu Anadolu bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Ardahan	-232809.05	438955.73	206146.68	#1 Van	574975.89
Kars	-171978.34	423194.82	251216.48	#2 Muş	525306.77
Iğdır	-100857.73	272925.97	172068.24	#3 Hakkari	500647.47
Ağrı	-100857.73	272925.97	172068.24	#4 Bitlis	499569.71
Van	52827.59	522148.31	574975.89	#5 Erzincan	435231.92
Hakkari	-226868.72	727516.19	500647.47	#6 Erzurum	416226.57
Bitlis	-70064.38	569634.09	499569.71	#7 Malatya	377447.36
Muş	-181462.85	706769.62	525306.77	#8 Elazığ	282116.14
Erzurum	141792.52	274434.04	416226.57	#9 Kars	251216.48
Erzincan	115516.10	319715.82	435231.92	#10 Tunceli	214624.82
Tunceli	-148387.86	363012.67	214624.82	#11 Ardahan	206146.68
Bingöl	-304872.50	493727.36	188854.86	#12 Bingöl	188854.86
Elazığ	-104314.52	386430.66	282116.14	#13 Ağrı	172068.24
Malatya	2757.81	374689.56	377447.36	#14 Iğdır	172068.24

Doğu anadolu bölgesinde yapılan hesaplamalar sonucunda yatırıma en uygun ilin Van olduğu saptanmıştır. Bu yatırımın en fazla kar getiren kısmı güneş enerjisinden sağlandığı görülmektedir. Bu bölgede güneş enerjisi rüzgar enerjisine göre daha fazla gelir kazandırmakla beraber, Erzurum, Erzincan ve Van ilimizde kuralacak bir hibrit enerji santralinde rüzgar enerjisinin de kayda değer bir gelir getirdiği hesaplanmıştır.

4.8 Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Tablo 4.7 Güneydoğu bölgesi hibrit enerji yatırım durumu

Şehir	Rüzgar Npw	Güneş Npw	Toplam Npw	Yatırım uygunluk sıralaması	
Şırnak	-367932.54	550000.30	182067.76	#1 Şanlıurfa	478229.37
Siirt	-327553.78	608707.33	281153.55	#2 Adıyaman	334843.68
Batman	-369912.78	561828.31	191915.53	#3 Kilis	298227.56
Mardin	-260702.41	512446.55	251744.14	#4 Siirt	281153.55
Diyarbakır	-255672.75	489695.39	234022.64	#5 Gaziantep	251744.14
Şanlıurfa	-260938.28	739167.65	478229.37	#6 Mardin	251744.14
Adıyaman	-205039.75	539883.43	334843.68	#7 Diyarbakır	234022.64
Gaziantep	-260702.41	512446.55	251744.14	#8 Batman	191915.53
Kilis	-290635.25	588862.81	298227.56	#9 Şırnak	182067.76

Güneydoğu anadolu bölgesinde yapılan hesaplamalar sonucunda Şanlıurfa ilimiz en değerli hibrit enerji santrali yatırımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölgemizin coğrafi konumu gereği oldukça iyi güneş potansiyeline sahip olduğu haritadan anlaşılmıştır. Rüzgar enerjisi açısından güneş enerjisi kadar şanslı bir konuma sahip olmadığı yine haritalardan okunduktan sonra hesaplamaların da yardımıyla ortaya çıkmıştır.

7 bölge ve 81 ilimizin de hepsiyle yapılan çalışma sonucunda bazı illerde rüzgar enerjisinin yeterince getiri sağlamadığı saptanmıştır. Ancak Rüzgar enerjisinin güneş enerjisine göre düşük gelir projeksiyonuna sahip bölgelerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli sorunlarından biri olan süreklilik sorununa bir çözüm olarak rüzgar enerjisi kullanılabilir. Özellikle gece yoğun saatlerde güneş enerjisi üretilmeyeceği için o sırada rüzgardan elde edilen enerji uzun vadede çok yüksek olmasa bile sistemin devamlılığı açısından kritik bir role sahip olabilir. Ayrıca bu yapılan çalışmalarda hesaplanan yatırım değerlerinde depolama sisteminin de masrafları eklenerek, hibrit enerji santralinin sürekliliği göz önüne alınmıştır.

ŞEHİRLERİN HİBRİT POTANSİYELLERİNİN VE YATIRIM DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Aşağıdaki tabloda her bir ilin sahip olduğu potansiyele karşılık olarak yapılan yatırımın getirisinin sıralaması yapılmıştır. Daha sonra da bu 2 değişken arasında nasıl bir değişim olduğu tablonun sağ kenarında belirtilmiştir. Böylece bölgenin sahip olduğu potansiyel, 1 MW hibrit enerji santrali kurulması sonucu güneş ve rüzgar enerjisinin getirdiği gelirler ile nasıl bir uyum gösterdiği anlaşılmıştır.

