



**T.C.**  
**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATAY HAVAALANI BÖLGESİNİN**  
**RÜZGAR KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Bahattin TANÇ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY**  
**AĞUSTOS-2014**



T.C.  
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATAY HAVAALANI BÖLGESİNİN RÜZGAR  
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ

Bahattin TANÇ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY  
AĞUSTOS-2014

T.C.  
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATAY HAVAALANI BÖLGESİNİN RÜZGAR  
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ

BAHATTİN TANÇ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANSTEZİ

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ danışmanlığında hazırlanan bu tez **05/08/2014** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ  
Başkan

Yrd. Doç. Dr. Semir GÖKPINAR  
Üye

Yrd. Doç. Dr. Emin ÜNAL  
Üye

Kod No: 743

Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN  
Enstitü Müdürü

05.08.2014

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılmayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmza  
Bahattin TANÇ

**ÖZET**  
**HATAY HAVAALANI BÖLGESİNİN**  
**RÜZGAR KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ**

Günümüzde ülkelerinin nüfus artışına ve sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda özellikle fosil kaynaklardan elde edilen enerjinin azalması ve arz-talep dengesinin düzensizliği; enerji çalışmalarının yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları konularında yoğunluk kazanmasını sağlamıştır. Ülkemizin dünya üzerindeki yeri ve coğrafi özellikleri yenilenebilir enerji türlerinden rüzgar ve güneş enerjisinin verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan 2012 yılı Antakya Havaalanı bölgesi rüzgar hızı verileri kullanılarak bu bölgenin rüzgar enerji potansiyeli ve karakteristiği, incelenmiştir. Havaalanının bulunduğu bölge WASP (Wind Atlas Analyses and Application Program) programı ile simule edilerek bölgenin rüzgar haritası çıkarılmıştır. Ölçüm yapılan istasyon ve kurulacak rüzgar santral çevresi pürüzlülük değerleri, çevre yapı bilgileri programa girilmiştir. Wasp programı ile ayrıntılı olarak incelenen bölgenin teknik analiz sonuçları irdelenmiş ve rüzgar hızı, rüzgar oluşma sıklığı (frekansı), güç yoğunluğu ve yıllık üretilecek toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Antakya havaalanı bölgesinin rüzgar enerji potansiyeli açısından azımsanmayacak bir kapasiteye sahip olduğu belirlenmiştir.

2014, 64 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar enerjisi, rüzgar potansiyeli tahmini, WASP programı, Hatay Havaalanı

**ABSTRACT**  
**INVESTIGATION OF WIND CHARACTERISTICS**  
**IN HATAY AIRPORT REGION**

Today, the demand for energy in line with the increasing population and industrialization of the countries and requirement of energy is increasing. In recent years, a decrease in the energy derived from fossil sources and the supply-demand balance irregularity, the energy intensity provided to gain studies on renewable and alternative energy sources. The location and geographical features of our country on the world allows the efficient use of renewable forms of energy especially wind and solar energy. In this study, the wind energy potential and characteristics of Hatay Airport, will be examined using data from the average speed of the wind which has belong to 2012 year and undertaken from the permission of Meteorology Station of Hatay. The airport area was created by simulating with WAsP (Wind Atlas Analyses and Application Program) program wind map of the region. The measured roughness values around the central wind train station and established environmental structure information has been entered by program. Wasp reported the results of the program in detail with the technical analysis of the study area and therefore wind speed, wind frequency of occurrence, power density, and the amounts of the total annual energy produce calculated. As a result of the study, Antakya airport region which has a substantial capacity of wind energy potential was determined.

2014, 64 pages

**Key Words:** Wind energy, Wind potential estimation, WAsP program, Hatay Airport

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında, büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan, yoğun akademik görevlerine rağmen her fırsatta zaman ve ilgisini esirgemeyen, yol gösteren ve bilimsel çalışmamda bana yardımcı olan tez danışmanım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ' a en derin saygılarımı ve minnettarlığımı iletmek isterim.

Çalışmam sırasında değerli görüş katkı ve bilgilerini esirgemeyen, kıymetli zamanından ve tecrübelerinden yararlandığım, sayın hocam Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU' na sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmamın büyük bir bölümünde hiç yanımdan ayrılmadan, bitmez tükenmez enerjileriyle bana çalışma azmi veren değerli mesai arkadaşlarım, Arş. Gör. H. Turan ARAT, Öğr. Gör. İlker MERT ve Arş. Gör. M. Kaan BALTACIOĞLU'na; verilere ulaşılması, denetlenmesi ve uygulamasında yardımcı olan Mak. Müh. Fatih PEKER'e ve tez yazımı ve kontrolü aşamasında tecrübelerini benimle paylaşan çok sevgili hocam Doç. Dr. Ahmet YAPICI' ya sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmamın her aşamasında gece-gündüz yanımda olan ve yardımlarını hiç unutmayacağım Makine Mühendisliği Bölümü bünyesindeki araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak bu çalışma süresi boyunca hayatımın her aşamasında bana destek olan babam Yücel TANÇ'a, annem Emiş TANÇ'a ve kardeşim Ali Buğra TANÇ'abu çalışmanın onurunun ve bana ait her türlü hakkının kendilerine ait olduğunu söylemek istiyorum.

Bu çalışmanın ülkemize yararlı olmasını temenni ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	3
1.1.1. Güneş Enerjisi.....	3
1.1.2. Hidrolik Enerji.....	5
1.1.3. Jeotermal Enerjisi.....	8
1.1.4. Biyokütle Enerjisi.....	9
1.2. Rüzgar Enerjisi.....	10
1.2.1. Dünya için Rüzgar Enerjisi.....	11
1.2.2. Türkiye için Rüzgar Enerjisi.....	12
1.2.3. Hatay için Rüzgar Enerjisi.....	14
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	19
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Hatay Havaalanı Bölgesi.....	23
3.1.2. Rüzgar Hız Verileri.....	24
3.2 Yöntem.....	26
3.2.1. Olasılık Yoğunluk (Weibull ve Rayleigh) Fonksiyonları.....	26
3.2.2. Rüzgar Gücünün Yoğunluk Fonksiyonu ve Ortalama Güç Yoğunluğu.....	28
3.2.3. Kapasite Faktörü.....	29
3.2.4. Maliyet Analiz Kriterleri.....	30
3.2.5. Mikro Konuşlandırma.....	31
3.2.6. WAsP (Wind Atlas Analyses and Application Program).....	32
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
4.1. Havaalanı Bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Tek Türbin ile İncelenmesi.....	35
4.2. Havaalanı Bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Türbin Çiftliği İncelemesi.....	41
4.2.1. Havaalanı Bölgesi Dikey Türbin Çiftliği Uygulaması.....	41
4.2.2. Havaalanı Bölgesi Dağınık Türbin Çiftliği Uygulaması.....	47
4.3. Maliyet Analizi.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	62
EKLER.....	63



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	2035 yılına kadar Dünya'nın birincil enerji kaynak talebi .....	2
Şekil 1.2.	Dünya'nın küresel yatay radyasyonu.....	4
Şekil 1.3.	Türkiye doğru normal radyasyonu.....	5
Şekil 1.4.	Dünya genelinde hidrolik enerjinin teknik ve potansiyel durumu.....	6
Şekil 1.5.	Türkiye için hidroelektrik potansiyeli.....	7
Şekil 1.6.	Hidroelektrik üretiminin elektrik üretimindeki payı.....	8
Şekil 1.7.	Türkiye biyokütle enerji potansiyeli atlası.....	9
Şekil 1.8.	Türkiye rüzgar enerjisi haritası .....	12
Şekil 1.9.	2014 Ocak ayı itibari ile Türkiye'de rüzgar enerjisinden elektrik üretimi .....	13
Şekil 1.10.	İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre yüzdesel dağılımı .....	14
Şekil 1.11.	İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı.....	15
Şekil 1.12.	İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı.....	16
Şekil 1.13.	Hatay bölgesi rüzgar enerji santralleri .....	16
Şekil 1.14.	İnşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı .....	17
Şekil 1.15.	İnşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin güç bakımından illere göre dağılımı .....	17
Şekil 2.1.	Rüzgar Gülleri (a) Antakya Bölgesi (b) İskenderun Bölgesi.....	21
Şekil 3.1.	Hatay Havalanı topoğrafik haritası .....	23
Şekil 3.2.	Hatay ili REPA haritası.....	24
Şekil 3.3.	Aylık ortalama rüzgar değerleri grafiği .....	25
Şekil 3.4.	Temmuz ve Aralık aylarının haftalık rüzgar analizi .....	25
Şekil 3.5.	WAsP programın temel input ve outputları .....	33
Şekil 3.6.	WAsP programında proje başlangıç penceresi .....	33
Şekil 3.7.	WAsP programından alınmış görüntüler .....	34
Şekil 4.1.	Vestas V44 660 KW rüzgar türbini güç eğrisi.....	36
Şekil 4.2.	Rüzgar hızının yüzey pürüzlülüklerine bağlı olarak değişimi .....	38
Şekil 4.3.	Havaalanı bölgesi Weibull dağılımı .....	39
Şekil 4.4.	Havaalanı bölgesi rüzgar gülü haritası.....	39
Şekil 4.5.	Havaalanı bölgesi için üretilebilecek yıllık güçmiktarı .....	40
Şekil 4.6.	Dikey rüzgar çiftliği topografik görüntüsü .....	41
Şekil 4.7.	Dikey rüzgar çiftliği Google earth görüntüsü .....	42
Şekil 4.8.	Dikey rüzgar çiftliği için 0,03 pürüzlülük değerinde rüzgar gülü - Weibull dağılım grafiği.....	43
Şekil 4.9.	Dikey rüzgar çiftliği uygulamasının güç yoğunluğu .....	46
Şekil 4.10.	Dikey rüzgar çiftliği uygulamasının rüzgar hız dağılımı.....	47
Şekil 4.11.	Dağınık rüzgar çiftliği topografik görüntüsü .....	48
Şekil 4.12.	Dağınık rüzgar çiftliği Google earth görüntüsü .....	48
Şekil 4.13.	Mikro konuşlandırma.....	49
Şekil 4.14.	Dağınık rüzgar çiftliği uygulamasının güç yoğunluğu .....	51
Şekil 4.15.	Dağınık rüzgar çiftliği uygulamasının rüzgar hız dağılımı.....	51
Şekil 4.16.	Türbin güç eğrisi .....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Ülkelerin kurulu güç kapasiteleri .....	11
Çizelge 1.2.	Bazı avrupa ülkelerinin rüzgar enerji potansiyelleri .....	13
Çizelge 3.1.	Tesis maliyetini oluşturan kalemlerin maliyete katkıları .....	31
Çizelge 3.2.	kWh enerji üretimi başına işletme maliyeti .....	31
Çizelge 4.1.	Rüzgar atlasının bölgesel özet verileri .....	37
Çizelge 4.2.	Rüzgar sınıfları ve 50 m yükseklikteki ülke potansiyelimiz .....	37
Çizelge 4.3.	Hesaplanan rüzgar türbin verileri .....	40
Çizelge 4.4.	Dikey rüzgar çiftliği özet verileri .....	43
Çizelge 4.5.	Dikey rüzgar çiftliği için 0,03 pürüzlülük değerinde rüzgar derecelerine göre data seti .....	44
Çizelge 4.6.	Türbin Analizleri .....	45
Çizelge 4.7.	Türbin Etkinlikleri .....	46
Çizelge 4.8.	Türbin Analizleri .....	50
Çizelge 4.9.	Türbin Etkinlikleri .....	50
Çizelge 4.10.	Türbin kapasite faktörü .....	52
Çizelge 4.11.	Türbin çiftliği geri ödeme süreleri .....	53

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$c$	:Ölçek parametresi
$f_w(v)$	:Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_w(v)$	:Weibull kümülatif yoğunluk fonksiyonu
$f_R(v)$	:Raigleight olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_R(v)$	:Raigleight kümülatif yoğunluk fonksiyonu
$GW$	:Gigawatt
$k$	:Şekil parametresi
$KW$	:Kilowatt
$P_m$	:Rüzgar gücü yoğunluğu
$P_w$	:Ortalama güç yoğunluğu
$v$	:Rüzgar hızı
$v_{(m)}$	:Rüzgar ortalama hızı
$TWh$	:Terrawatt-saat
$\rho$	:Havanın yoğunluğu
$\sigma$	:Rüzgar hızının standart sapması
$\Gamma$	:Gama Fonksiyonu

### KISALTMALAR

## 1. GİRİŞ

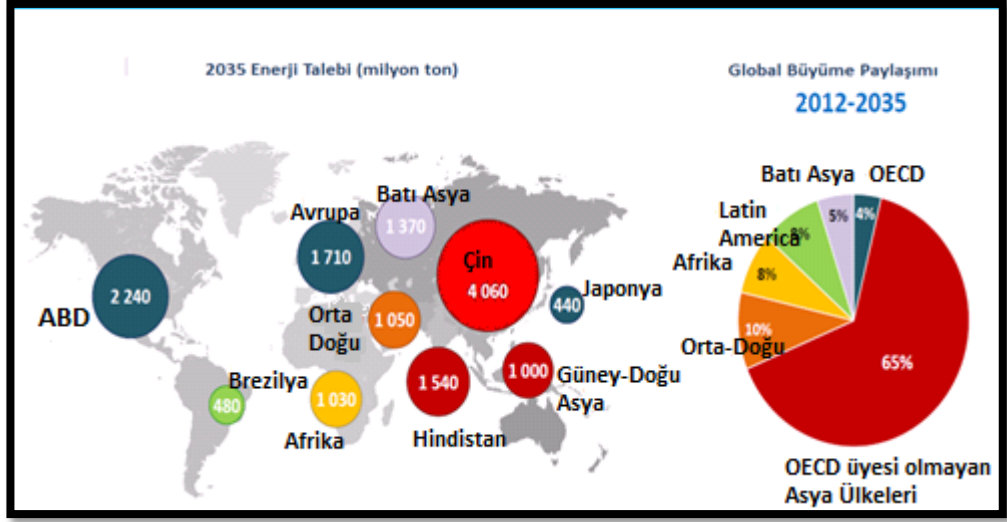
Günümüzde enerji hem bireyler hem ülkeler için vazgeçilmez bir değer haline gelmiş olup artan enerji kullanımı ve sosyo-ekonomik göstergeler enerji talebini tüm dünyada artırmıştır. Enerjinin üretimi, tüketimi ve kişi başına düşen enerji miktarı gibi ölçütler ülkelerin gelişmişlik düzeyini belirler konuma gelmiştir.

Gün geçtikçe artan enerji talebine karşılık, fosil kaynakların bir asırlık ömürlerinin kalması, sürekliliklerinin olmaması, ülkeler arası piyasalardan çok kolay etkilenmesi ve doğaya verdiği zararlardan dolayı ülkeleri ileriye dönük enerji planları yapmasını zaruri hale getirmiştir.

Enerji çeşitliliğinin ve üretiminin iyileştirilmesi için son zamanlarda hayli hız kazanmış olan çalışmalar bu sistemin temin, kullanım ve geri dönüştürme işlemlerini ayrı ayrı incelemek ve buna göre senaryo ve durumlar oluşturmaktadır.

Enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan enerji kaynakları temel olarak kömür, petrol, gaz, nükleer enerji kısımlarını kapsayan birincil enerji kaynakları ve su (hidrolik), güneş, rüzgar, jeotermal ve biyokütle enerji kısımlarını kapsayan yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki kısımda tanımlanmaktadır.

2013 yılı Dünya Enerji raporuna (IEA) bakıldığında, bu yıldan 2035'e kadar dünya enerji tüketiminde % 16 artış olacağı öngörülmektedir ([www.elektrikport.com](http://www.elektrikport.com), 2013). 2035 yılına kadar dünyanın birincil enerji kaynak talebi Şekil 1.1'de görülmektedir. Dünya enerji tüketiminde %16'lık büyümenin paylaşımına göz atıldığında büyümenin %65'lik kısmı dünya sanayisinin büyüyen devi Çin önderliğinde Asya ülkelerinden oluşmaktadır. Çin ve Hindistan'ın enerji tüketiminde paylarının önemli derecede artması, bu ülkeleri dünya enerji tüketim payının yarısına sahip konuma getirmiştir.



Şekil 1.1. 2035 yılına kadar dünyanın birincil enerji kaynak talebi (IEA, 2013)

Fosil enerji kaynakları açısından bakılacak olursa, Türkiye enerji talebinin %89'unu, Dünya ise enerji talebinin %86,3'ünü fosil yakıtlardan karşılamaktadır (Türkyılmaz, 2014).

Tükettiği enerji kaynaklarının 2013 verilerine göre %71'ini (SETA, Dünya Bankası raporu, 2013) ithal etmekte olan Türkiye'de uygulanan enerji politikaları, dünya enerji piyasalarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Türkiye'de, ülkenin doğal yapısına bağlı olarak, çok farklı çeşitlerde enerji kaynağı olmasına rağmen, linyit dışında kullanılan fosil kaynakların rezervleri az miktarda ve üretimleri de oldukça düşük seviyededir.

Fosil enerji kaynaklarının tekrar kullanılmaması ve rezervlerinin gün geçtikçe tükeniyor olması, Dünya'nın ve Türkiye'nin yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına olan talebini ve kullanımını artırmıştır. Bu yeni enerji stratejisinde teknolojinin de gelişimi ile son asırda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmıştır ve ihtiyacı karşılayacak seviyelere çıkması için yatırımların ve çalışmaların devam ettiği görülmektedir.