Tablo 5.1 Hibrit enerji potansiyeli ve yatırım değerlerinin karşılaştırılması

Şehir	Hibrit enerji potansiyeli kWh/m ² .yıl	Sıra	Şehir	Yatırımın bugünkü değeri (Npw)	Sıra	Değişim
Hatay	827.70	1	Hatay	1588249.58	1	0
Çanakkale	739.39	2	Çanakkale	1295273.96	2	0
Karaman	676.82	3	Karaman	953678.93	3	0
Kayseri	633.75	4	Kayseri	782658.59	4	0
Balıkesir	608.43	5	Balıkesir	764071.68	5	0
Kırklareli	605.90	6	Kırklareli	762748.34	6	0
İzmir	597.77	7	İzmir	629430.42	7	0
Van	576.25	8	Tekirdağ	600199.50	8	1
Tekirdağ	567.39	9	Edirne	589929.51	9	4
Adana	555.69	10	Van	574975.89	10	-2
Bitlis	552.91	11	Muş	525306.77	11	19
Erzincan	550.62	12	Hakkari	500647.47	12	22
Edirne	549.66	13	Şanlıurfa	499569.71	13	61
Sivas	545.56	14	Bitlis	478229.37	14	-3
Erzurum	537.96	15	Konya	477617.46	15	1
Konya	533.21	16	Düzce	443453.06	16	65
Yalova	527.83	17	Adana	440281.03	17	-7

Tablo 5.1 Hibrit enerji potansiyeli ve yatırım değerlerinin karşılaştırılması
(devam)

Şehir	Hibrit enerji potansiyeli kWh/m ² .yıl	Sıra	Şehir	Yatırımın bugünkü değeri (Npw)	Sıra	Değişim
Mersin	517.46	18	Erzincan	435231.92	18	-6
Bursa	508.87	19	Sivas	427359.56	19	-5
Malatya	504.80	20	Mersin	416226.57	20	-2
Osmaniye	504.80	20	Erzurum	407160.86	21	-6
Elazığ	475.48	22	Yalova	402698.03	22	-5
İstanbul	469.35	23	Osmaniye	377447.36	23	-3
Ağrı	469.35	24	Malatya	377447.36	23	-3
İğdır	469.35	24	Muğla	363576.81	25	2
Kahramanmaraş	460.38	26	Denizli	348629.71	26	38
Muğla	456.93	27	Adıyaman	334843.68	27	26
Tunceli	452.62	28	Bursa	328446.18	28	-9
Tokat	445.09	29	Kilis	300310.36	29	38
Muş	443.90	30	Isparta	298227.56	30	2
Çankırı	437.59	31	Siirt	287851.69	31	40
Isparta	435.16	32	Antalya	282116.14	32	5
Manisa	432.53	33	Elazığ	281153.55	33	-11
Hakkari	427.74	34	Zonguldak	267560.24	34	45
Samsun	427.46	35	Niğde	258841.16	35	1
Niğde	426.54	36	Aksaray	258762.99	36	29
Antalya	424.61	37	Burdur	253525.57	37	5
Kars	419.97	38	Trabzon	251744.14	38	42
Gaziantep	414.48	39	Gaziantep	251744.14	39	0
Mardin	414.48	39	Mardin	251216.48	39	0
Diyarbakır	409.41	41	Kars	240122.94	41	-3
Artvin	407.31	43	Kahramanmaraş	231692.35	43	-17
Yozgat	407.31	43	Aydın	220379.19	44	5
Ordu	406.50	45	Yozgat	214624.82	45	-2
Ardahan	402.30	46	Artvin	212124.51	46	-3
Sinop	401.22	47	Eskişehir	212124.50	47	26
Gümüşhane	399.71	48	Kırşehir	212060.55	48	29
Aydın	397.57	49	Tunceli	206146.68	49	-21
Nevşehir	394.22	50	Ardahan	203070.86	50	-4
Afyonkarahisar	393.25	51	Tokat	199958.96	51	-22
Bingöl	390.72	52	Afyonkarahisar	198049.92	52	-1
Adıyaman	385.35	53	Batman	191915.53	53	2