## 1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Günümüze kadar fosil yakıtla dayalı olan enerji kullanımı; çevre kirliliği, rezervlerin azalması, atmosferde oluşan sera etkisi, doğal bitki örtüsünün yanı sıra insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri gibi önemli nedenlerle hızla yeni enerji kaynakları bulunması zorunluluğunu doğurmuştur.

Bu şartlarda, fosil yakıtların tüketimi azaltılarak; hidrolik, güneş, rüzgar, jeotermal ve dalga enerjisi gibi temiz, yerli ve yenilenebilir kaynaklara yönelinmelidir.

Yenilenebilir enerji kaynakları; coğrafi olarak çok geniş alanlarda bulunabilmekte, yerel ve modüler olarak istenilen miktarda enerji talebini karşılayacak şekilde kullanılabilir ve daha çok kırsal ve dağınık yerleşim birimlerinin enerji talep yapısıyla uyum göstermektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) sunumlarına göre; dünya enerji politikaları ve enerji arzına yönelik tercihlerin mevcut durumlarını korumaları halinde, dünyada birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında %40 oranında artacağı belirtilmiştir. Bazı enerji analistleri kırk yıl gibi bir dönem içerisinde dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içerisindeki payının %50'lere yaklaşacağı tahminini yapmaktadırlar. Bu, insanlığın ve dünyamızın geleceği için umut verici bir öngörüdür (Enerji sektörü Raporu GEKA, Eylül, 2012).

Özellikle son on yıl Türkiye'de dikkatlerin genelde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjiye, özelde ise rüzgar, güneş ve biyokütle enerjisine yoğunlaştığı bir dönem olmuştur. Genel perspektif halinde bu enerji çeşitleri hakkında bilgi vermek, yenilenebilir enerji kaynaklarının anlaşılmasında önemli bir parametre olacaktır.

### 1.1.1. Güneş Enerjisi

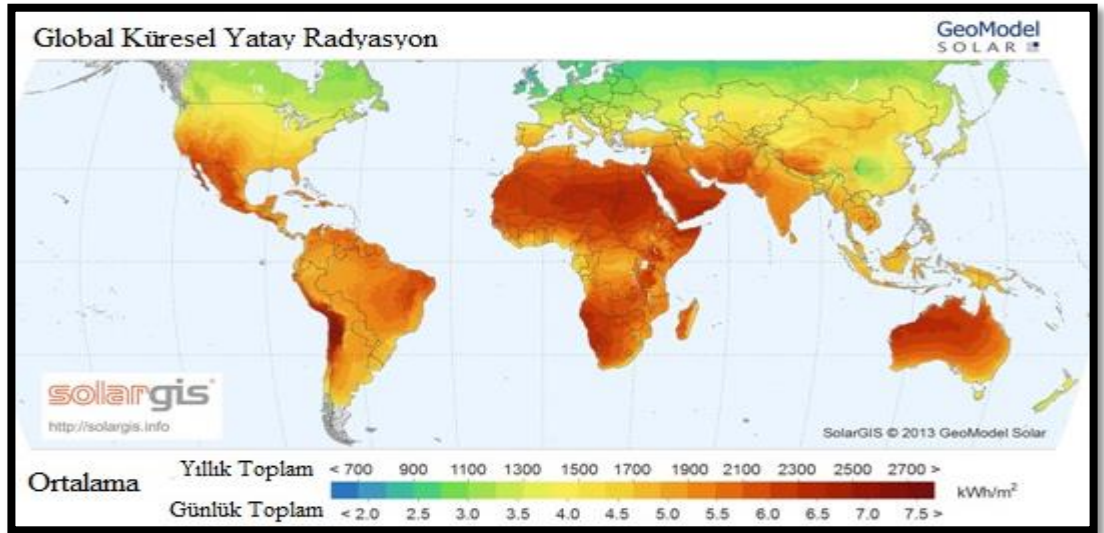
Güneş enerjisi, güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Güneş'in yaydığı ve Dünya'mıza da ulaşan enerji, Güneş'in çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ışınım enerjisidir. Güneşte her saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı  $3,86 \times 10^{26}$  J enerji açığa çıkmakta ve bu enerji ışınım şeklinde uzaya yayılmaktadır. Toplam enerji rezervi  $1,785 \times 10^{47}$  J olan bu yıldız daha milyonlarca yıl ışınmasını sürdüreceğinden Dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyanın çapına eşit bir dairesel alan üzerine

çarpan güneş gücü, 178 trilyon kW düzeyindedir. Güneş enerjisi uzaya ve gezegenlere elektromanyetik ışınım (radyasyon) biçiminde yayılmaktadır. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20000 katıdır (Varınca, 2006). Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılmaktadır.

**Isıl Güneş Teknolojileri:** Bu sistemlerde öncelikle güneş enerjisinden ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirliği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilirliği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir.

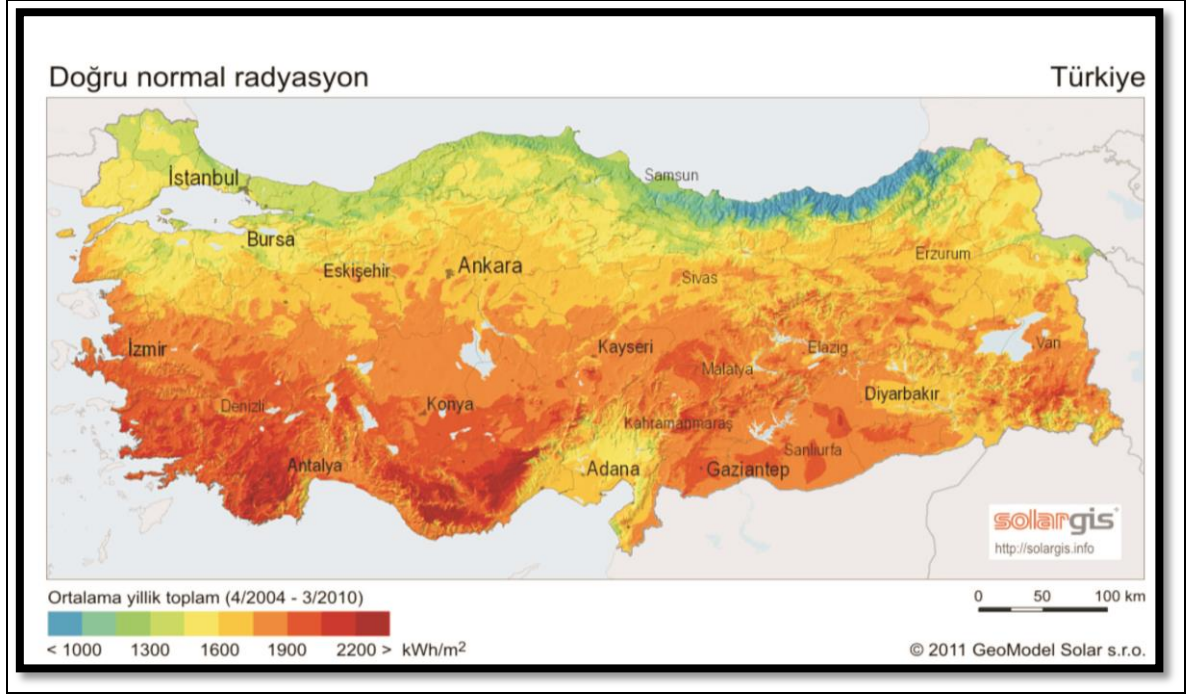
**Güneş Pilleri:** Fotovoltaik piller de denen bu yarı-iletken malzemeler güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirmektedir.

Şekil 1.2'de Dünya'nın küresel yatay radyasyon şekilleri verilmiş olup, özellikle ekvator çevresinde yıllık üretilebilecek enerjinin 2100-2300 kWh/m<sup>2</sup> olduğu görülmektedir.



Şekil 1.2. Dünya'nın küresel yatay radyasyonu (solargis.info)

Şekil 1.3'te de Türkiye doğru normal radyasyon şekilleri verilmekte, Türkiye'nin Dünya'nın orta kuşağında yer alması nedeniyle özellikle güney kesimlerinde üretilebilecek yıllık enerjinin 2200 kWh/m<sup>2</sup>'nin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye doğru normal radyasyonu(solargis.info)

Avrupa Fotovoltaik Endüstrisi Birliği'nin (EPIA) son verilerine göre, 2013 yılında dünya genelinde toplam güneş enerjisi kurulu gücünde 37 GW artışla toplam kurulu güç 137 GW seviyesine ulaşmıştır. Bu durum Türkiye için ise Türkiye elektrik üretim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından yayınlanan verilere göre, 2014 itibari ile toplam 8,5 MW'lık kurulu güçte 38 güneş enerjisi santralının üretim yaptığı bildirilmektedir.

### 1.1.2. Hidrolik Enerji

Hidrolik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden alt seviyelere düşmesi sonucu açığa çıkan enerji, türbinlerin dönmesini sağlamakta ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bir ülkede, ülke sınırlarına veya denizlere kadar bütün tabii akışların %100 verimle değerlendirilebilmesi varsayımına dayanılarak hesaplanan hidroelektrik potansiyel, o ülkenin brüt "Teorik hidroelektrik potansiyel" olarak adlandırılmaktadır. Ancak mevcut teknolojilerle bu potansiyelin tamamının kullanılması mümkün olmadığından mevcut teknoloji ile değerlendirilebilecek azami potansiyele "Teknik hidroelektrik potansiyel" denmektedir.

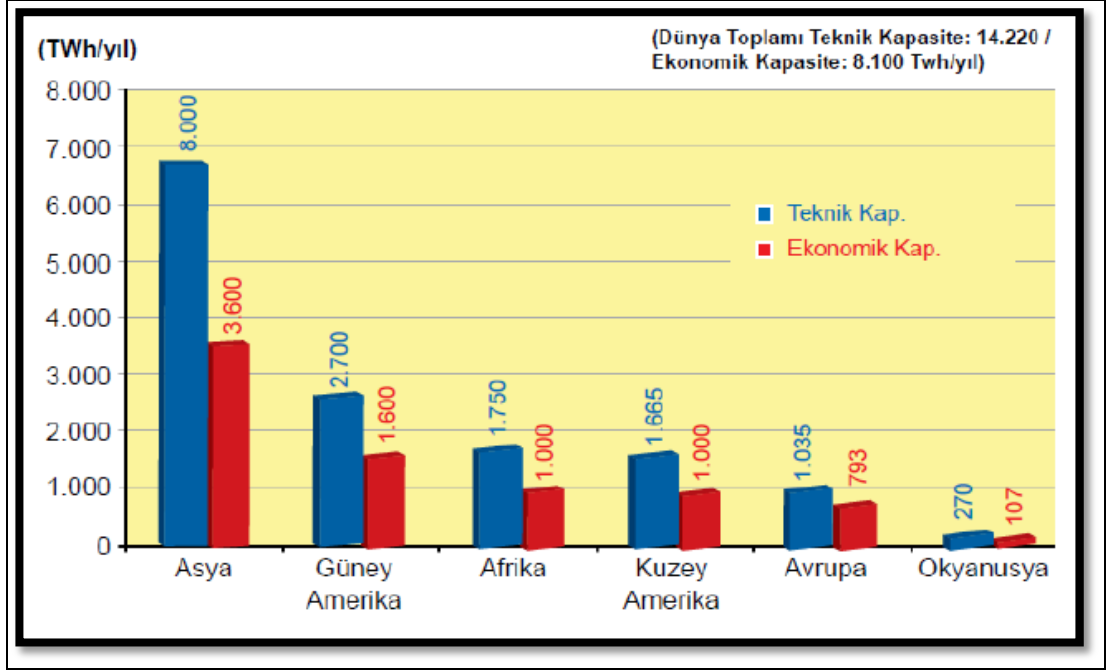


Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli dünya teknik potansiyelinin %1,5'ine, Avrupa teknik potansiyelinin ise %17,6'sına tekabül etmektedir. Türkiye'de teorik hidroelektrik potansiyel 433.000 GWh olup, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216.000 GWh olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de işletmede olan 303 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 17.372 MW ve ortalama yıllık üretimi ise 57.890 GWh olup, bu değer toplam teknik potansiyelin %28,7'sine karşılık gelmektedir (Çevre ve Orman Bakanlığı Hes raporu, 2012). Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan hidro enerji raporunda Türkiye için hidroelektrik potansiyeli Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



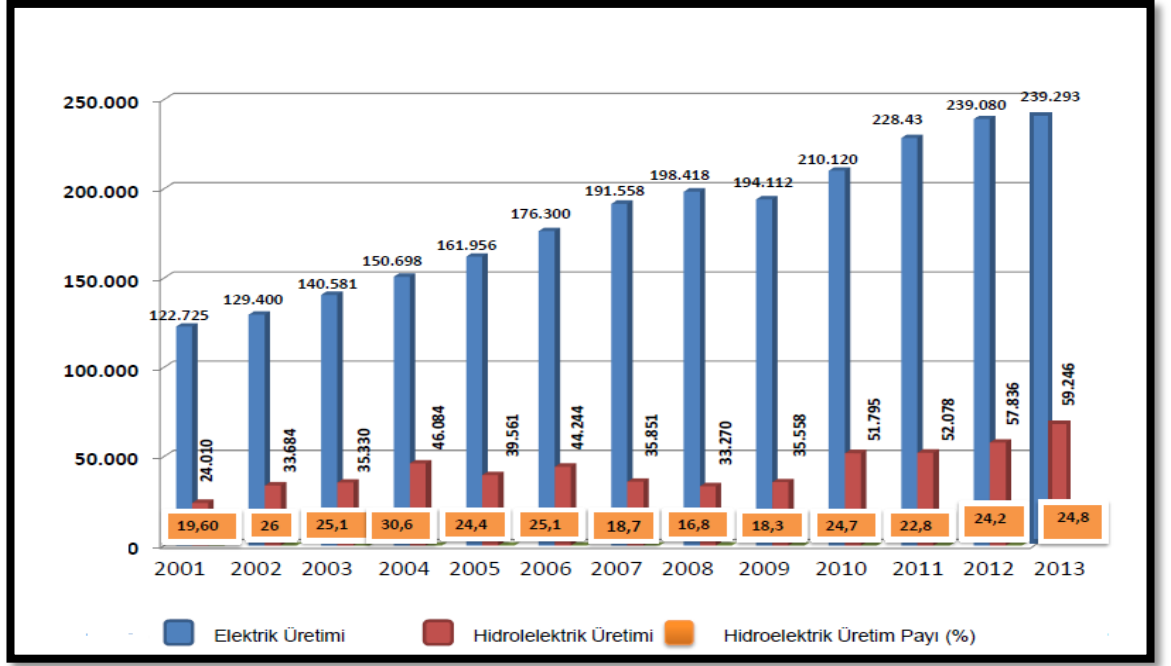
Şekil 1.4. Türkiye için hidroelektrik potansiyel (Çevre ve Orman Bakanlığı Hes raporu, 2012)

Dünya genelinde hidrolük enerjisinin teknik ve potansiyel durumu Şekil 1.5'te verilmiştir olup Dünyada, ABD teknik hidroelektrik potansiyelinin %86'sını, Japonya %78'ini, Norveç %72'sini, Kanada %56'sını, Türkiye ise %28,7'sini geliştirmiştir (Çevre ve Orman Bakanlığı Hes raporu, 2012).



Şekil 1.5. Dünya genelinde hidrolik enerjinin teknik ve potansiyel durumu (Çevre ve Orman Bakanlığı Hes raporu, 2012)

Ülkemizin 2023 vizyonu doğrultusunda, yapılacak hidroelektrik santrali projeleri ile yılda takriben 80000 GWh'lık bir elektrik üretimi sağlanacağı ve mevcut hidroelektrik potansiyelimizin kullanılma oranının takriben %90'a çıkabileceği vurgulanmaktadır (Çevre ve Orman Bakanlığı Hes raporu, 2012). Türkiye'nin 2001 ile 2013 yılları arasındaki kurulu güç gelişimi Şekil 1.6'da gösterilmiş (Turkyılmaz, 2014) olup 2007, 2008, 2009 yıllarında ülkemizde yaşanan kuraklık nedeniyle üretim düşüşü dışında hidrolik enerjiden sağlanan elektrik üretimi her geçen yıl artı yönde değişimler göstermiştir. 2013 yılında ise hidrolik enerjiden üretilen elektrik toplam elektrik üretiminin %24,8'ini sağlayarak en yüksek değerlere ulaşmıştır.



Şekil 1.6. Hidroelektrik üretiminin elektrik üretimindeki payı (GWh) (Turkyılmaz, 2014)

### 1.1.3. Jeotermal Enerji

Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlara “Jeotermal kaynak”, bu kaynaklardan çeşitli şekillerde faydalanmaya imkan veren tüm enerji kaynaklarına da “Jeotermal enerji” denmektedir ([www.jeotermalderneği.org.tr](http://www.jeotermalderneği.org.tr), 2009).

Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2013 yılı Ağustos ayı itibariyle 11.766 MW olup yıllık elektrik üretim miktarı yaklaşık 68.600 GWh olarak gerçekleşmiştir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya olarak sıralanmaktadır. Elektrik dışı kullanım ise 50.000 MW olup Dünya'da jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk beş ülke ise Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya olarak sıralanmaktadır (<http://www.enerji.gov.tr>, 2014).

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer aldığından oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip olan bir ülkedir. Ülkemizin jeotermal potansiyeli teorik olarak 31.500 MW'tır. Ülkemizde potansiyel oluşturan alanların % 79'u Batı Anadolu'da, % 8,5'i Orta Anadolu'da, % 7,5'i Marmara Bölgesinde, % 4,5'i Doğu Anadolu'da ve % 0,5'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral

eldesi v.s.) için uygun olup, % 6'sı ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur. Jeotermal enerjiyle üretilebilecek elektrik potansiyelimiz ise teorik olarak yaklaşık 2.000 MWe olarak tahmin edilmektedir. 2013 yılı sonu itibariyle, EPDK'dan üretim lisansı almış olanlarla birlikte ülkemizin jeotermal elektrik üretim potansiyeli 706,4 MWe'e ulaşmıştır. Bu rakamın 2018 yılı sonuna kadar 1.000 MWe'e ulaşması beklenmektedir. Ülkemizde bugün 13 adet jeotermal enerji santralimiz mevcut olup, kurulu gücümüz 310,8 MWe düzeyine ulaşmıştır. ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), 2014)

#### 1.1.4. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, bir bölümü enerji üretiminde kullanılabilen, biyolojik kökenli, fakat fosil olmayan organik madde kütleleridir. Biyokütle ve diğer organik atıklar; elektrik ve ısı enerjisi üretimi, taşı taraçları için sıvı ya da gaz yakıt üretimi nedeni ile hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde büyük ölçüde kullanılmaktadır.

Dünyada 2012 itibariyle toplamda 352 Terawattsaat'e (TWh) yakın elektrik üretimi gerçekleştiren 77 GW üzerinde biyokütleyle dayalı elektrik enerjisi üretimi kurulu kapasitesi bulunmaktadır. Uluslar arası Enerji Ajansı tahminlerine göre biyokütleyle dayalı elektrik enerjisi üretimi kurulu gücünün 2017 yılında 119 GW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Türkiye'de sadece elektrik üretiminde biyokütle kaynaklarına dayalı kurulu gücün 2002-2013 yılları arasında yüzde 22 büyüyerek 237 MW'a ulaştığı belirtilmektedir. Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası Şekil 1.7'de görülmekte olup, özellikle Akdeniz bölgesinin biyokütle enerjisinin yüksek olduğu ve işletmede olan santrallerin yanında inşaat halinde olan santrallerde gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Türkiye biyokütle enerji potansiyeli atlası (<http://bepa.yegm.gov.tr>, 2014)

## 1.2. Rüzgar Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar, çok eski çağlardan beri yel değirmenleri aracılığı ile su pompalamak için kullanılmaya başlanmış daha sonra hayatın tüm alanlarında enerji elde edilebilecek bir kaynak olarak kullanılmaya devam etmektedir.

Rüzgar, güneş radyasyonunun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanmakta olup yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olmaktadır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin ancak % 2'si rüzgar enerjisine çevrilmiştir. Rüzgarın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik göstermektedir. Rüzgar hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilmektedir. Rüzgar hızı yükseklikle artmakta iken teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişmektedir. Rüzgar enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında rüzgar enerjisinin üstünlükleri genel olarak ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), 2014);

- ✓ Atmosferde bol ve serbest olarak bulunur.
  - ✓ Yenilenebilir, temiz ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır.
  - ✓ Maliyeti günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeydedir.
  - ✓ Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür.
  - ✓ Hammaddesi tamamıyla yerlidir, dışa bağımlılık yaratmaz.
  - ✓ Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
  - ✓ İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleştirilebilir.
- şeklinde tanımlamak mümkün olmaktadır.

Rüzgar enerjisinin gerekliliğini ve önemini daha iyi anlaşılabilmesi için mevcut durumun kısa analizini oluşturmak gerekmektedir. Gerek Dünya gerek Türkiye için yaygınlaştırılması elzem olan bu enerji kaynağının üzerindeki araştırma çalışmalarının gün geçtikçe artması, konumlandırma ve enerji eldesi süreçleri, maliyet ve sistem çıktıları; teknolojinin gelişimi ile daha önemli hale gelmiştir. Hal böyleyken rüzgar enerjisinin durum değerlendirilmesinin uygun her bölge için ayrı ayrı gerçekleştirilmesi ve potansiyelinin hesaplanması, bu enerjinin ne kadarının optimum kullanımının olduğunu gözler önüne serecektir.

### 1.2.1.Dünya için Rüzgar Enerjisi

Dünya üzerinde kara ve denizlerde olmak üzere rüzgar hızının 5 m/s'nin üstünde olduğu 10 m yükseklikteki bölgeler için yapılan incelemelerde rüzgar enerjisi potansiyelinin yaklaşık olarak 500.000 TWs/yıl (terrawatt saat/yıl) olduğu hesaplanmıştır (Michalak, 2011). Ancak, bu potansiyelin, gerek denizlerin büyük bölümüne rüzgar türbinin kurulamaması, gerekse karasal bölgelerde her kesimin teknik olarak kullanılamamasından dolayı çok küçük bir kısmı kullanılabilir.

2013 yılı Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği'nin (WWEA) yarı yıl raporuna göre; kurulu güç bakımından ilk 10 ülke sıralaması Çizelge 1.1'de verilmiş olup Çin 91424 GW ile birinci sırada yer alırken ABD ve Almanya sırasıyla 61009 GW ve 34250 GW ile ikinci ve üçüncü sırada yer almaktadır. Dünya'nın toplam kurulu gücü ise 318137 GW olmuştur. Türkiye'de ise mevcut 3,300 GW kurulu gücü kapasitesi ile Dünya ülkeleri arasında onbeşinci sırada yer almaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde, rüzgar türbin kurulu gücü payının en yüksek olduğu üç Avrupa ülkesi ise Almanya, İspanya ve İngiltere şeklinde sıralanmakta olup Türkiye mevcut kurulu gücü itibari ile Polonya'dan sonra onuncu sırada yer almaktadır.

Dünya rüzgar türbin kurulu gücü sunumuna göre toplam kapasitenin 2015 yılında 600 GW, 2020 yılında 1500 GW'dan fazla olacağı öngörülmektedir (WWEA, 2013).

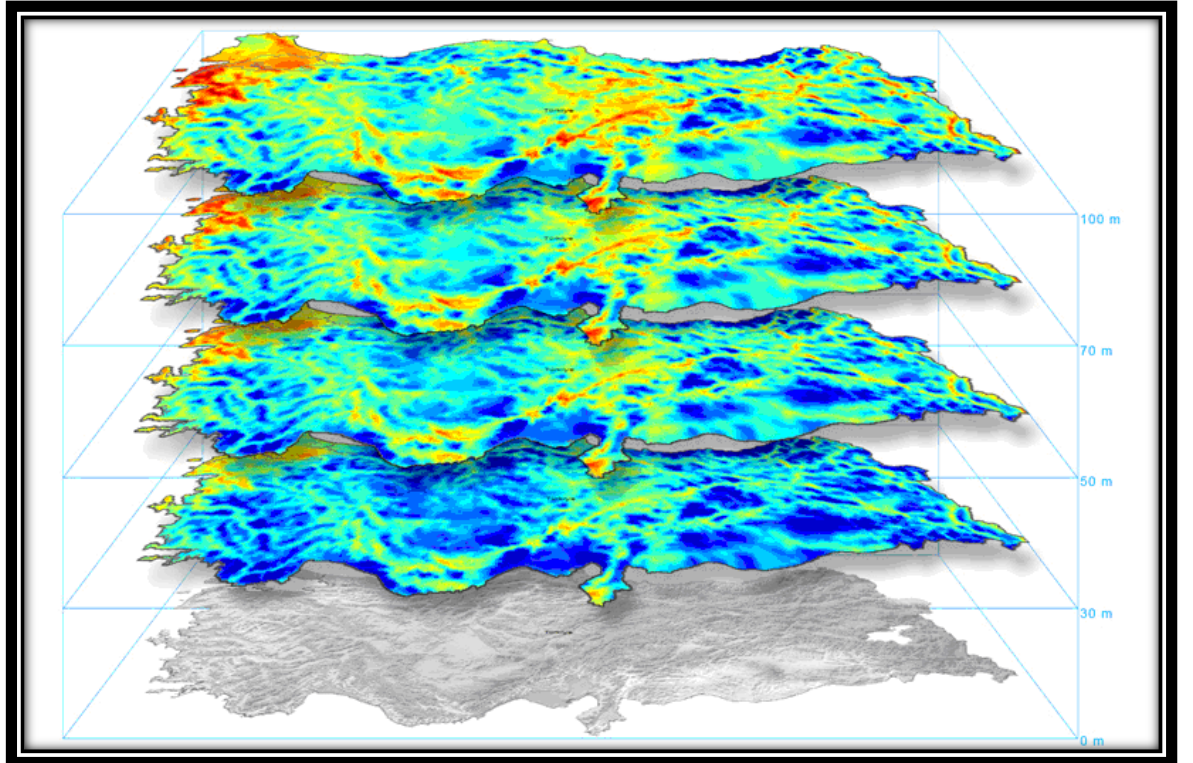
Çizelge 1.1. Ülkelerin kurulu güç kapasiteleri (WWEA raporu, 2014)

	Ülke	2013 Yılı Toplam Kapasite (MW)	Dünya Geneli %
1	Çin	91424	28,7
2	ABD	61009	19,2
3	Almanya	34250	10,8
4	İspanya	22959	7,2
5	Hindistan	20150	6,3
6	İngiltere	10531	3,3
7	İtalya	8552	2,7
8	Fransa	8254	2,6
9	Kanada	7803	2,5
10	Danimarka	4772	1,5
<b>15</b>	<b>Türkiye</b>	<b>3300</b>	<b>1</b>
	<b>Toplam</b>	<b>273085</b>	<b>85,8</b>

### 1.2.2. Türkiye için Rüzgar Enerjisi

Türkiye özellikle 2000’li yılların başıyla kendi rüzgar enerjisi potansiyelinin kullanılabilirliğinin farkına varıp, bu alanda yapılacak yatırımları hem özel hem de devlet teşvikleriyle desteklemiştir. Bunun sonucunda yıllar içerisinde rüzgar enerji santrallerinin sayısı artmış 2000’li yıllarda 18,9 MW olan kurulu gücü 2013 yılı sonu itibari ile 3.300 MW seviyelerine yükselmiş ve kendi kendine yeten Türkiye 2023 vizyonunda rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW olması hedeflenmektedir ([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), [www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014).

Bu bağlamda, Türkiye’nin neredeyse her yerinde rüzgar potansiyeli araştırmaları yapılarak Şekil 1.8’de görüleceği üzere rüzgar enerji potansiyeli atlası (REPA) oluşturulmuştur.

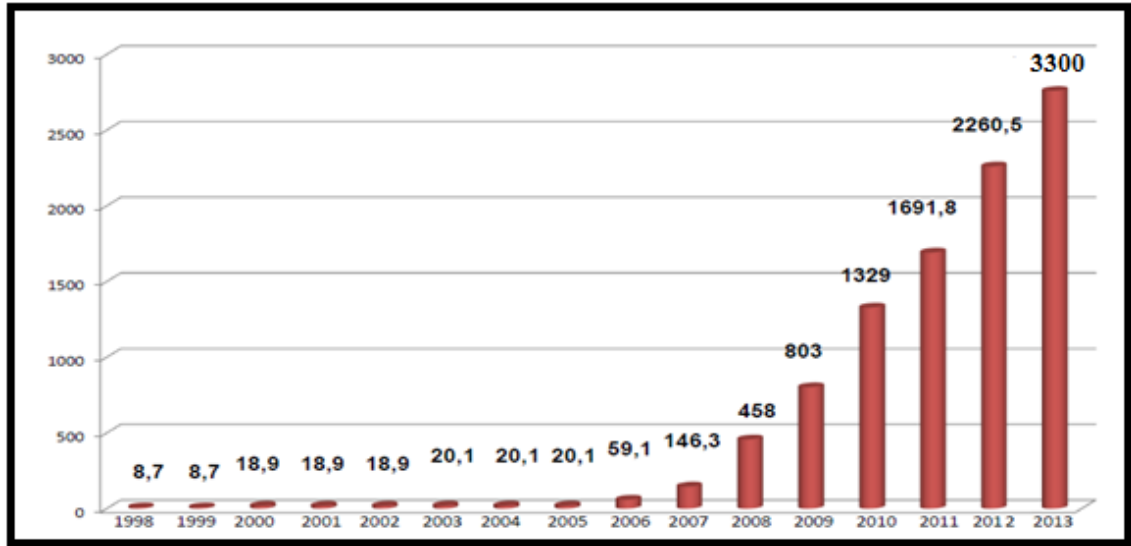


Şekil 1.8. Türkiye rüzgar enerjisi haritası ([www.meteoroloji.gov.tr](http://www.meteoroloji.gov.tr), 2013)

Türkiye rüzgar enerjisi açısından 83.000 MW’lık bir teknik potansiyelinin, kullanılabilir potansiyelin ise 40.000 MW’e sahip olduğu ifade edilmektedir (Çizelge 1.2). Ülkemiz sahip olduğu bu teknik potansiyel ile birçok Avrupa ülkesini geride bırakmaktadır (Erduman, 2011).

Çizelge 1.2. Bazı Avrupa ülkelerinin rüzgar enerji potansiyelleri (Erduman, 2011)

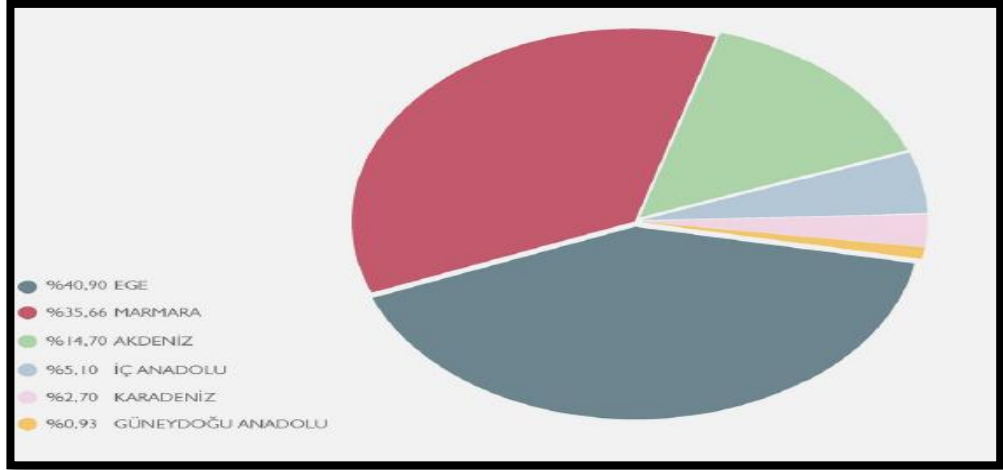
Ülke	Yüz Ölçümü (1000 km <sup>2</sup> )	Teknik Potansiyel (GW)
Avusturya	84	2
Bulgaristan	31	2
Danimarka	43	14
Fransa	547	42
Almanya	357	12
İngiltere	244	57
Yunanistan	132	22
İrlanda	70	22
İtalya	301	35
İspanya	505	43
<b>Türkiye</b>	<b>781</b>	<b>83</b>



Şekil 1.9.2014 Ocak ayı itibari ile Türkiye’de rüzgar enerjisi kurulu gücü  
([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), 2014)

İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre yüzdesel dağılımı Şekil 1.10’da verilmektedir. Türkiye’nin coğrafi bölgelerine göre rüzgar enerji santrallerine kurulu gücü bakımından kıyaslanacak olunur ise % 41’lik gibi büyük bölümle Ege bölgesinin birinci sırada olduğu görülmektedir. Ege bölgesini %35,66 ile Marmara, %14,70 ile Akdeniz, % 5,10 ile İç Anadolu, %2,70 ile Karadeniz ve son olarak %0,93 ile Doğu Anadolu bölgesi izlemektedir.





Şekil 1.10. İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından bölgelere göre yüzdesel dağılımı ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014)

Son dönemlerde ülkemizin verdiği teşvik ve enerji sektörüne olan ilgisi sayesinde rüzgar enerji kurulu gücünün ülkemiz toplam enerji üretimindeki payının 2000’li yıllarda yaklaşık % 0,1 seviyesinden 2014 yılı Temmuz ayında %4,63’e yükseldiği görülmektedir ([www.enerjiensitüsü.com.tr](http://www.enerjiensitüsü.com.tr), 2014).

### 1.2.3.Hatay için Rüzgr Enerjisi

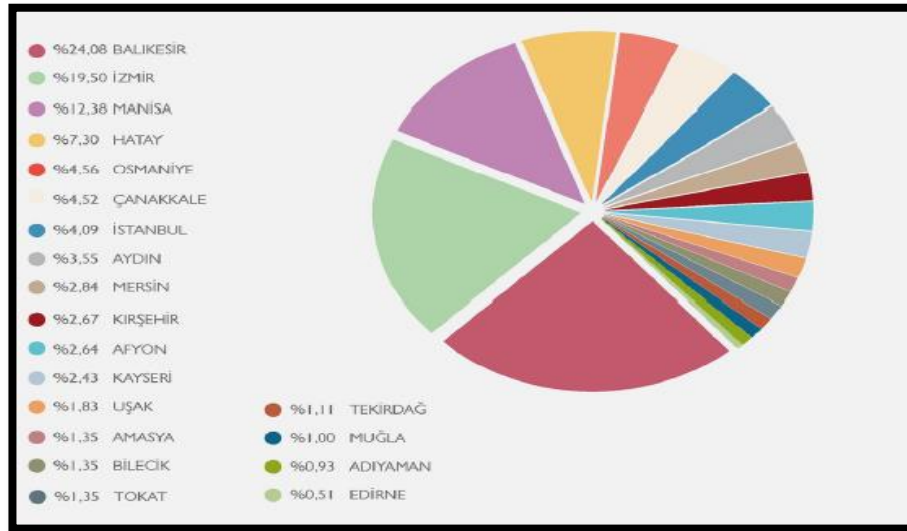
Hatay İli, merkezi Antakya 36°10' kuzey enlemi ve 36°06' doğu boylamı ile ülkemizin en güneyinde, İskenderun körfezinin doğu kıyılarında yer alır. Batıdan Akdeniz, güney ve doğudan Suriye, kuzeybatıdan Adana, kuzeyden Osmaniye ve kuzeydoğudan Gaziantep ile çevrilidir. Akdeniz iklim bölgesinin doğu ucunda kıyından 22 km. kadar içerde olan kentin denizden yüksekliği 85 m.dir.