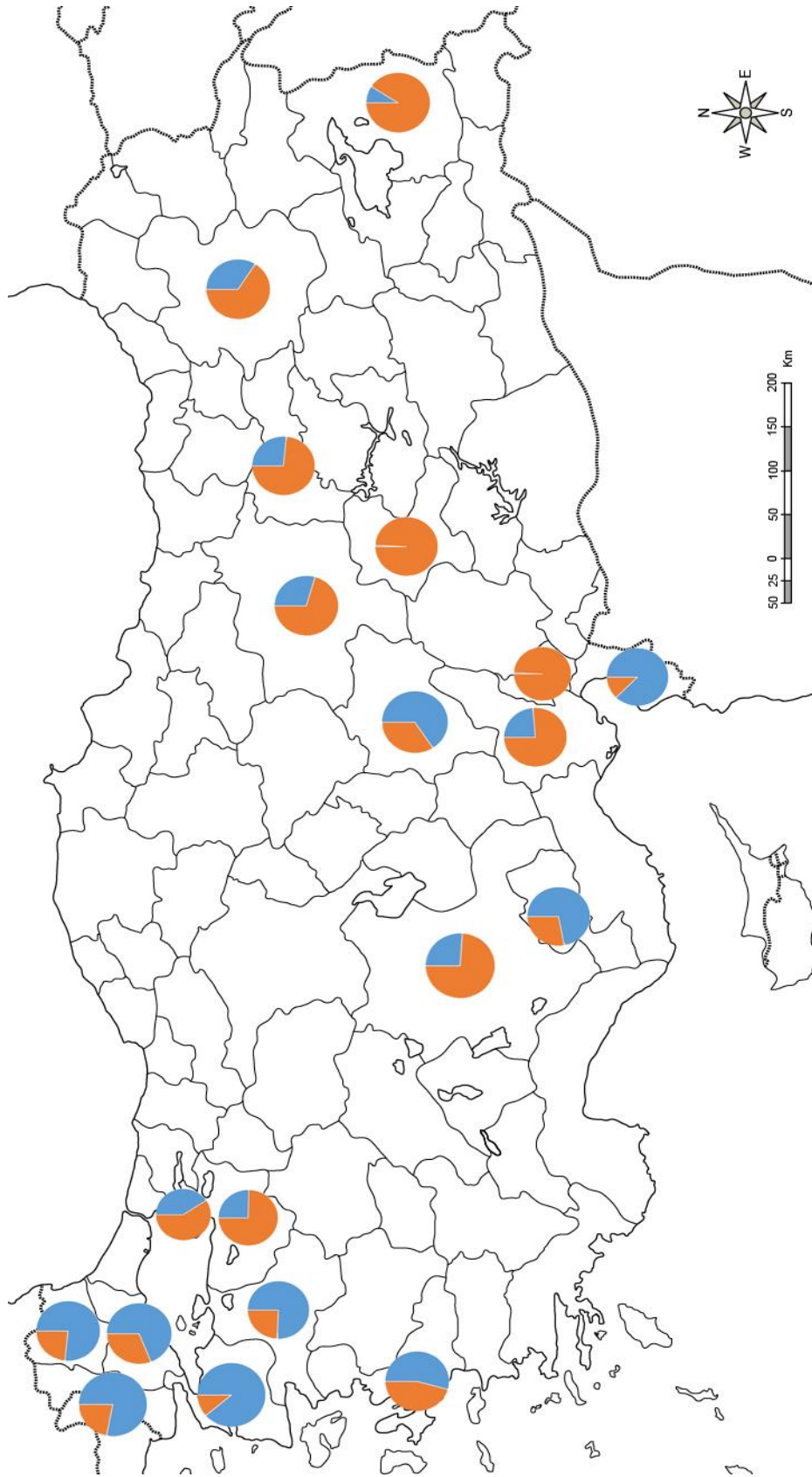
Tablo 5.1 Hibrit enerji potansiyeli ve yatırım değerlerinin karşılaştırılması
(devam)

Şehir	Hibrit enerji potansiyeli kWh/m ² .yıl	Sıra	Şehir	Yatırımın bugünkü değeri (Npw)	Sıra	Değişim
Kütahya	384.09	54	Bingöl	188854.86	54	-2
Batman	382.82	55	Şırnak	182289.71	55	1
Şırnak	380.29	56	Nevşehir	182067.76	56	-6
Amasya	379.03	57	Kırıkkale	172068.26	57	21
Bilecik	379.03	57	Çankırı	172068.24	58	-27
Kastamonu	379.03	57	İstanbul	172068.24	59	-36
Ankara	370.16	60	Ağrı	169294.56	60	-36
Bolu	362.12	61	Iğdır	165285.72	60	-36
Sakarya	362.12	61	Kütahya	156274.68	62	-8
Bayburt	361.90	63	Manisa	149088.43	63	30
Denizli	358.07	64	Ankara	143586.22	64	-4
Aksaray	357.94	65	Karabük	143176.88	65	10
Giresun	357.80	66	Bartın	132904.96	65	10
Kilis	357.52	67	Samsun	132904.96	67	-32
Kocaeli	357.06	68	Bilecik	132904.96	68	-11
Rize	356.83	69	Kastamonu	128916.38	68	-11
Uşak	347.81	70	Amasya	128916.38	68	-11
Siirt	342.88	71	Bayburt	108415.43	71	-8
Çorum	342.75	72	Sakarya	92922.19	72	-11
Eskişehir	334.73	73	Bolu	92922.19	72	-11
Şanlıurfa	316.43	74	Rize	89881.63	74	-5
Bartın	307.43	75	Uşak	85926.74	75	-5
Karabük	307.43	75	Kocaeli	82326.98	76	-8
Kırşehir	305.75	77	Giresun	75712.52	77	-10
Kırıkkale	298.16	78	Ordu	74868.97	78	-33
Zonguldak	279.08	79	Çorum	66298.93	79	-7
Trabzon	258.24	80	Sinop	62154.18	80	-33
Düzce	240.22	81	Gümüşhane	56501.39	81	-33

Tablo 5.1'deki verilerin sonucunda ilk 7 ilimizde potansiyelin yatırım değeriyle orantılı olduğu anlaşılmıştır. Diğer illerimizde irili ufaklı bazı değişimler olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda yine tablodan görülebilmektedir. Bu yapılan hesaplamaya göre yatırım değeri potansiyeline oranla en yüksek artan ilimiz Düzce olmuştur. Potansiyeline göre yatırım değerinin en fazla düşen 3 ilimiz bulunmaktadır. Bunlar İstanbul, Ağrı ve Iğdır olarak belirlenmiştir. Bu iniş ve

Çıkışların başlıca sebeplerinden biri rüzgar enerjisi karşımıza ıkmatadır. Rüzgar türbininin yatırım maliyeti yüksek olduğu için rüzgar enerjisi yeterli olmayan ama hibrit potansiyel yüzde oranı yüksek bölgelerde rüzgar türbini yatırımı kazancı olumsuz olarak etkilemektedir. Bu çalışmada olumsuz etkilemesinin sebebi de rüzgar türbini ve güneş paneli yatırımlarının, hibrit toplamdaki güneş ve rüzgar potansiyel yüzde oranlarına göre yapılmasıdır. Bunun dışında güneş enerjisine verilen ilk 10 yıllık teşviğın rüzgar enerjisine verilen teşvikten daha fazla olmasıdır. Güneş potansiyelinin rüzgar potansiyelinden biraz daha yüksek olan bölgelerin daha karlı halde olması da bu tablodaki değışimlerin bir başka sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Harita 5.1’de hem rüzgar hem de güneşin 25 yıllık yatırım periyodunda kazanç getiren iller işaretlenmiştir ve burada rüzgar ile güneşin getirdiğı kazancın oranları gösterilmiştir. Mavi renk rüzgar tarafından sağlanan kazançları, turuncu renk güneş tarafından sağlanan kazançların oranını gösterir.



Harita 5.1 1 MW hibrit enerji santrali hem rüzgar hem de güneş tarafından kazandıran yatırım haritası

DEVLET TEŞVİĞİ VE BİRİM ELEKTRİK ENERJİ BAŞINA MALİYET HARİTASI

6.1 Devlet Teşviği

Tablo 6.1'de devletin rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları için sağladığı ilk 10 yıl teşviğin yatırıma olan katkısı irdelenmektedir. Tablonun sol bölümünde ilk 10 yıl verilen teşvik dikkate alınarak yapılan yatırım değeri hesabı bulunmaktadır. Tablonun sağ tarafında ise teşviğin hiç olmadığı senaryo düşünülerek hazırlanan yatırım değeri hesabının sonuçları gösterilmiştir. Bir önceki tabloda olduğu gibi değişim tablonun en sağ kısmında gösterilmiştir. Teşviksiz yatırım değeri hesaplanırken şu yol izlenmiştir;

Elektriğin günümüzdeki değeri amerikan doları cinsinden alınarak enflasyona göre yıllık %2 artış dikkate alınıp üretilen yıllık elektrik miktarı ile çarpılıp bunun 25 yıl boyunca toplam getirisi hesaplanmıştır. Gelirler değişirken yapılan yatırım ve bakım maliyetleri teşvik olan senaryoda hesaplandığı gibi alınmıştır. Gelirler hesaplanırken (6.1) eşitliğinden faydalanılmıştır.

$$Cpw(\text{Teşviksiz}) = 1.\text{yıl elektrik geliri} * (P/A_1, \%2, \%18.5, 25) \quad (6.1)$$

Tablo 6.1 Devlet teşviğinin yatırıma katkısının karşılaştırılması

Şehir	Teşvikli Npw	Sıra	Şehir	Teşviksiz Npw	Değişim
Hatay	1588249.58	1	Hatay	1438363.37	0
Çanakkale	1295273.96	2	Çanakkale	1166847.78	0
Karaman	953678.93	3	Karaman	767797.05	0
Kayseri	782658.59	4	Kırklareli	611038.93	0
Balıkesir	764071.68	5	Balıkesir	609274.24	0
Kırklareli	762748.34	6	Kayseri	596022.02	-2
İzmir	629430.42	7	Edirne	457175.14	2
Tekirdağ	600199.50	8	Tekirdağ	445648.62	0
Edirne	589929.51	9	İzmir	435432.06	-2
Van	574975.89	10	Van	278397.88	0
Muş	525306.77	11	Konya	246943.52	4
Hakkari	500647.47	12	Adana	229673.06	5
Şanlıurfa	499569.71	13	Erzincan	228626.36	5
Bitlis	478229.37	14	Sivas	227865.97	5
Konya	477617.46	15	Yalova	227578.44	7
Düzce	443453.06	16	Erzurum	227279.95	4
Adana	440281.03	17	Bitlis	184513.52	-3
Erzincan	435231.92	18	Bursa	150974.32	10
Sivas	427359.56	19	Mersin	148569.22	1
Mersin	416226.57	20	Malatya	138432.47	3
Erzurum	407160.86	21	Osmaniye	138432.47	2
Yalova	402698.03	22	Muş	134774.26	-11
Osmaniye	377447.36	23	Hakkari	102038.33	-11
Malatya	377447.36	23	Düzce	75702.53	-8
Muğla	363576.81	25	Şanlıurfa	64083.04	-12
Denizli	348629.71	26	Muğla	53465.27	-1
Adıyaman	334843.68	27	Elazığ	38564.83	6
Bursa	328446.18	28	Tokat	15268.33	23
Kilis	300310.36	29	Adıyaman	9444.15	-2
Isparta	298227.56	30	Niğde	8857.33	5
Siirt	287851.69	31	Isparta	5537.73	-1
Antalya	282116.14	32	İstanbul	-16187.33	Uygunsuz
Elazığ	281153.55	33	Ağrı	-16187.35	Uygunsuz
Zonguldak	267560.24	34	Iğdır	-16187.35	Uygunsuz
Niğde	258841.16	35	Kars	-17657.40	Uygunsuz
Aksaray	258762.99	36	Tunceli	-19769.61	Uygunsuz
Burdur	253525.57	37	Denizli	-32765.77	Uygunsuz
Trabzon	251744.14	38	Antalya	-33683.76	Uygunsuz
Gaziantep	251744.14	39	Yozgat	-35492.98	Uygunsuz
Mardin	251216.48	39	Artvin	-35492.99	Uygunsuz
Kars	240122.94	41	Kahramanmaraş	-36931.87	Uygunsuz