Kuzeyde Amanos Dağları (Nur Dağları) ile güneyde Kel Dağ (Cebel-i Akra) arasında kalan, Aşağı Asi Vadisi'nin başlangıcında Kel Dağı'nın kuzeydoğusunda 440 m. rakımlı Habib-i Neccar Dağı'nın eteklerindedir. Kentin kuzeydoğusuna doğru gelişen ve Hatay çöküntü alanının ortasında yer alan Amik Ovası zirai potansiyeli çok yüksek kalın bir alüvoyal Toprak tabakası ile kaplı olup aynı zamanda ilin en büyük toprak düzlüğünü oluşturmaktadır.

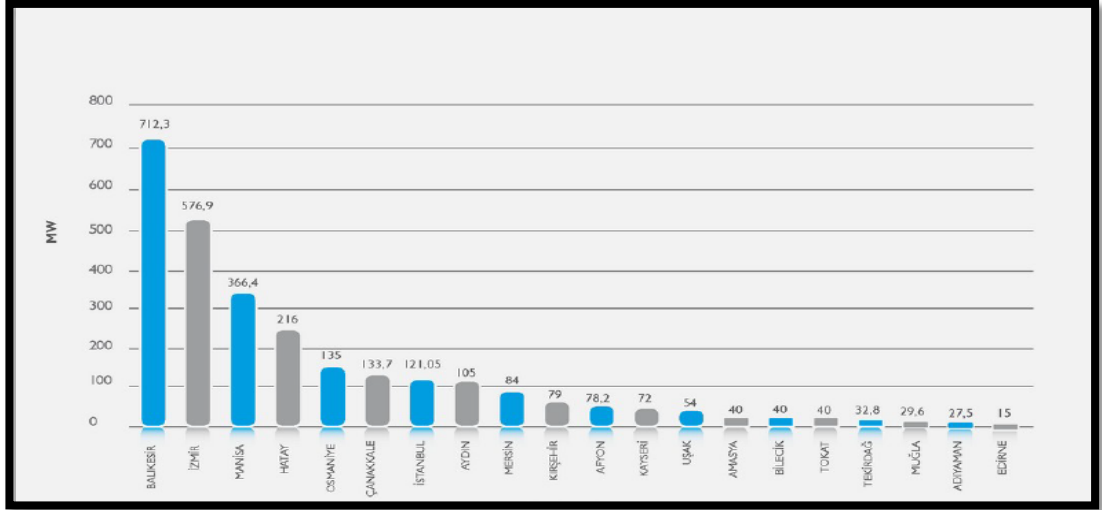
Türkiye’de Hatay bölgesinde, 6 m/s’ye ulaşan rüzgar hızları ve yılın 300 günü istikrarlı bir şekilde bu rüzgarın esmesi, rüzgar türbinleri için en ideal ortamı

oluşturmaktadır (Bilgili, 2004). Bunun yanı sıra Hatay bölgesinin yüksek rüzgar potansiyeli hem bölge kalkınması, hem de ülke ekonomisi için araştırılıp değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Türkiye’de işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı Şekil 1.11’de ve kurulu güç bakımından illere göre dağılımı Şekil 1.12’de verilmektedir ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014). Hatay ili işletmede olan rüzgar enerji santralleri bakımından 216 MW kurulu gücü %7,30’luk bir dilime karşılık gelerek 712,3 MW kurulu güç ile Balıkesir (%24,06), 576,9 MW kurulu güç ile İzmir (%19,5) ve 366,4 MW kurulu güç ile Manisa (%12,38)’dan sonra dördüncü sırada gelen il konumundadır. Şekil 1.11 ve Şekil 1.12’den de görüldüğü üzere bu durum Hatay ilinin rüzgar enerji potansiyelinin kullanılabilirlik açısından çok elverişli bir konuma sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 1.11. İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014)



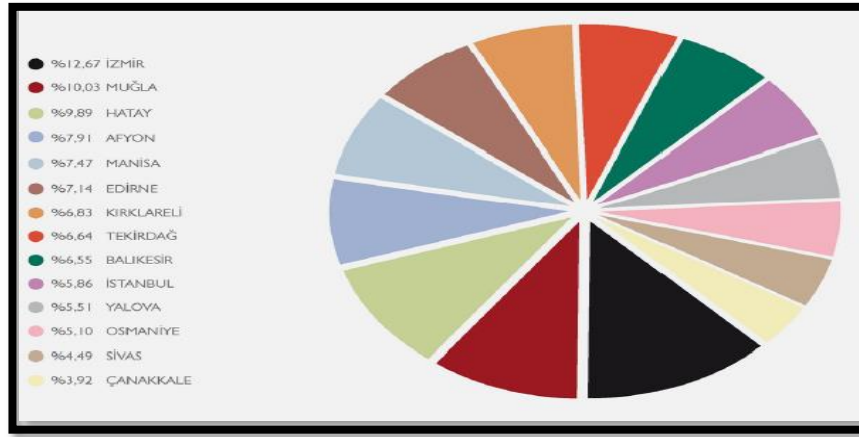
Şekil 1.12. İşletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından illere göre dağılımı ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014)

Bölgede kurulu olarak bulunan rüzgar enerji santrallerine değinilecek olursa, Belen rüzgar enerji santralinde toplamda 14 adet türbinle 48MW'lık kurulu güce güce sahiptir. Bunun dışında Samandağ Ziyaret rüzgar enerji santrali 65 MW, Sebenoba rüzgar enerji santrali 34 MW, Şenköy rüzgar enerji santrali 27 MW, Şenbük rüzgar enerji santrali 42 MW, toplamda 216 MW'lık beş adet rüzgar enerji santrali ile bölgede rüzgardan enerji üretimini gerçekleştirmektedir ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr)). Şekil 1.13.'de Samandağ Ziyaret rüzgar enerji santralinin bir kısmı gösterilmektedir.

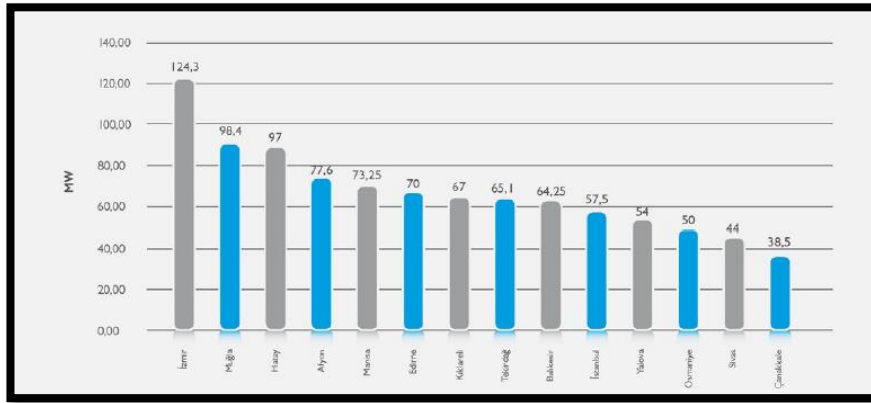


Şekil 1.13. Hatay bölgesindeki rüzgar enerji santralleri ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014)

Ülkemizde inşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı Şekil 1.14’de, güç bakımından illere göre dağılımı Şekil 1.15’de verilmektedir ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014). Hatay ili rüzgar enerjisi potansiyelinin bu denli yüksek olması hem bölgede faaliyet gösteren firmaların yatırımlarını arttırmasına hem de başka firmaların bölgeye rüzgar enerji santralleri inşa girişimlerine sebep olmuştur. Bu bağlamda Hatay ili inşa halindeki rüzgar enerji santralleri bakımından, ülkemizde bu alanda % 9,89’luk bir dilimle (97 MW); % 12,67 (124,3MW) ile İzmir ve % 10,03 (98,4 MW) ile Muğla’dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır.



Şekil 1.14. İnşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin güç bakımından illere göre yüzdesel dağılımı ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014)



Şekil 1.15. İnşa halinde olan rüzgar enerji santrallerinin güç bakımından illere göre dağılımı ([www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), 2014)

Bu çalışmada ise, Meteoroloji Müdürlüğü’nden alınan 2012 yılı Antakya Havaalanı bölgesi rüzgar hızı verileri kullanılarak bu bölgenin rüzgar enerji potansiyeli ve karakteristiği incelenmiştir. Havaalanının bulunduğu bölge WASP (Wind Atlas

Analyses and Application Program) programı ile simule edilerek bölgenin rüzgar haritası çıkarılmıştır. Ölçüm yapılan istasyon ve kurulacak rüzgar santral çevresi pürüzlülük değerleri, çevre yapı bilgileri programa girilmiştir. Öncelikle rüzgar enerji potansiyeli hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için bir rüzgar türbini seçilmiş ve rüzgar karakterisitği Wasp programı ile irdelenmiştir. Akabinde ve detayında dikey ve dağınık rüzgar türbin çiftlikleri oluşturularak bölgenin teknik analiz sonuçları irdelenmiş ve rüzgar hızı, rüzgar oluşma sıklığı (frekans), güç yoğunluğu ve yıllık üretilecek toplam enerji miktarları hesaplanmıştır

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Rüzgar enerji karakteristiğinin incelenmesinde Dünya’da ve ülkemizde bilim insanı araştırmalarını bölgesel olarak ölçülen meteorolojik rüzgar verilerinden yararlanıp yapmışlardır. Bu araştırmalar ise hem matematiksel model hem de WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program), WindPro ve RetScreen gibi paket programlar vasıtasıyla simule edilerek desteklenmiştir.

Koç ve ark., (1999), Ayvalık Bölgesinin rüzgar enerji potansiyelini 1990–1996 yılları arasında meteorolojik veriler dahilinde incelemiştir. Çalışmaları sonucunda etkin rüzgar yönünün kuzey-kuzeydoğu bölgesi olduğunu ve ortalama rüzgar hızının 50 m de 4,5 m/s olduğu belirtmişlerdir. Bu veriler dahilinde bölgenin elektrik enerjisi üretebilecek bir rüzgar potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Şahin ve ark., (2005), Türkiye’nin enerji ihtiyacının artması ve yer altı fosil kaynaklarının çevresindeki ülkelere göre çok daha az olmasının ülkemizin enerji politikasını alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına çevirdiğini belirtmişlerdir. Bu alanda ise en önemli yenilenebilir enerji kaynağının rüzgar enerjisi olduğu vurgulanmıştır. Özellikle Akdeniz bölgesinin doğusu göz önüne alındığında birçok yerde 6 m/s’den yüksek rüzgar hızlarının ölçülmesi bu bölgede kurulacak rüzgar türbinlerinin ülke ekonomisine üst seviyelerde katkı yapacağı belirtilmiştir.

Özgür ve Köse, (2007), Dumlupınar Üniversitesi yerleşkesinin rüzgar potansiyel analizini Temmuz 2001 ve Haziran 2004 arasında 36 aylık meteoroloji verilerini kullanarak yapmışlardır. Sonuç olarak etkin rüzgar yönünü Doğu, ortalama hız ise 4,80 m/s, bölgenin enerji üretim miktarının yıllık 1.908.100 MWh olacağı hesaplanmıştır.

İmal ve ark., (2012), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi kampüs alanının rüzgar enerji potansiyelini Ekim-2010 ve Nisan-2012 arası 19 ay boyunca meteorolojik verilerle incelemiştir. Erkin rüzgar yönünün kuzey-batı olduğu ve ortalama rüzgar hızının 4,82 m/s olduğu belirtilmiştir. WAsP programı yardımıyla bölgenin güç yoğunluğu 87 W/m<sup>2</sup> olduğu hesaplanmıştır.

Demirci ve ark., (2009), Ondokuz Mayıs Üniversitesi yerleşkesinde rüzgar enerji potansiyelini Ağustos 2008 ve Mayıs 2009 arasında yerleşke içine kurulan 10 m yüksekliğindeki anemometreden 8 aylık verileri kullanarak gerçekleştirmiş, etkin rüzgar yönünün Kuzey, ortalama rüzgar hızının ise 3,42 m/s olduğunu tespit etmişlerdir. Bu

bulgulara dayanarak yerleşkenin güç yoğunluğunun  $100 \text{ W/m}^2$  olduğunu hesaplamışlardır.

Köse ve ark., (2011), Konya bölgesi rüzgar enerjisi potansiyelini araştırmak üzerine yaptıkları çalışmada, Şelçuk Üniversitesi Alaadin Keykubat Kampüsü bölgesinde 40 metre yüksekliğinde bir ölçme sistemi ile 2004 – 2007 yılları arası yapılan ölçümlerden yararlanmışlardır. Bu ölçümlerin sonucunda etkin rüzgar yönünün kuzey batı, ortalama rüzgar hızının ise  $6,01 \text{ m/s}$  olduğu tespit edilmiş, bölgenin güç yoğunluğunun yıllar bazında  $290\text{--}310 \text{ W/m}^2$  arasında değiştiği belirtilmiştir.

Yıldırım ve ark., (2012), Niğde Bölgesinde yaptıkları araştırmalarda Niğde ve Ulukışla Meteoroloji İstasyonlarında Ocak 2008 ile Aralık 2009 tarihleri arasında 10 metre yükseklikte ölçülmüş saatlik hız verileri kullanmışlardır. Verilerin Weibull dağılımı modellenmesi sonucunda, rüzgar hızlarının  $2,5$  ile  $4 \text{ m/s}$  arasında değiştiği, güç yoğunluğunun ise  $15$  ile  $25 \text{ W/m}^2$  arasında dalgalandığı belirtilmiştir.

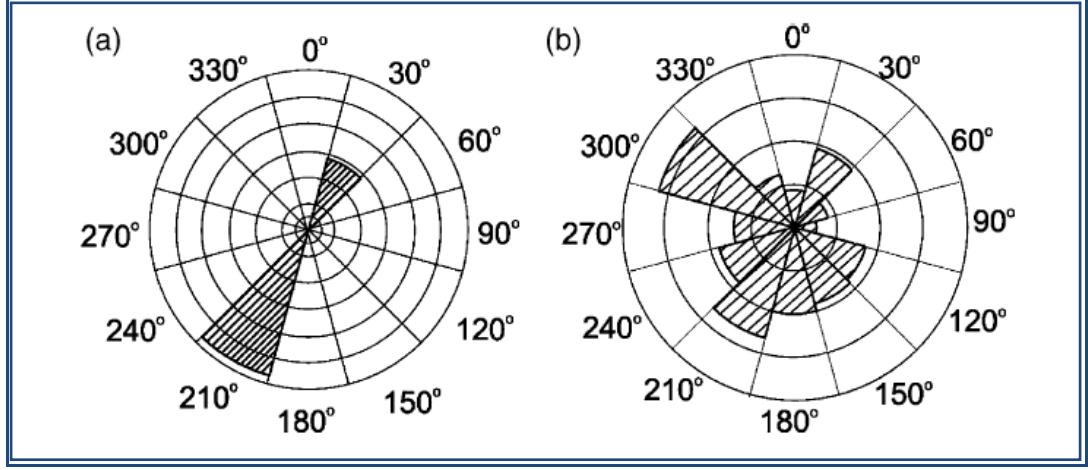
Yanıktepe ve ark., (2012), Osmaniye bölgesi rüzgar karakteristiğini, Ocak 2008 ve Ağustos 2011 yılları arasındaki meteorolojik veriler kullanarak gerçekleştirmişler ve 44 aylık verilerin ortalama hızı  $2,21 \text{ m/s}$ , ortalama güç yoğunluğu ise  $24,5 \text{ W/m}^2$  olarak bulmuşlardır.

Özgür (2006), Kütahya bölgesi rüzgar karakteristiğini, Temmuz 2001 ile Haziran 2004 arası 36 aylık rüzgar verileri kullanarak gerçekleştirmiş araştırma sonucunda etkin rüzgar yönü Kuzey, ortalama rüzgar hızı ise  $4,80 \text{ m/s}$  olarak bulmuş ve bölgenin güç yoğunluğu  $67,73 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplamıştır.

Tağıl ve ark., (1998), Sinop ve çevresinde rüzgar enerji potansiyelinin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada da, 1990–1996 yılları arasında 72 aylık meteorolojik veriler kullanılmış, bu veriler ışığında etkin rüzgar yönünün kuzey-kuzeybatı olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı veriler için ortalama rüzgar hızı  $2,9 \text{ m/s}$ , güç yoğunluğu ise  $56 \text{ W/m}^2$  olarak bulunmuştur.