Tablo 6.1 Devlet teşviğinin yatırıma katkısının karşılaştırılması (devam)

Şehir	Teşvikli Npw	Sıra	Şehir	Teşviksiz Npw	Değişim
Diyarbakır	234022.64	42	Kilis	-46248.74	Uygunsuz
Kahramanmaraş	231692.35	43	Aksaray	-49598.43	Uygunsuz
Aydın	220379.19	44	Gaziantep	-51920.43	Uygunsuz
Yozgat	214624.82	45	Mardin	-51920.43	Uygunsuz
Artvin	212124.51	46	Zonguldak	-59792.70	Uygunsuz
Eskişehir	212124.50	47	Diyarbakır	-60766.00	Uygunsuz
Kırşehir	212060.55	48	Çankırı	-62495.15	Uygunsuz
Tunceli	206146.68	49	Manisa	-67481.15	Uygunsuz
Ardahan	203070.86	50	Ardahan	-68851.79	Uygunsuz
Tokat	199958.96	51	Siirt	-71050.96	Uygunsuz
Afyonkarahisar	198049.92	52	Samsun	-72195.09	Uygunsuz
Batman	191915.53	53	Burdur	-76594.64	Uygunsuz
Bingöl	188854.86	54	Trabzon	-82852.66	Uygunsuz
Şırnak	182289.71	55	Nevşehir	-86127.54	Uygunsuz
Nevşehir	182067.76	56	Aydın	-96699.89	Uygunsuz
Kırıkkale	172068.26	57	Eskişehir	-98703.88	Uygunsuz
Çankırı	172068.24	58	Kütahya	-101978.46	Uygunsuz
İstanbul	172068.24	59	Afyonkarahisar	-102789.14	Uygunsuz
Ağrı	169294.56	60	Bingöl	-107486.36	Uygunsuz
Iğdır	165285.72	61	Amasya	-109561.45	Uygunsuz
Kütahya	156274.68	62	Kastamonu	-109561.45	Uygunsuz
Manisa	149088.43	63	Bilecik	-109561.45	Uygunsuz
Ankara	143586.22	64	Ordu	-123273.30	Uygunsuz
Karabük	143176.88	65	Batman	-130972.85	Uygunsuz
Bartın	132904.96	66	Şırnak	-136205.88	Uygunsuz
Samsun	132904.96	66	Kırşehir	-139589.84	Uygunsuz
Bilecik	132904.96	66	Bartın	-156108.48	Uygunsuz
Kastamonu	128916.38	69	Karabük	-156108.48	Uygunsuz
Amasya	128916.38	69	Ankara	-156727.39	Uygunsuz
Bayburt	108415.43	71	Sinop	-157188.70	Uygunsuz
Sakarya	92922.19	72	Kırıkkale	-159500.11	Uygunsuz
Bolu	92922.19	72	Bolu	-161415.32	Uygunsuz
Rize	89881.63	74	Sakarya	-161415.32	Uygunsuz
Uşak	85926.74	75	Giresun	-163994.34	Uygunsuz
Kocaeli	82326.98	76	Kocaeli	-169840.73	Uygunsuz
Giresun	75712.52	77	Bayburt	-171757.21	Uygunsuz
Ordu	74868.97	78	Gümüşhane	-180629.25	Uygunsuz
Çorum	66298.93	79	Rize	-181269.61	Uygunsuz
Sinop	62154.18	80	Uşak	-206078.15	Uygunsuz
Gümüşhane	56501.39	81	Çorum	-216488.62	Uygunsuz

Tablo 6.1’de yapılan çalışmalar sonucunda devletin verdiği teşviğin, yatırımı ne kadar etkilediği saptanabilmektedir. Tabloda da görüldüğü üzere 50 tane ilimizde teşvik olmayan bir senaryoda yapılan yatırımın, yatırımcıya zarar olarak geri döndüğü anlaşılmaktadır. İlk 5 sıradaki ilimiz teşviksiz yatırım senaryosunda da yerlerini korurken diğer illerimizin sıralamasında iniş ve çıkışlar bulunmaktadır. Bu iniş ve çıkışların en önemli sebeplerinden biri olarak güneş enerjisine verilen teşviğin rüzg ar enerjisine verilen teşvikten büyük olması gösterilebilir. Yani güneş enrji potansiyeli daha fazla olan bölgeler teşviğin yok olmasından ötürü yatırım değeri olarak geriye düşmüşlerdir. Rüzgar potansiyeli daha fazla olan bölgelerde bu miktarda güneş enerjisi rüzgara göre daha yüksek olan bölge kadar bir düşüş söz konusu değildir.