Bilgili ve ark., (2004), Antakya ve İskenderun Bölgesinde yaptıkları araştırmada, 1997-2001 yılları arasındaki meteorolojik verilerden yararlanmışlardır. Bu veriler ışığında her iki bölgenin de ortalama hızlarının  $5\text{--}7 \text{ m/s}$ , güç yoğunluklarının ise her alanda  $300 \text{ W/m}^2$ 'nin üzerinde, bazı alanlarda ise  $700 \text{ W/m}^2$  ye çıktığı tespit edilmiştir. Elde edilen rüzgar gülü hesaplamaları Şekil 2.1'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Antakya bölgesinde etkin rüzgar yönü tek taraflı olarak güney-batı yönünden eserken,

İskenderun bölgesinde etkin rüzgar yönü kuzey-batı yönünde baskın olmak üzere çeşitlilik göstermektedir.



Şekil 2.1. Rüzgar gülleri (a) Antakya bölgesi (b) İskenderun bölgesi (Bilgili,2004)

Özerdem ve Türkeli, (2004), İzmir Teknoloji Üniversitesi kampüs alanını 16 ay boyunca incelemiştir. Etkin rüzgar yönü Kuzey ve ortalama hızın 7.03 m/s olarak bulunduğu bu çalışmada, bölgenin enerji potansiyeli 1224 MWs/yıl olarak hesaplamışlardır.

Dahbi ve ark., (2013), Cezayir'in Sahara Bölgesinde yaptıkları araştırmada bir yıllık meteorolojik verilerden yararlanarak, Weibull dağılımı ile rüzgar potansiyelini incelemiştir. Bölgenin ortalama rüzgar hızının 5,43 m/s, güç yoğunluğunun ise 231 W/m<sup>2</sup> olduğunu hesaplamışlardır.

Lashin ve ark., (2012), Mısır'da bulunan Said Limanı'nın rüzgar potansiyelini incelemek için araştırma yapmışlardır. Bu araştırmalarında 1991 ile 2005 arasında meteoroloji verilerini kullanmışlardır. Bu verilere weibull dağılımını uygulayarak, 50 m yükseklikteki ortalama hızı 5,8 m/s, ortalama güç yoğunluğunu ise 92 W/m<sup>2</sup> bulmuşlardır.

Aman ve ark., (2013), Karachi Bölgesi üzerinde yoğunlaşmıştır. 2002-2005 yılları arasında alınmış, üç senelik meteoroloji verilerinden yararlanmışlardır. Rüzgar dağılım fonksiyonlarına bu verilerin uygulanması sonucunda ise ortalama rüzgar hızının 7 m/s' den yüksek, güç yoğunluğunu ise 221 W/m<sup>2</sup> olduğunu belirtmişlerdir.



Hassan ve ark., (2009), 1971 ile 2000 arasındaki meteorolojik veriler ile Kanada'da bulunan 21 adet havaalanının rüzgar karakteristiğini incelemişlerdir. Havaalanı bölgelerinin yıllık üretilebilecek güçlerinin 344 kWh ile 884 kWh arasında, ortalama rüzgar hızlarının ise 10 m yükseklik için 4 m/s ile 6,5 m/s arasında değiştiğini hesaplamışlardır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

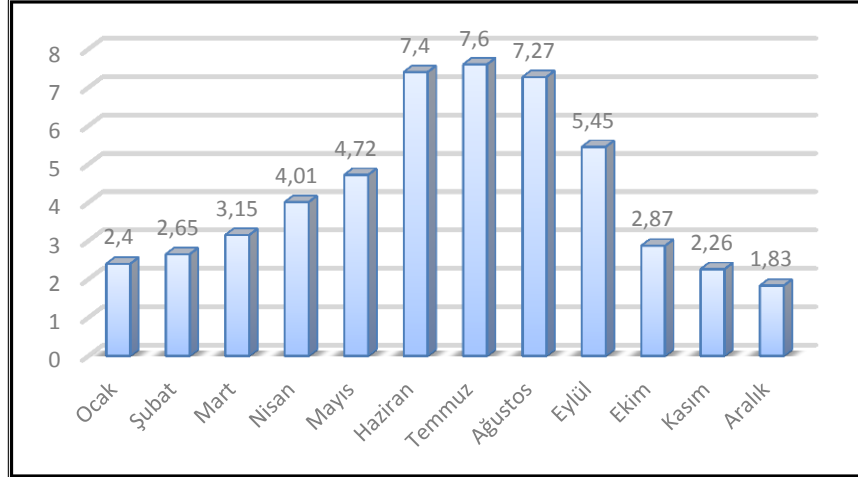
##### 3.1.1. Hatay Havaalanı Bölgesi

Hatay havaalanı 2007 yılında faaliyete geçirilmiş, 36°22'20" Kuzey, 36°17'55" Doğu koordinatlarında, 8 m rakımlı ve 43.688 m<sup>2</sup>'lik alana sahip bir bölgede yer almaktadır. Havaalanı coğrafik yapı olarak, batıdan kuzeydoğu-güneybatı uzanışlı Amanos Dağları, doğudan Amik ovası, güneyden Kuseyr Platosu'yla sınırlandırılmış olup, yaklaşık düz bir alana sahiptir. Ölçüm yapılacak bölgede rüzgara engel olacak herhangi bir olgu bulunmamaktadır. Şekil 3.1'de Google Earth programından alıntılanan harita gösterilmiştir. Bununla birlikte YEGM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü) tarafından hazırlanan Hatay ili Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



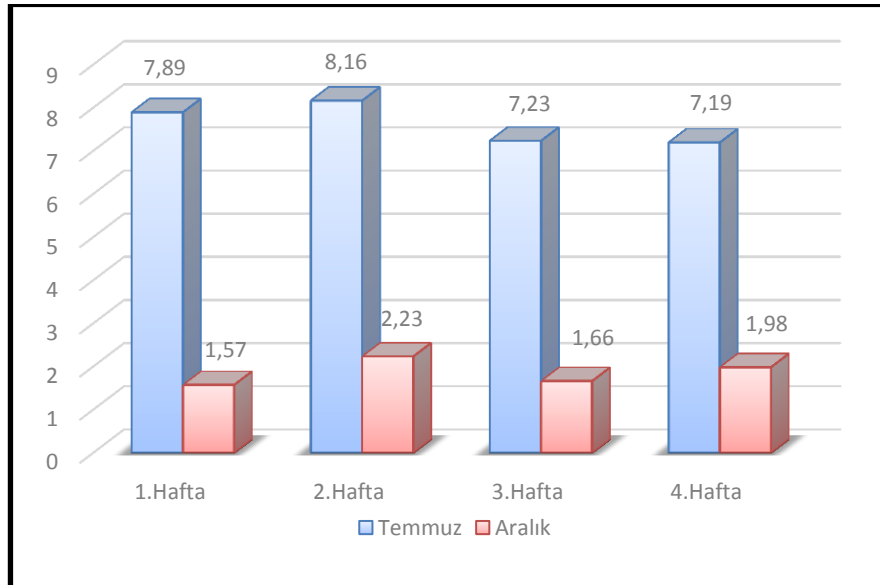
Şekil 3.1. Hatay havaalanı topoğrafik haritası





Şekil 3.3. Aylık ortalama rüzgar değerleri grafiği

Havaalanı bölgesindeki Temmuz ve Aralık aylarının haftalık ortalama rüzgar hızları Şekil 3.4’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yılın en fazla rüzgar alan ayı olan Temmuz ile en az rüzgar alan Aralık ayı dönemleri haftalık bazda karşılaştırılmıştır. Temmuz aylarında ortalama rüzgar hızlarının 7,19 m/s ile 8,16 m/s arasında değiştiği, Aralık ayında ise ortalama rüzgar hızlarının 1,57 m/s ile 2,23 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.4. Temmuz ve Aralık aylarının haftalık ortalama rüzgar hızları

### 3.2. Yöntem

Hatay havaalanı rüzgar enerji potansiyeli hesaplanmasında kullanılacak olan metodolojinin matematiksel ve simülasyon olguları iki başlık altında incelenecektir. Bunlardan ilki konunun kapsamını ve matematiksel tabanını oluşturan istatistik matematik verileri ile hesaplanan olasılık yoğunluk dağılımlarının anlatımını oluşturacaktır. İkinci başlıkta ise WAsP programı ile kullanılan matematiksel verilerle oluşturulan simülasyon metodunun uygulanması ve kullanılması üzerinde yoğunlaşmıştır.

#### 3.2.1. Olasılık Yoğunluk (Weibull ve Rayleigh) Fonksiyonları

Olasılık yoğun fonksiyonları binlerce olan meteorolojik veriyi gün, ay ve yıl bazlı sabitlere çevirerek hesaplamalarımızda kolaylık sağlamaktadır. Rüzgar hızını dağılımının belirlenmesinde Weibull, Rayleigh, Log-normal ve gamma dağılımları bulunmaktadır. İki parametrelili Weibull dağılımı ve Weibull'un şekil parametresinin 2 olduğu durum olan Rayleigh dağılımları rüzgar enerji potansiyelinin hesaplanmasında en yaygın kullanılan dağılımlardır. Rayleigh dağılımı tek parametrelili olduğu için Weibull'a göre daha az esnek olup parametrelerinin hesaplanması daha kolaydır. Ayrıca, yıllık ortalama rüzgar hızının 4,5 m/s'den büyük olduğu durumda, rüzgar hızı dağılımının Rayleigh dağılımına yaklaştığı bilinmektedir. Bu çalışmada, ortalama rüzgar hızı 4,5 m/s'den küçük ölçüldüğü için Weibull dağılımının daha uygun olduğu değerlendirilmiştir (Cliff, 1977).

Rüzgar hızı için iki parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonunun  $f_w(v)$  genel ifadesi Eşitlik 3.1'de belirtilmiştir;

$$f_w(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (3.1)$$

Weibull dağılımının ölçek parametresi olan  $c$ , aynı zamanda rüzgar verilerinde referans bir değere sahiptir.  $k$  şekil parametresinin genellikle 1,5 ile 3 değerleri arasında olması beklenmektedir (Akpınar, 2004).

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu  $F_w(v)$  Eşitlik 3.2’de gösterilmiştir;

$$F_w(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (3.2)$$

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir  $v$  değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir.

Rayleigh yoğunluk fonksiyonu  $f_R(v)$  aşağıdaki Eşitlik 3.3 ile verilmektedir;

$$f_R(v) = \left(\frac{2v}{c^2}\right) \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (3.3)$$

Rayleigh kümülatif dağılım fonksiyonu  $F_R(v)$  Eşitlik 3.4;

$$F_R(v) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (3.4)$$

ortalama rüzgar hızı ile dağılımın belirlenmesidir. Rayleigh dağılımının rüzgar çalışmalarında geçerliliği pek çok referansta gösterilmiştir (Akpınar, 2004; Gülersoy, 2010; Bilgili, 2009). Bu çalışmada, Weibull ve Rayleigh dağılımların parametrelerinin bulunmasında en küçük karalar metodu kullanılmıştır (Genç, 2005; Swain, 1988).

Ortalama rüzgar hızı ( $v_m$ ) ve rüzgar hızının standart sapması ( $\sigma$ ), sırasıyla Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6 eşitliklerinden hesaplanır.

$$v_m = c\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (3.5)$$

$$\sigma = \sqrt{c^2\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]} \quad (3.6)$$

Burada,  $\Gamma$  gamma fonksiyonunu ifade etmektedir.

Weibull dağılımına dayanarak, en büyük sıklığa sahip rüzgar hızı  $v_{\text{mod}}$  Eşitlik 3.7 eşitliğinden hesaplanır.

$$v_{\text{mod}} = c\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (3.7)$$

Maksimum rüzgar hızı Eşitlik 3.8 (Cheng, 1983) ;

$$v_{\text{max}E} = c\left(\frac{k+2}{k}\right)^{1/k} \quad (3.8)$$

Yukarda ifade edilen formüllerde  $k=2$  alındığında Rayleigh dağılımı için hesaplamalar gerçekleştirilmektedir.

### 3.2.2. Rüzgar Gücünün Yoğunluk Fonksiyonu ve Ortalama Güç Yoğunluğu

Ortalama rüzgar gücü yoğunluğu  $P_m$  en genel halde Eşitlik 3.9 hesaplanmaktadır.

$$P_m = \int_0^{\infty} P(v) f(v) dv \quad (3.9)$$

Weibull dağılımı için ortalama güç yoğunluğu  $P_w$ , Eşitlik 3.10'dan;

$$P_w = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (3.10)$$

burada,  $\rho$  , havanın yoğunluğunu ifade etmektedir..

Rayleigh dağılımı için ortalama güç yoğunluğu  $P_R$  şu Eşitlik 3.11;

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho v_m^3 \quad (3.11)$$

Ölçülmüş bir olasılık yoğunluk dağılımına karşılık gelen, ‘referans güç yoğunluğu’ olarak da adlandırılan rüzgar gücü yoğunluğu Eşitlik 3.12’den (Çelik, 2004);

$$P_{ref} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} \rho v_{m,j}^3 f(v_j) \quad (3.12)$$

Burada  $v_{m,j}$ ,  $j$  aralığındaki ortalama hızı,  $f(v_j)$  ise aynı aralıktaki olasılık değerini göstermektedir.

### 3.2.3. Kapasite Faktörü

Kapasite faktörü,  $C_f$ , belirli bir zaman diliminde üretilen enerjinin o zaman diliminde üretilebilecek maksimum enerjiye bölümü olup Eşitlik 3.13 yardımıyla hesaplanmaktadır (Şenkal, 2009);

$$C_f = \frac{E_{çıkış}}{E_r} \quad (3.13)$$

$E_r$  ve  $E_{çıkış}$  ise Eşitlik 3.14 ve Eşitlik 3.15 ile hesaplanmaktadır.

$$E_r = 8760(\frac{y}{yl}) \cdot P_t \quad (3.14)$$

$$E_{çıkış} = T \cdot P_t \quad (3.15)$$

Burada;  $E_r$  türbinin yıllık üretebileceği maksimum enerji miktarını,  $P_t$  türbin çıkış gücünü,  $E_{çıkış}$  türbinin ürettiği gerçek enerji miktarını,  $T$  ise olası çalışma süresini ifade etmektedir.



### 3.2.4. Maliyet Analiz Kriterleri

Oluşturulan rüzgar çiftliklerinin maliyet analizini yaparken beş adet parametreye dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Rüzgar türbin maliyeti (RTM),
- Tesis maliyeti (TS),
- İşletme maliyeti (İM),
- Rüzgar türbinin kapasite faktörü ( $K_f$ ),
- Üretilecek elektriğin satış fiyatı (ESF),

Ülkemizde 600 MW ve üzeri güçteki türbinlerin maliyeti 900€/kW ile 1350€/kW arasında değişmektedir (KSO, 2012). Seçilen türbin için ortalama 1000€/kW maliyet uygun görülmüştür.

Rüzgar enerji santrali tesis maliyetini oluşturan kalemlerin maliyete katkıları Çizelge 3.1’de verilmektedir (Emniyetli, 2007). Çizelgeden de açıkça görüldüğü gibi rüzgar enerji santrali tesis maliyetleri, türbin maliyetlerinin %15 ile %40’ı arasında değişmektedir.

Rüzgar enerji santrallerinde kWh enerji üretimi başına yıllık işletme maliyeti Çizelge 3.2’de verilmektedir (Milborrow vd., 1997). Genel olarak işletme maliyetleri söz konusu olduğunda değişkenler ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye dahi farklılıklar göstermektedir.

Çizelge 3.1. Rüzgar enerji santralinin tesis maliyetini oluşturan kalemlerin toplam maliyete katkıları (Emniyetli, 2007)

<b>Kalem</b>	<b>Maliyet, türbin fiyatının %</b>
Kule Temelleri	5-11
Elektrik Bağlantıları	5-11
Arsa Satın Alma	0,5-7
Planlama Maliyetleri	1,5-3
Onaylar	3-8
Altyapı	2-4
İdare	3-6
Çeşitli Masraflar	2-4
Şebeke Bağlantısı	7,5-15
<b>TOPLAM</b>	<b>15-40</b>

Çizelge 3.2. Rüzgar enerji santralinin kWh enerji üretimi başına işletme maliyeti (yıllık) (Milborrow vd., 1997)

<b>Kalem</b>	<b>cent€/kWh(yaklaşık)</b>
Servis Sözleşmesi	0,15-0,6
İdare	0,1-0,25
Sigorta	0,15-0,5
Arsa Kirası	0-0,35
Yerel Vergiler	0-0,2
Elektrik Kullanımı	0,045-0,2
Reaktif Güç	0-0,1
<b>TOPLAM</b>	<b>0,6-1,5</b>

### **3.2.5. Mikro Konuşlandırma (Micro Siting)**

Rüzgar enerjisi santrali kurulacak saha içinde rüzgar türbinlerinin en fazla üretim yapabilecek şekilde yerleştirilmesi ve uygun türbin tipini seçme işlemine mikro-konuşlandırma (micro-siting) işlemi denmektedir (Engin, 2011). Rüzgar türbinlerinin yerleşim veya konuşlandırma hesapları yapılırken yer şekilleri, bitkiler, diğer rüzgar türbinleri ile olan etkileşim, gürültü ve türbülans etkiler gibi çeşitli faktörler dikkate alınmalıdır. Eğer türbin mikro-konuşlandırması iyi yapılmazsa tüm bu kısıtlar türbinlerin meydana getirdiği rüzgar enerjisi santralinden üretilen toplam gücü ciddi ölçüde düşürebilmektedir. Mikro-konuşlandırmada dikkat edilmesi gereken temel noktalar şunlardır:

- Rüzgar hız ve yönünün istatistiksel verileri
- Yerleşim yerlerine uzaklık
- Arazi mülkiyeti
- Karayollarına erişilebilirlik
- Rüzgar türbinlerinin çevreye olan etkisi: şebekeye olan elektriksel etkiler ve işitilebilir gürültü

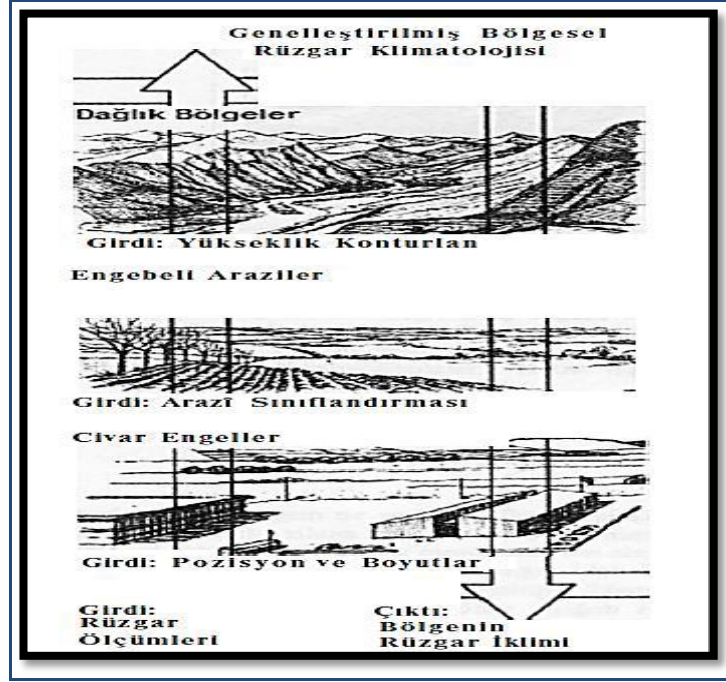
### **3.2.6. WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) Programı**

WAsP programı altyapısında Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonlarını çalıştırarak bir bölgenin rüzgar karakteristiğini oluşturan Danimarka menşeli analiz ve simülasyon programıdır.

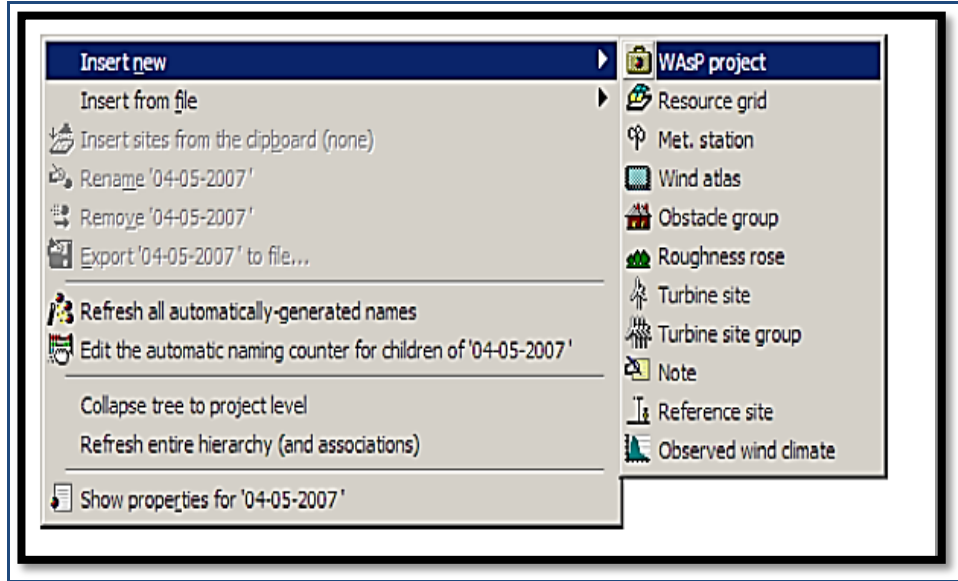
WAsP programının girdileri sırasıyla, hız ve yön parametreleri belirlenmiş meteorolojik rüzgar verileri, anemometer çevresinde rüzgar hızını engelleyecek yapıların tanımlandığı çevre koşulları (obstacle group) ve bölgenin topografik haritasıdır. Özellikle çevre koşulları programa 200 m çapında ve etkin rüzgar yönünde is 1000 m mesafeye kadar üç boyutlu olarak simule edilmelidir.

Girdilerin programa tanımlanması sonucunda, program alt yapısında çalıştırdığı dağılım fonksiyonları ile bölgenin beş farklı pürüzlülük (0,00, 0,03, 0,1, 0,4, 1,5) yüzeyinde ve beş farklı yükseklikte rüzgar atlasını oluşturmaktadır (WAsP User Guide).

Rüzgar atlası oluşturulduktan sonra incelenen bölgenin hangi pürüzlülük yüzeyine girdiği tayin edilmelidir. Bunun için, 0,00 m deniz üstü, 0,03 m ovalar ve havaalanları, 0,1 m dağ tepeleri, 0,4 m şehir merkezleri, 1,5 m ise ormanlık alanlar olduğu WAsP User Guide'da belirtilmiştir. Belirlenen pürüzlülük yüzeyi ile türbin hub yüksekliğinin olduğu dilim seçilerek bölgenin ortalama hızına, güç yoğunluğuna, Weibull-c ve Weibull-k parametrelerine ulaşılmaktadır. WAsP programın temel input ve outputları Şekil 3.5'de gösterilmektedir.

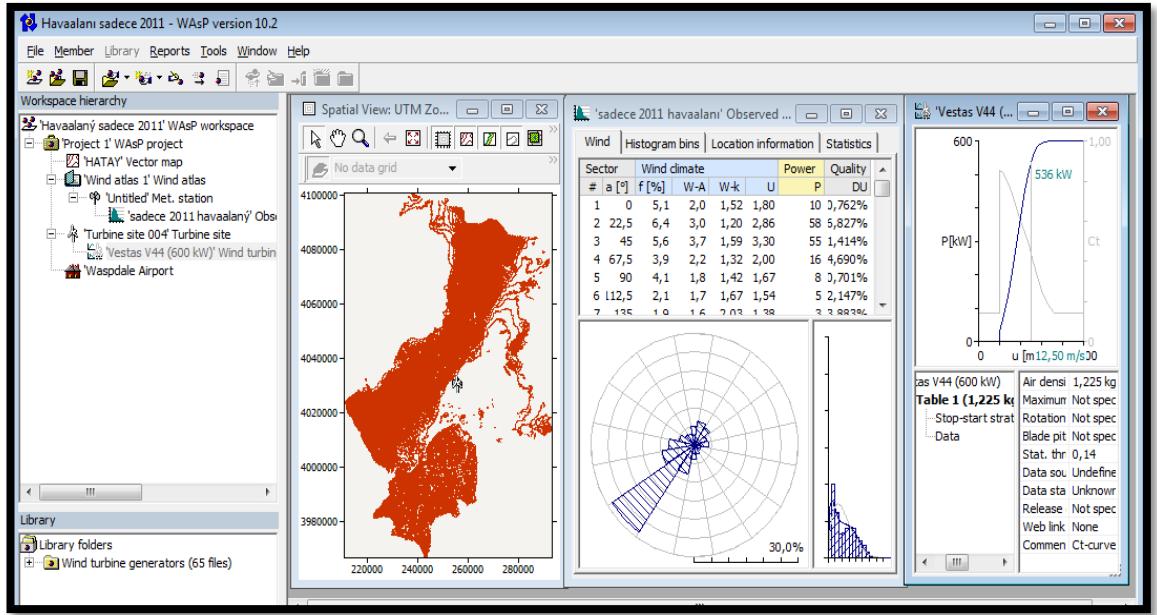


Şekil 3.5. WASP programın temel input ve outputları (WASP User's Guide)



Şekil 3.6. WASP programında proje başlangıç penceresi

WASP programının ekran alıntısı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. WAsP programından alınmış görüntüler

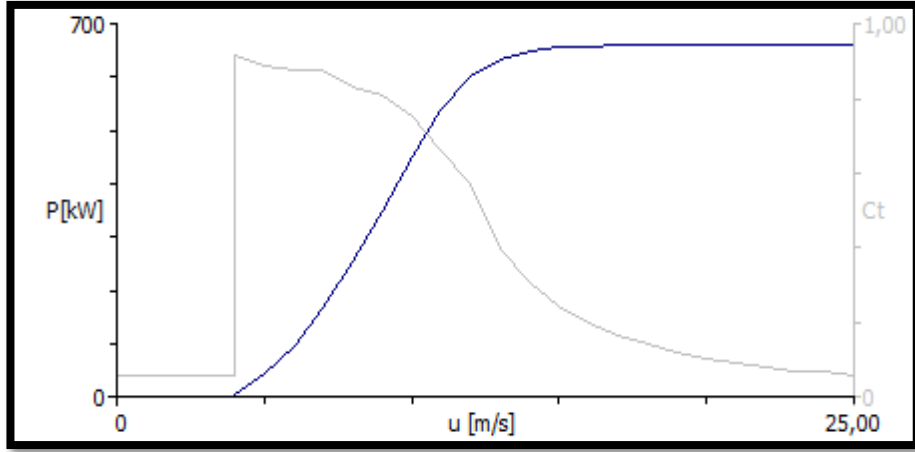
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Rüzgar enerjisinin bir bölgede etkin kullanımı için gerekli olan parametrelerin başında rüzgar yoğunluğu ve bölgenin rüzgar potansiyeli açısından ön çalışmasının yapılarak güç yoğunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışma yapılırken günlük ve haftalık verilerden yola çıkılarak rüzgar enerjisi potansiyelinin ve bu potansiyelin nasıl kullanılacağı belirlenmesi, yapılacak olan fizibilite çalışmasının ana basamaklarını oluşturmaktadır. Bu sebepten çalışılacak alanının rüzgar hızı verileri kullanılarak güç yoğunluğu tespit edilecek, buna göre türbin seçimi ve maliyet hesaplamaları gerçekleştirilecektir.

Bu bölümde havaalanı bölgesinin rüzgar enerji potansiyeli; ilk olarak göz önüne alınan havaalanı bölgesine tek türbin kurulumu neticesinde rüzgar enerji potansiyeli incelenmiştir. İkincil olarak incelenen bölge içerisinde dikey ve dağınık olarak yerleştirilecek beş adet türbin modeli ile rüzgar türbin çiftliği oluşturularak elde edilecek rüzgar enerji potansiyeli karşılaştırılması yapılacaktır.

### 4.1. Havaalanı Bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Tek Türbin İle İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, Hatay havaalanı bölgesinin rüzgar karakteristiğini belirlemek üzere havaalanı içerisindeki anemometre ile alınan veriler WASP programı yardımıyla simule edilerek, havaalanı bölgesi için rüzgar karakteristiği incelenmiştir. İncelemelerde bölgenin etrafındaki pürüzlülüğü etkileyen yapılar programa girilmiş ve rüzgar karakteristiğini elde edebilmek için en ideal türbin olarak Vestas V44 660 kW'lık türbin seçilmiştir. Bunun nedeni Vestas V44 660 kW'lık türbinin güç eğrisi grafiğinin bölgenin rüzgar verilerine en uyumlu türbin olmasıdır. Şekil 4.1'den görülen türbin güç eğrisinde türbinin çalışması için en az gerekli olan hızın 4 m/s olduğu, en yüksek gücün üretilmesi için ise 9 m/s ve yukarı rüzgar hızlarının olması gerektiği görülmektedir. Bölgenin ortalama rüzgar hızları da 1,83 m/s ile 7,6 m/s arasında değiştiği için WASP türbin kataloğundaki en uygun türbinin Vestas V44 660 kW'lık türbin olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 4.1. Vestas V44 660 kW rüzgar türbin güç eğrisi

WAsP programına havaalanı bölgesinde üçer saatlik dilim aralığında ölçülen toplamda bir yıllık rüzgar hızı verilerinin girilmesiyle birlikte, beş farklı referans pürüzlülük yüksekliğinde (0 m, 0,03 m, 0,10 m, 0,40 m ve 1,50 m) ve yer seviyesinden beş farklı yükseklikte (10 m, 25 m, 50 m, 100 m, 200 m) hesaplamalar yapılarak bölgenin rüzgar atlası elde edilmiştir. Rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplanacak havaalanı bölgesi 22,5 derece aralıklarla 16 eşit parçaya bölünmüş ve her bir parça için rüzgar hız değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Havaalanı bölgesi Rüzgar atlasının bölgesel özet verileri Çizelge 4.1'de verilmiş olup, Weibull dağılımının ölçek parametresi olan “c”, WAsP programında “Weibull A(m/s)” olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.1'deki veriler daha detaylı incelenerek kullanılması gereken veriler belirlenmiştir. Yükseklik olarak türbine en yakın hub yüksekliği olan 50m alınarak, pürüzlülük değeri olarak havaalanı bölgelerinde pürüzlülük katsayısı 0,03 olarak kabul edildiğinden (Ağçay, 2007), bu çalışmada pürüzlülük değeri olarak 0,03m kabul edilmiştir. Bunun doğrultusunda havaalanı bölgesinde ortalama rüzgar hızı 6,39 m/s, güç yoğunluğu ise 387 W/m<sup>2</sup>olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. Rüzgar atlasının bölgesel özet verileri

Yükseklik	Parametre	0,00m	0,003m	0,10m	0,40m	1,50m
10,0m	Weibul A(m/s)	7,13	5,2	4,6	3,6	2,4
	Weibull k	1,60	1,5	1,53	1,54	1,55
	Ortalama Hız U(m/s)	6,54	4,73	4,14	3,26	2,18
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	426	176	115	56	16
25,0m	Weibul A(m/s)	8,0	6,2	5,6	4,8	3,7
	Weibull k	1,62	1,55	1,57	1,58	1,59
	Ortalama Hız U(m/s)	7,15	5,6	5,06	4,27	3,28
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	546	279	202	120	54
50,0m	Weibul A(m/s)	8,6	7,1	6,6	5,7	4,7
	Weibull k	1,65	1,63	1,64	1,65	1,64
	Ortalama Hız U(m/s)	7,65	6,39	5,87	5,11	4,17
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	655	387	297	195	106
100,0m	Weibul A(m/s)	9,2	8,3	7,7	6,8	5,8
	Weibull k	1,63	1,71	1,74	1,75	1,74
	Ortalama Hız U(m/s)	8,23	7,41	6,87	6,09	5,17
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	823	567	443	307	189
200,0m	Weibul A(m/s)	10,0	9,9	9,2	8,2	7,1
	Weibull k	1,62	1,71	1,74	1,75	1,76
	Ortalama Hız U(m/s)	8,95	8,8	8,18	7,32	6,36
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	1071	948	748	531	345

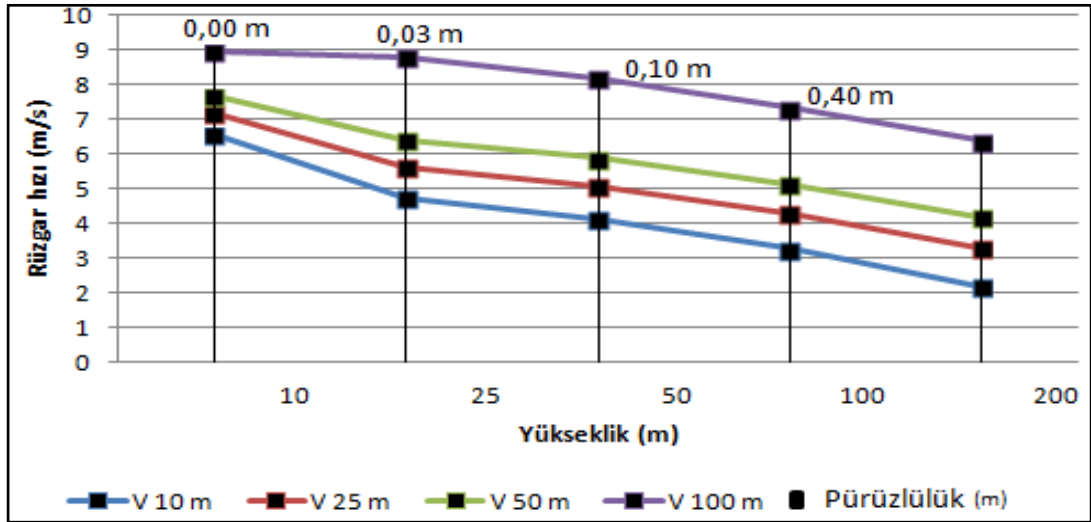
Ülkemiz için Rüzgar hızlarının 50 metre yükseklikteki güç yoğunluğu değerleri ve rüzgar hızlarının sınıflandırması Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.1’deki rüzgar hızı ve yoğunluk verileri ilgili tabloya göre Hatay Havaalanı Bölgesi orta sınıflandırma kapsamına girmektedir (Aras, 2013). Ayrıca, çizelgeye ve hesaplamalara göre havaalanı pürüzlülükleri Şekil 4.1’de verilmiş olup, pürüzlülük değerleri arttıkça rüzgar hızının düştüğü açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.2. Rüzgar sınıfları ve 50 m yükseklikteki ülke potansiyelimiz(Aras, 2013)

Rüzgar Kaynak Derecesi	Rüzgar Sınıfı	50m. Yükseklikteki Rüzgar Hızı (m/s)	50m. Yükseklikteki Rüzgar Güç Yoğunluğu (W/m <sup>2</sup> )	50m. Yükseklikteki Ülke Potansiyelimiz (MW)
Zayıf	1	<5,5	<200	
Düşük	2	5,5-6,5	200-300	
Orta	3	6,5-7,0	300-400	83906,96
İyi	4	7,0-7,5	400-500	29259,36
Harika	5	7,5-8,0	500-600	12994,32
Mükemmel	6	8,0-9,0	600-800	5339,92
Sıra dışı	7	>9,0	>800	195,84