6.2 Birim Elektrik Enerji Başına Maliyet Hesabı ve Maliyet Haritası

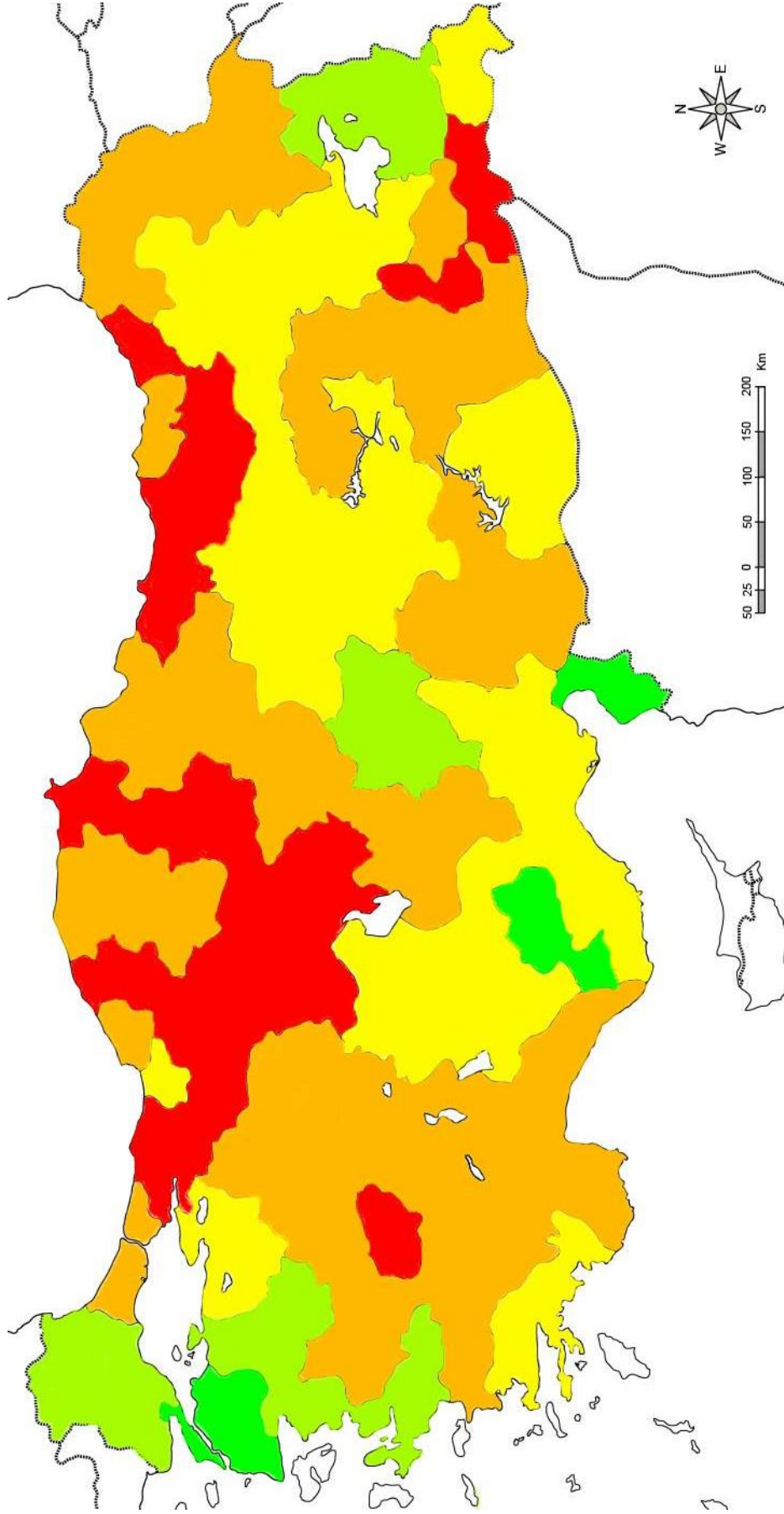
Aşağıdaki haritada birim elektrik enerji maliyeti haritası gösterilmiştir. Birim elektrik maliyeti hesaplanırken yatırım maliyetinin sabit yıllık gider olarak gösterilerek ve bakım maliyeti de göz önüne alınarak toplam güneş ve rüzgardan elde edilen yıllık enerjiye bölünmesi sonucu ortaya çıkan değer her il için hesaplanmıştır.

$$g_k = \text{Yatırım maliyeti} * i * (1+i)^{25} / ((1+i)^{25} - 1) / \text{Yıllık Üretilen Enerji} \quad (6.2)$$

$$g_m = \text{Yıllık Bakım maliyeti} / \text{Yıllık Üretilen Enerji} \quad (6.3)$$

$$g = g_k + g_m \text{ (\$/kWh)} \quad (6.4)$$

Harita 6.1’de her il bir renk tarafından temsil edilmiştir. Bunlar; 0.01342 - 0.01777 \$/kWh arası yeşil, 0.01777 - 0.02212 \$/kWh arası açık yeşil, 0.02212 - 0.02647 \$/kWh arası sarı, 0.02647 - 0.03082 \$/kWh arası turuncu, 0.03082 - 0.03517 \$/kWh arası kırmızı renk ile gösterilmiştir. Haritada gösterildikten sonra her il için hesaplanmış değerler ayrı olarak Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Harita 6.1 Birim elektrik enerji başına maliyet haritası

Tablo 6.2 Birim elektrik enerji başına maliyet değerleri

Şehir	Birim enerji başı maliyet (\$/kWh)	Sıra	Şehir	Birim enerji başı maliyet (\$/kWh)	Sıra
Hatay	0.01155	1	Kilis	0.02439	42
Çanakkale	0.01279	2	Aksaray	0.02450	43
Karaman	0.01453	3	Mardin	0.02463	43
Kırklareli	0.01577	4	Gaziantep	0.02463	45
Balıkesir	0.01579	5	Diyarbakır	0.02480	46
Kayseri	0.01590	6	Çankırı	0.02487	47
Edirne	0.01722	7	Zonguldak	0.02492	48
Tekirdağ	0.01734	8	Manisa	0.02505	49
İzmir	0.01744	9	Ardahan	0.02510	50
Van	0.01870	10	Samsun	0.02516	51
Konya	0.01915	11	Siirt	0.02520	52
Düzce	0.01937	12	Burdur	0.02532	53
Muş	0.01975	13	Nevşehir	0.02560	54
Adana	0.01991	14	Trabzon	0.02575	55
Erzincan	0.01993	15	Aydın	0.02592	56
Sivas	0.01994	15	Kütahya	0.02608	57
Yalova	0.01994	17	Afyonkarahisar	0.02610	58
Erzurum	0.01995	18	Eskişehir	0.02617	59
Bitlis	0.02008	19	Bingöl	0.02625	60
Hakkari	0.02046	20	Bilecik	0.02631	60
Mersin	0.02067	20	Kastamonu	0.02631	62
Şanlıurfa	0.02068	22	Amasya	0.02631	63
Osmaniye	0.02084	23	Ordu	0.02650	64
Malatya	0.02084	24	Batman	0.02700	65
Bursa	0.02105	25	Şırnak	0.02717	66
Muğla	0.02205	26	Sinop	0.02746	67
Elazığ	0.02269	27	Kırşehir	0.02775	68
Adıyaman	0.02275	28	Ankara	0.02787	69
Niğde	0.02307	29	Sakarya	0.02804	70
Tokat	0.02315	30	Bolu	0.02804	70
Isparta	0.02317	31	Gümüşhane	0.02813	72
Kars	0.02372	32	Giresun	0.02817	73
Tunceli	0.02393	32	Kocaeli	0.02834	74
İstanbul	0.02397	32	Bayburt	0.02841	75
Iğdır	0.02397	35	Karabük	0.02844	76
Ağrı	0.02397	36	Bartın	0.02844	77
Denizli	0.02397	37	Kırıkkale	0.02859	77
Antalya	0.02414	38	Rize	0.02876	79
Yozgat	0.02419	39	Uşak	0.02971	80
Artvin	0.02419	39	Çorum	0.03013	81
Kahramanmaraş	0.02432	41			

Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları göz önüne alındığında yenilenebilir enerji, temiz ve ucuz bir şekilde enerji sorununu çözmede büyük bir fayda sağlama potansiyeline sahiptir. Planlayıcılar ve devlet desteğiyle birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının önümüzdeki zamanlarda ülkenin enerji açığını kapatmak için önemli bir konumda olacağı görünmektedir. Güneş ve rüzgar enerjisinin ülkedeki gelişimiyle hibrit enerji gelecekte alternatif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara ve tablolara göre bu uygulama oldukça umut verici gözükmektedir.

Bu çalışmayla Türkiye'nin sahip olduğu rüzgar ve güneş kaynaklarının düşük ölçekten yüksek ölçeğe 81 il ve 7 bölgede ne kadar önemli ve kazançlı olduğu saptanmıştır. 1 MW hibrit enerji santralleri kullanılarak yerel olarak ya da bölgesel olarak her il için sahip olduğu potansiyel ve belirlenen ekonomik model ile birlikte illerin birbirine kıyasla getirebileceği kazanç gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucu en önemli kazanç sağlayan iller Hatay, Çanakkale ve Karaman olarak belirlenmiştir. Bu noktaların ortak özelliği rüzgar potansiyelinin çok yüksek olması ve aynı zamanda güneş potansiyeli olarak da iyi bir konumda olmasıdır. Aynı zamanda bu illerin dışındaki bazı illerde de önemli kazanç noktaları bulunmaktadır. Her ilde Hatay,Çanakkale ya da Karaman gibi yüksek düzeyde kazanç olmasa bile yerel olarak uygulanabilir olması, kolay devreye girip yüksek üretim kapasitesine ulaşabilmesi nedeniyle hibrit enerji santralini bir çok il için oldukça elverişli bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir kılmaktadır.

Temiz enerji kaynağı kullanarak karbon ayak izini düşürmek her vatandaşın sorumluluğundadır. Aksi takdirde Dünya, giderek daha yaşanamaz bir hal almaya devam edecektir. Bu doğrultuda projede Türkiye'nin sahip olduğu yüksek potansiyeli sürdürebilir ve kazançlı bir uygulamaya dönüştürmek amacıyla hibrit enerji haritasının oluşturulması geleceğin daha iyi olabilmesi adına yapılmış bir adımdır. Türkiye'ye genel olarak bakıldığında maliyet analizine göre hibrit enerji yatırım değerinin yeterli düzeyde olduğu görülmüştür. Yani sadece temiz ve

sürdürebilir olması değil aynı zamanda kazançlı olması bu sistemi Türkiye'nin enerji çözümü olarak uygulanabilir kılmaktadır. Bu sistemin kullanılması endüstri sektöründe hızlı bir büyümeye yol açabilir ve bu da ülkenin ekonomik ve enerji sektöründe ilerleyişiyle bağlantılıdır. En önemlisi de bu uygulama kullanılarak ülkemiz ve Dünya'nın geleceği kurtarılması için önemli adımlar atılabilir.