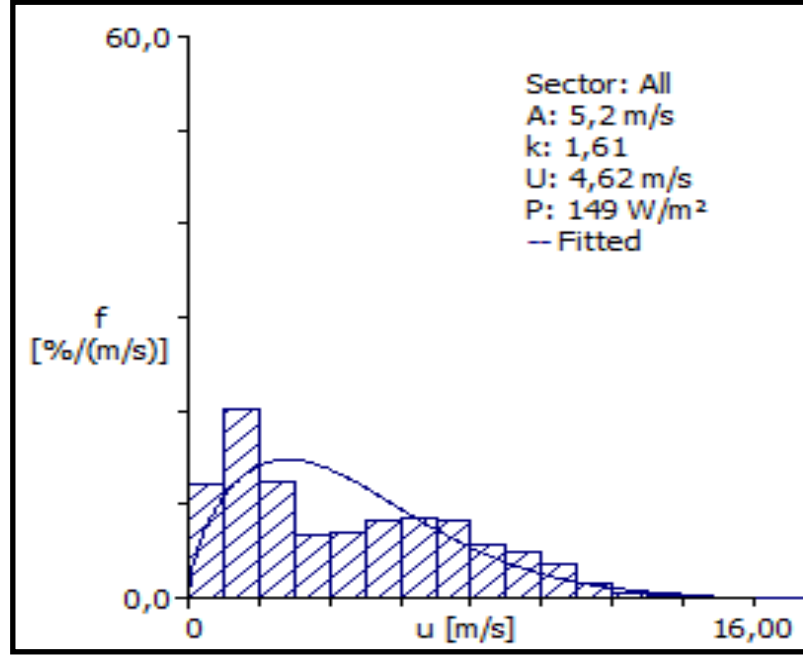


Rüzgar hızının yüzey pürüzlülüklerine bağlı olarak değişimi Şekil 4.2’de görülmektedir. WASP programı tarafından gerçekleştirilen analizlerde, rüzgar hızı değişimi, beş farklı pürüzlülük değeri referans alınarak 10 m, 25 m, 50 m, 100 m ve 200 m yükseklikte tahmin edilmektedir. Antakya havaalanının bulunduğu bölge için pürüzlülük katsayısı 0,03 olarak kabul edildiğinden 10 m, 25 m, 50 m, 100 m ve 200 m yüksekliklerde, esmesi beklenen rüzgar hızları sırasıyla 4,73 m/s, 5,60 m/s, 6,39 m/s, 7,41 m/s ve 8,80 m/s’ olarak hesaplanmıştır.

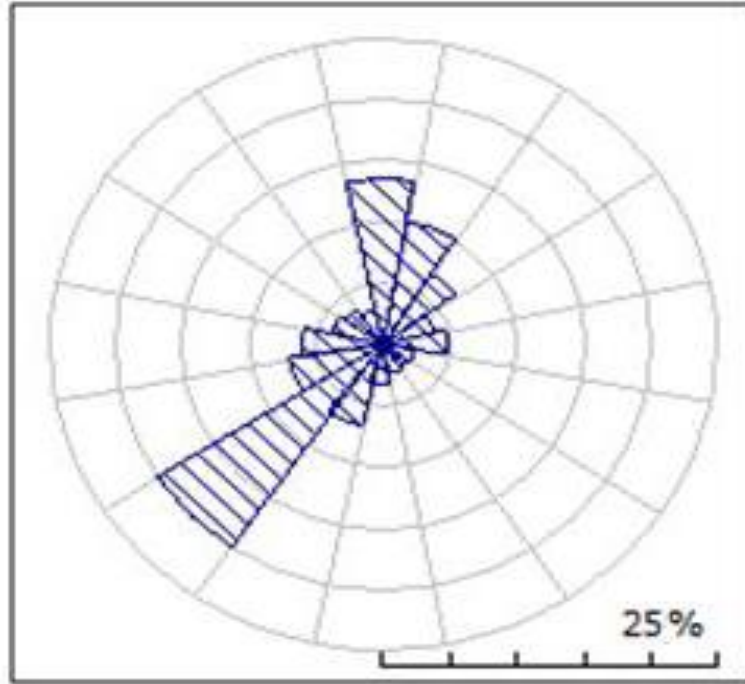


Şekil 4.2.Rüzgar hızının yüzey pürüzlülüklerine bağlı olarak değişimi

Havaalanı bölgesinin rüzgar hızı frekans dağılımı ve Weibull dağılımı ile modellenen frekans eğrisi Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi grafiğin en üst değerleri ortalama rüzgar hızının en sık görüldüğü değerleri göstermektedir. Bu çalışmada, Weibull fonksiyonu için k parametre değeri 1.61 ve ölçek parametresi c ise 5.2 m/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgeye ait yıllık ortalama rüzgar hızı değeri 4.62 m/s olarak elde edilmiştir. Bu değerlere göre güç yoğunluğu  $149 \text{ W/m}^2$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen verilere göre 16 farklı yöne ait rüzgar gülü haritası da Şekil 4.3’de verilmektedir. Rüzgar gülü  $22,5^\circ$ ’lik hassasiyet ile etkin rüzgar yönünü tespit etmemize yarayan bir grafik olarak tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, bölgedeki hâkim rüzgar yönlerinin güneybatı, kuzey vekuzey kuzeydoğu olduğu Şekil 4.4’de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.3. Havaalanı bölgesi Weibull dağılımı



Şekil 4.4.Havaalanı bölgesi rüzgar gülü haritası

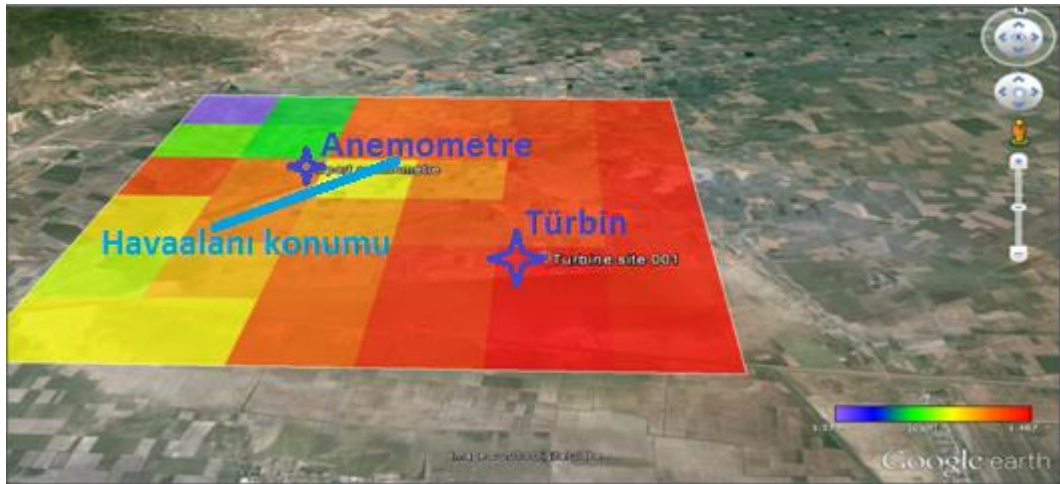
Bölgenin rüzgar karakteristiğinin anlaşılabilmesi için sisteme eklenecek olan rüzgar türbininin özellikleri Çizelge 4.3’de verilmektedir. Hesaplamalar neticesinde bölgede kullanılması uygun olan ve özellikleri verilen türbin, uçakların iniş sistemlerinin, türbin metal yoğunluklarının oluşturacağı manyetik alandan

etkilenmemesi için havaalanı çevresinden 5 km dışarıya pürüzlülük seviyesi en az olan noktaya yerleştirilmiştir (Geest,2013). Çizelge 4.3'den Rüzgar türbini yerleştirilecek alan için hesaplanan rüzgar türbine verilerinden seçilen rüzgar türbininin ortalama rüzgar hızı 4.307 m/s ile 319 W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu ve yıllık ortalama üretilebilecek elektrik enerjisi miktarının 1.316 GWh olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Hesaplanan rüzgar türbin verileri

Bölge	Yerleşim Koordinatları	Rüzgar Türbini	Türbin Yüksekliği	Yıllık Ort. Enerji Üretimi	Ölçüm Hatası
Hatay Havaalanı	(259821,7 , 4024862,0)	Vestas V44 (660 kW)	40,5 m	1,316 GWh	%0,0

Havaalanı bölgesi için ortalama rüzgar hızı haritası ve yerleştirilen türbin konumu Şekil 4.5'de verilmektedir. WASP programının hesaplamalarından ortaya çıkan güç yoğunluğu haritası Google Map ile desteklenerek oluşturulmuştur. Şekil 4.5' de verilen rüzgar haritasında ortalama rüzgar hızı değerleri mavi renkten kırmızı renge doğru artış göstermektedir.



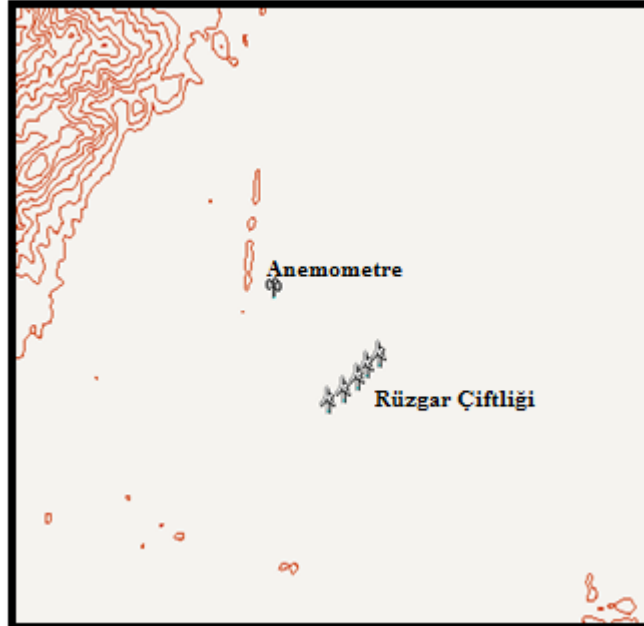
Şekil 4.5. Havaalanı bölgesi için üretilen yıllık güç miktarı

## 4.2. Havaalanı Bölgesi Rüzgar Enerji Potansiyelinin Türbin Çiftliği Açısından İncelenmesi

Bu bölümde, Meteoroloji Müdürlüğü'nün 10m yüksekliğindeki anemometresinden günlük üçer saatlik aralıklarla ölçülmüş veriler ile beş adet türbinden oluşan türbin çiftliği uygulaması ve bu verilerle kurulacak olan rüzgar enerji çiftliğinin, rüzgar enerji potansiyeline etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, türbin çiftliği uygulamasında iki farklı seneryo göz önüne alınmıştır. Birinci seneryoda beş adet türbin dikey olarak konuşlandırılarak rüzgar enerji potansiyeli araştırılacak olup ikinci seneryoda ise beş adet türbine dağınık yerleştirilmesi neticesinde oluşacak rüzgar enerji potansiyeli irdelenecek ve iki farklı yerleşim düzeninin enerji potansiyeli açısından karşılaştırılması yapılacaktır.

### 4.2.1. Havaalanı Bölgesi Dikey Türbin Çiftliği Uygulaması

Birinci senaryo olarak göz önüne alınan beş adet türbin dikey olarak yerleştirilmesiyle elde edilen rüzgar enerji potansiyeli irdelenmiştir.



Şekil 4.6. Dikey rüzgar çiftliği topografik görüntüsü

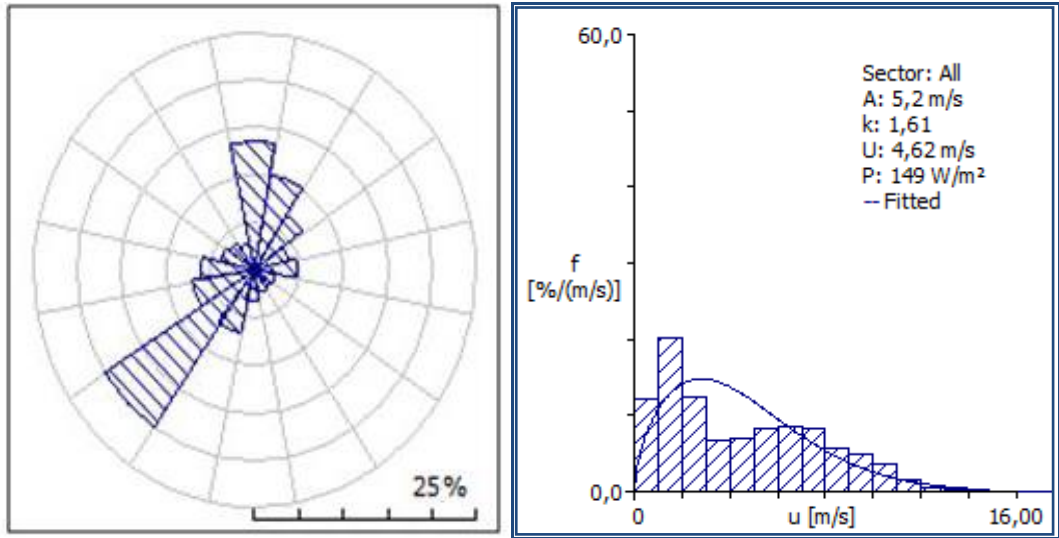


Şekil 4.7. Dikey rüzgar çiftliği Google Earth görüntüsü

Hava alanı bölgesi özet verileri Çizelge 4.4’de gösterilmiş ve 0,03 pürüzlülük derecesi için alınan data set ve rüzgar gülü-Weibull dağılımı ise Çizelge 4.5 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Çizelge 4.4’de havaalanı rüzgar hızı karakteristiği ve çevre pürüzlülük koşulları değişmediği için Çizelge 4.1 ile aynı sonuçlar elde edilmektedir. Çizelge 4.4’te 50 m için 0,03 pürüzlülük katsayısı ile belirtilen değerler kullanılacağından tabloda bu değerler kırmızı punto rengi ile gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.8’de etkin rüzgar yönünün güney-batı olduğu görülmekle birlikte Weibull dağılımından elde edilen sonuçlar da görülmektedir. Beş adet türbinle alınmış olan toplam alan için  $c=5,2$  m/sn,  $k=1,61$ , ortalama hız  $U= 4,62$  m/sn ve güç yoğunluğu da  $P=149$  W/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Dikey rüzgar çiftliği özet verileri

Yükseklik	Parametre	0,00m	0,003m	0,10m	0,40m	1,50m
10,0m	Weibull A(m/s)	7,3	5,2	4,6	3,6	2,4
	Weibull k	1,60	1,5	1,53	1,54	1,55
	Ortalama Hız U(m/s)	6,54	4,73	4,14	3,26	2,18
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	426	176	115	56	16
25,0m	Weibull A(m/s)	8,0	6,2	5,6	4,8	3,7
	Weibull k	1,62	1,55	1,57	1,58	1,59
	Ortalama Hız U(m/s)	7,15	5,6	5,06	4,27	3,28
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	546	279	202	120	54
50,0m	Weibull A(m/s)	8,6	7,1	6,6	5,7	4,7
	Weibull k	1,65	1,63	1,64	1,65	1,64
	Ortalama Hız U(m/s)	7,65	6,39	5,87	5,11	4,17
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	655	387	297	195	106
100,0m	Weibull A(m/s)	9,2	8,3	7,7	6,8	5,8
	Weibull k	1,63	1,71	1,74	1,75	1,74
	Ortalama Hız U(m/s)	8,23	7,41	6,87	6,09	5,17
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	823	567	443	307	189
200,0m	Weibull A(m/s)	10,0	9,9	9,2	8,2	7,1
	Weibull k	1,62	1,71	1,74	1,75	1,76
	Ortalama Hız U(m/s)	8,95	8,8	8,18	7,32	6,36
	Güç Yoğunluğu E(W/m <sup>2</sup> )	1071	948	748	531	345



Şekil 4.8. Dikey rüzgar çiftliği için 0,03 pürüzlülük değerinde rüzgar gülü - Weibull dağılım grafiği

Çizelge 4.5. Dikey ve Yatay rüzgar çiftliği için 0,03 pürüzlülük değerinde rüzgar derecelerine göre data seti