REFERANSLAR

-
- [1] Uğurlu A, Gokcol C. “An overview of Turkey's renewable energy trend,” Journal of Energy Systems 2017; 1(4):148-158.
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Elektrik Üretimi “ <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (10.04.2019)
- [3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Rüzgar Enerjisi, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx (10.04.2019)
- [4] EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Türkiye Rüzgar Enerjisi Kurulu Kapasitesi, <http://www.epdk.gov.tr> (10.04.2019)
- [5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Rüzgar <https://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Wind> (10.04.2019)
- [6] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. Wind Energy Explained, Theory, Design and Application. Wiley, 2002.
- [7] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Güneş Enerjisi, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (10.04.2019)
- [8] İstanbul Teknik Üniversitesi IEEE Dergi, <http://dergi.ituieee.com/teknik/fotovoltaik-hucreler> (10.04.2019)
- [9] Solar energy: what you need to know, <https://www.energysage.com/solar/> (10.04.2019)
- [10] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş <https://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Wind> (10.04.2019)
- [11] A.B. Kanase-Patil, R.P. Saini, M.P. Sharma, “Integrated renewable energy systems for off grid rural electrification of remote area”, Renewable Energy 35 2010, pp. 1342 –1349.
- [12] Rajoriya, E. Fernandez, “Sustainable energy generation using hybrid energy system for remote hilly rural area in India”, International Journal of Sustainable Engineering, May 2010, pp.1–9.
- [13] Ajai Gupta, R.P. Saini, M.P. Sharma, “Steady-state modeling of hybrid energy system for off grid electrification of cluster of villages”, Renewable Energy 35, 2010, pp. 520 – 535.
- [14] Ahmad Agus Setiawan, Yu Zhao, Chem. V. Nayar, “Design, economic analysis and environmental considerations of mini-grid hybrid power system with reverse osmosis desalination plant for remote areas”, Renewable Energy 34, 2009, pp. 374–383.
- [15] Akella A.K., Sharma M.P. and Saini R.P., “Optimum utilization of renewable energy sources in a remote area,” Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 2007, pp. 894–908.

- [16] W. D. Kellogg, M. H. Nehrir, G. Venkataramanan, and V. Greez, "Generating Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-alone Wind, Photovoltaic and Hybrid Wind/PV Systems," IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, pp. 70-75, March 1998.
- [17] Fernando Valencaga, Pablo F. Puleston and Pedro E. Battaiotto, "Power Control of a Solar/Wind Generation System Without Wind Measurement: A Passivity/Sliding Mode Approach," IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 18, No. 4, pp. 501-507, December 2003.
- [18] Kurozumi, Kazuhiro et al, "Hybrid system composed of a wind power and a photovoltaic system at NTT Kume-jima radio relay station," INTELEC, International Telecommunications Energy Conference 1998, pp. 785-789.
- [19] Riad Chedid and Saifur Rahman, "Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-Solar Power Systems," IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, pp. 79-85, March 1997.
- [20] Francois Giraud and Ziyad M. Salameh, "Steady-State Performance of a Grid-Connected Rooftop Hybrid Wind-Photovoltaic Power System with Battery Storage," IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 16, No. 1, pp. 1- 7, March 2001
- [21] Jie Li et.al, "Feasibility analysis of applying the wind-solar hybrid generation system in pastoral area," Mongolia University of science & technology (2012).
- [22] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Potansiyel Haritası, http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html (10.04.2019)
- [23] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Kapasite Faktörü Haritası, http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html (10.04.2019)
- [24] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Türkiye'nin yıllık ortalama global güneş radyasyon dağılımı, https://www.mgm.gov.tr/kurumci/radyasyon_iller.aspx (10.04.2019)
- [25] 200kW Rüzgar Türbini Fiyatı ve Kataloğu, https://www.alibaba.com/product-detail/Green-energy-200kw-low-rpm-generator_60770163371.html?spm=a2700.7724857.normalList.24.7be4582bXoZQak&s=p (10.04.2019)
- [26] 250W Fotovoltaik Güneş Enerji Paneli Fiyatı ve Kataloğu, https://www.alibaba.com/product-detail/Grade-A-60pcs-polycrystalline-260w-240w_60806343390.html?spm=a2700.7724838.2017115.32.78176a4am8oRb4&s=p (10.04.2019)
- [27] 100Kw Batarya Fiyatı ve kataloğu https://www.alibaba.com/product-detail/Sunpal-Hot-100-KW-Solar-System_60796770296.html?spm=a2700.7724838.2017115.20.608122f4wHpCoa (10.04.2019)

- [28] Türkiye Cumhuriyeti para politikasına göre alınan iskonto oranı <https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Temel+Faaliyetler/Para+Politikasi/Reeskont+ve+Avans+Faiz+Oranlari> (10.04.2019)
- [29] Kaya, K., Koç, E. 2015. “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 660, s. 61-68.
- [30] I Sayılı Cetvelde 29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmünde belirtilen Rüzgar ve Güneş enerjisi devlet teşviği değerleri, <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5346.pdf> (10.04.2019)
- [31] T.C. Enerji Piyasası Denetleme Kurumu, Elektrik Fiyatı <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (10.04.2019)

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: furkan.senguler@hotmail.com

Makale

1. Yumurtacı, Z., Şengüler, F., (2019). “Hybrid Energy Potential Map of Turkey and Cost Analysis of 1 MW Hybrid Power Plants”, International Journal of Engineering Research and Advanced Technology (IJERAT), Volume 5, Issue 6, pp. 1-14.