Yükseklik		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
10,0 m	A	2,0	3,1	3,9	2,3	1,9	1,7	1,5	1,7	2,1	7,4	8,6	5,8	4,5	4,5	3,6	2,0
	k	1,43	1,19	1,56	1,33	1,39	1,68	2,01	1,69	1,25	2,35	3,21	2,63	1,52	1,32	1,09	0,99
	U	1,85	2,94	3,50	2,13	1,71	1,53	1,36	1,51	1,94	6,57	7,70	5,17	4,09	4,11	3,46	2,04
	E	11	63	68	20	9	5	3	5	16	286	378	129	112	142	124	32
25,0 m	A	2,5	3,8	4,7	2,8	2,3	2,1	1,8	2,0	2,5	8,7	10,1	6,9	5,5	5,4	4,3	2,5
	k	1,54	1,28	1,68	1,44	1,50	1,81	2,17	1,83	1,35	2,47	3,35	2,84	1,64	1,40	1,15	1,06
	U	2,21	3,51	4,19	2,55	2,04	1,83	1,63	1,80	2,32	7,75	9,06	6,18	4,90	4,88	4,09	2,44
	E	17	94	105	30	14	8	5	8	25	454	606	210	173	217	184	47
50,0 m	A	2,9	4,5	5,5	3,3	2,6	2,4	2,1	2,4	3,0	9,9	11,4	8,0	6,4	6,2	5,0	3,0
	k	1,72	1,43	1,88	1,60	1,67	2,03	2,44	2,05	1,50	2,65	3,57	3,19	1,84	1,52	1,23	1,18
	U	2,56	4,06	4,85	2,95	2,36	2,11	1,88	2,08	2,68	8,80	10,25	7,15	5,66	5,58	4,66	2,83
	E	23	121	142	39	19	11	7	10	32	631	852	304	232	283	235	57
100,0 m	A	3,4	5,3	6,5	3,9	3,1	2,8	2,5	2,8	3,5	11,3	12,9	9,4	7,6	7,2	5,8	3,6
	k	1,84	1,53	2,01	1,71	1,79	2,17	2,61	2,19	1,60	2,86	3,84	3,41	1,96	1,63	1,32	1,25
	U	3,03	4,81	5,73	3,49	2,79	2,50	2,22	2,46	3,17	10,10	11,71	8,45	6,70	6,48	5,38	3,34
	E	35	180	219	59	29	17	10	16	48	912	1232	487	358	402	318	84
200,0 m	A	4,2	6,5	7,9	4,8	3,8	3,4	3,1	3,4	4,3	13,3	15,1	11,5	9,2	8,6	6,9	4,3
	k	1,77	1,46	1,93	1,65	1,72	2,09	2,50	2,10	1,54	2,77	3,73	3,28	1,88	1,58	1,28	1,21
	U	3,69	5,87	7,00	4,26	3,41	3,05	2,72	3,01	3,87	11,86	13,64	10,32	8,18	7,73	6,37	4,08
	E	67	349	416	113	55	32	19	30	93	1503	1968	903	680	715	556	165

Dikey rüzgar çiftliği için belirlenmiş olan rüzgar dağılımları neticesinde, sistemde kullanılmak üzere seçilen beş adet Vestas V47 (660kW) değerindeki rüzgar türbinlerinin WAsP analizinde özet raporu Çizelge 4.6’da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi çiftlik halinde bulunan türbinlerin enerji kayıpları da %0,38 ile %8,6 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.6. Türbin analizleri

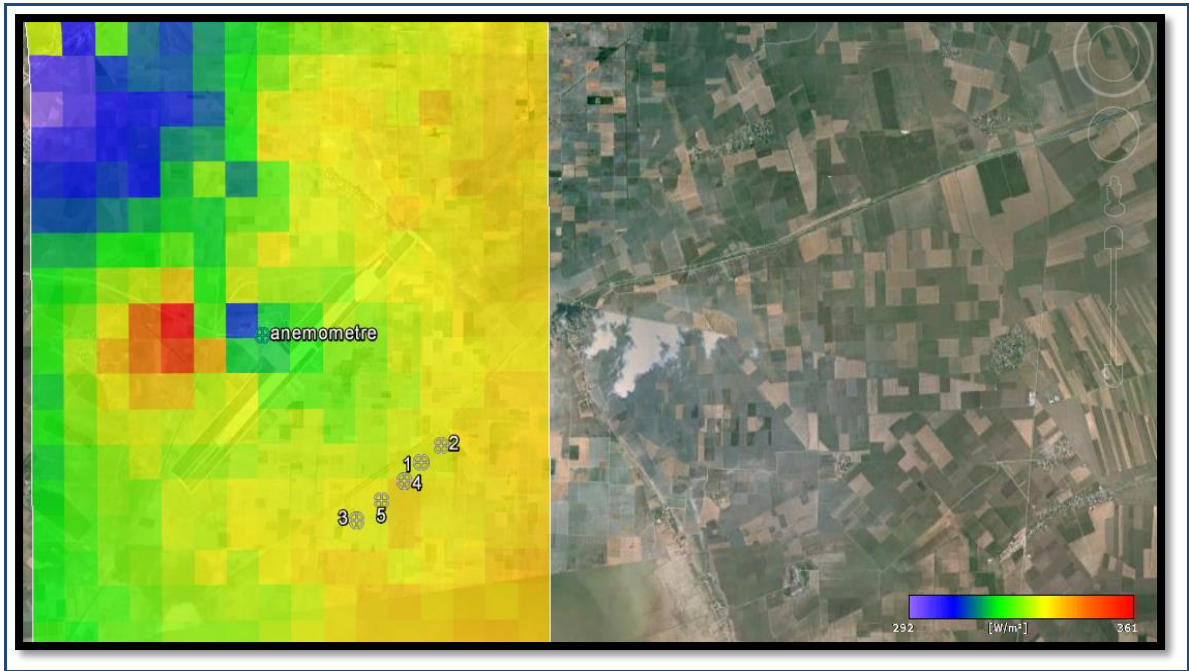
Site	Koordinat [m]	Türbin	Tepe [m]	Hub [m]	Net AEP [GWh]	Güç Kaybı [%]
1	(258517,7, 4026168,0)		75,28458		1,480	8,6
2	(258826,6, 4026399,0)		75,18882		1,505	6,84
3	(257513,8, 4025349,0)	Vestas V47 (660 kW)	74,93893	40	1,615	0,38
4	(258255,2, 4025905,0)		75,27538		1,527	5,66
5	(257899,9, 4025627,0)		75,19646		1,551	3,89

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere en az güç kaybı 3 nolu türbinde %0,38 ile, en fazla güç kaybı ise %8,6 1 numaralı türbinde oluşmaktadır. Bunun nedeni ise 3 numaralı türbinin rüzgar yönünde ilk sırada olması neticesinde diğer türbinlerin perdeleme faktörlerinden etkilenmemesidir. 1 numaralı türbin ise dikey türbin yerleştirmesinde orta konumda olduğu için diğer 4 türbinin de perdeleme faktörüyle karşı karşıya kaldığı için verimi %8,6 oranında oluşmaktadır. Ayrıca, rüzgar türbinlerinin etkinlikleri ise Çizelge 4.7’de gösterilmiş olup, 1 numaralı türbin %91,4 verim ile 1480 MWh, 2 numaralı türbin %93,16 verim ile 1504 MWh, 3 numaralı türbin %99,62 verim ile 1614 MWh, 4 numaralı türbin %94,34 verim ile 1526 MWh, 5 numaralı türbin ise %96,11 verim ile yıllık 1550 MWh güç üreteceği hesaplanmıştır. Türbin çiftliği toplamında ise %94,93 verimle yıllık 7677 MWh güç üreteceği hesaplanmıştır. Kayıpların nedeni rüzgar türbinlerinin birbirlerine perdeleme etkisini oluşturmasıdır. Rüzgar çiftliğinin güç yoğunluğu Şekil 4.9 gösterilmiş olup Hatay havaalanı bölgesinde 50m yükseklikte güç yoğunluğu 350-380 W/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Rüzgar çiftliğinin hız dağılımı Şekil 4.10’da verilmiş olup Hatay havaalanı bölgesinde 50m yükseklikte rüzgar hızı 5.9 m/s ile 6.0 m/s arasında değişmektedir.

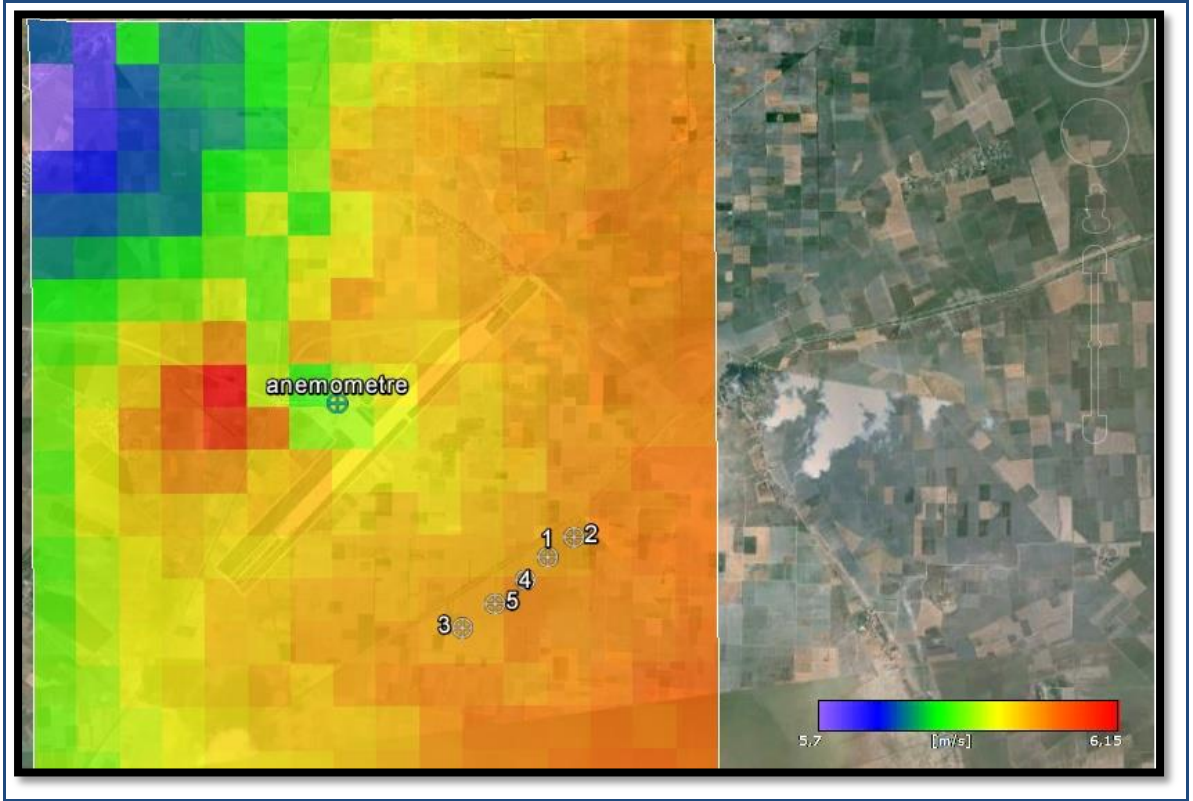


Çizelge 4.7. Türbin Etkinlikleri

Türbin	Koordinat [m]	MWh (tek)	MWh (çiftlik)	Etk. [%]
1	(258517,7, 4026168,0)	1619,527	1480,205	91,4
2	(258826,6, 4026399,0)	1615,361	1504,948	93,16
3	(257513,8, 4025349,0)	1620,952	1614,797	99,62
4	(258255,2, 4025905,0)	1618,309	1526,677	94,34
5	(257899,9, 4025627,0)	1613,580	1550,831	96,11
Rüzgar Çiftliği	-	8087,729	7677,458	94,93



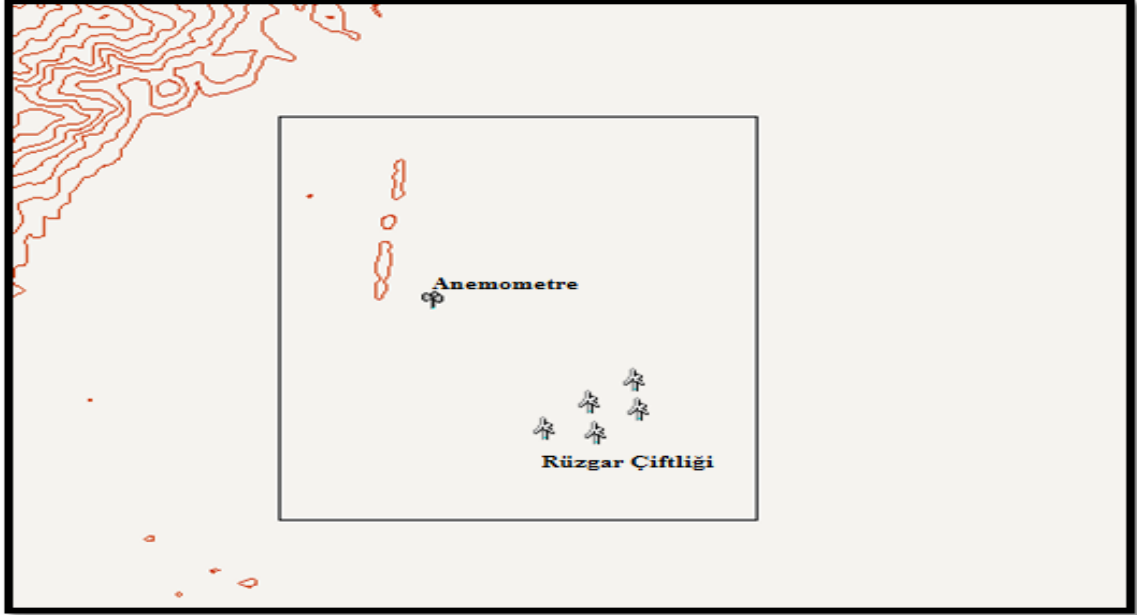
Şekil 4.9. Dikey rüzgar çiftliği uygulamasının güç yoğunluğu (Google Earth)



Şekil 4.10. Dikey rüzgar çiftliği uygulamasının rüzgar hız dağılımı (Google Earth)

#### 4.2.2. Havaalanı Bölgesi Dağınık Türbin Çiftliği Uygulaması

Bu bölümde, dikey rüzgar çiftliğinin yerine, dağınık türbin çiftliği analiz edilerek gerekli veriler alınmış ve dikey türbin rüzgar çiftliği uygulaması ile karşılaştırılmıştır. Belirtilen bölgede yapılan rüzgar çiftliği sisteminin görünümü Şekil 4.11 ve 4.12 'de verilmiştir.

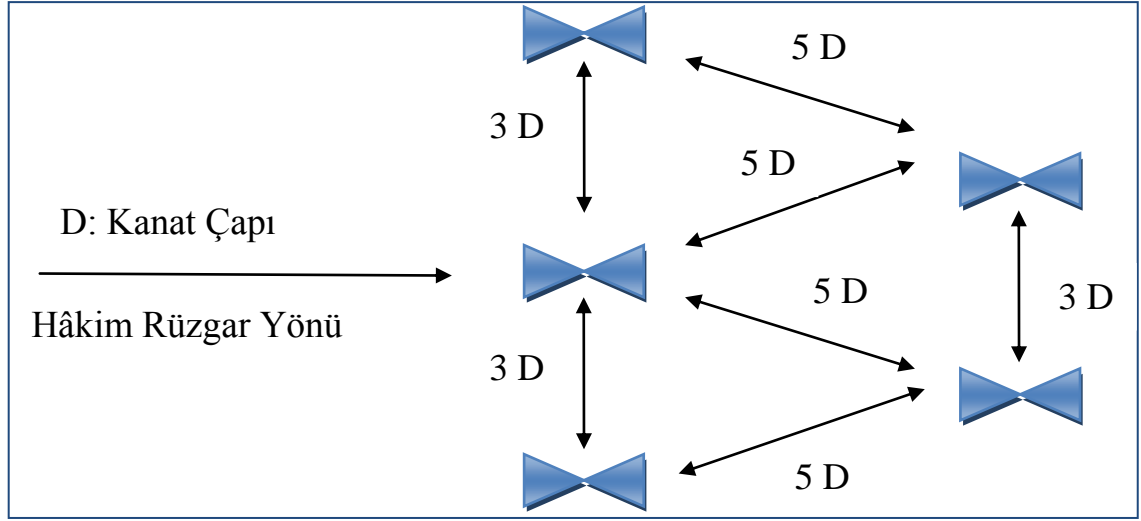


Şekil 4.11. Dağınk rüzgar çiftliği topografik görüntüsü



Şekil 4.12. Dağınk rüzgar çiftliği Google earth görüntüsü

Rüzgar çiftliğinin bu dağılımı Şekil 4.13’de görülen uzaklıklar çerçevesinde yapılmış olup, her türbin arasında en az üç kanat uzunluğu kadar, çaprazlama konuşlandırılmış türbinler arasında ise en az beş kanat uzunluğu kadar mesafe bırakılmıştır (Acaroğlu, 2013). Bu mesafelerden daha az mikrokonuslandırmalarda türbinlerin verimleri perdeleme faktöründen dolayı çok fazla düşmektedir.



Şekil 4.13. Mikro konuşlandırma (Acaroğlu, 2013)

Bu konuşlandırma biçiminde ortaya çıkan rüzgar verileri Çizelge 3 ile aynı olup, 0,03 pürüzlülük katsayısında oluşan Weibull-k ve rüzgar gülü grafikleri ise, Şekil 4.7 ile benzerdir. Bunun nedeni oluşan rüzgar verilerinin ve Weibull-k rüzgargülü grafikleri konuşlandırmaya bağlı olmayıp, bölgenin meteorolojik verilerine göre değiştiğidir. Diğer bir deyişle bölgenin rüzgar potansiyelinin değişkenleri, rüzgar hızı ve etkin rüzgar yönüdür. Bununla beraber rüzgar derecelerine göre rüzgar verileri ise, Çizelge 4.4 ile benzer sonuçlar vermektedir.

Dağınık rüzgar çiftliği için türbin seçimi de dikey rüzgar çiftliği için kullanılmak üzere seçilen beş adet Vestas V47 (660kW) değerindeki rüzgar türbinleridir. Bu dağılımın WAsP analizinde özet raporu ise Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu dağılımdaki güç kayıpları ise %0,25 ile %2,53 arasında değişmektedir. Bunun nedeni etkin rüzgar yönü doğrultusunda türbinlerin birbirlerine daha az perdeleme etkisi yaratmalarıdır.

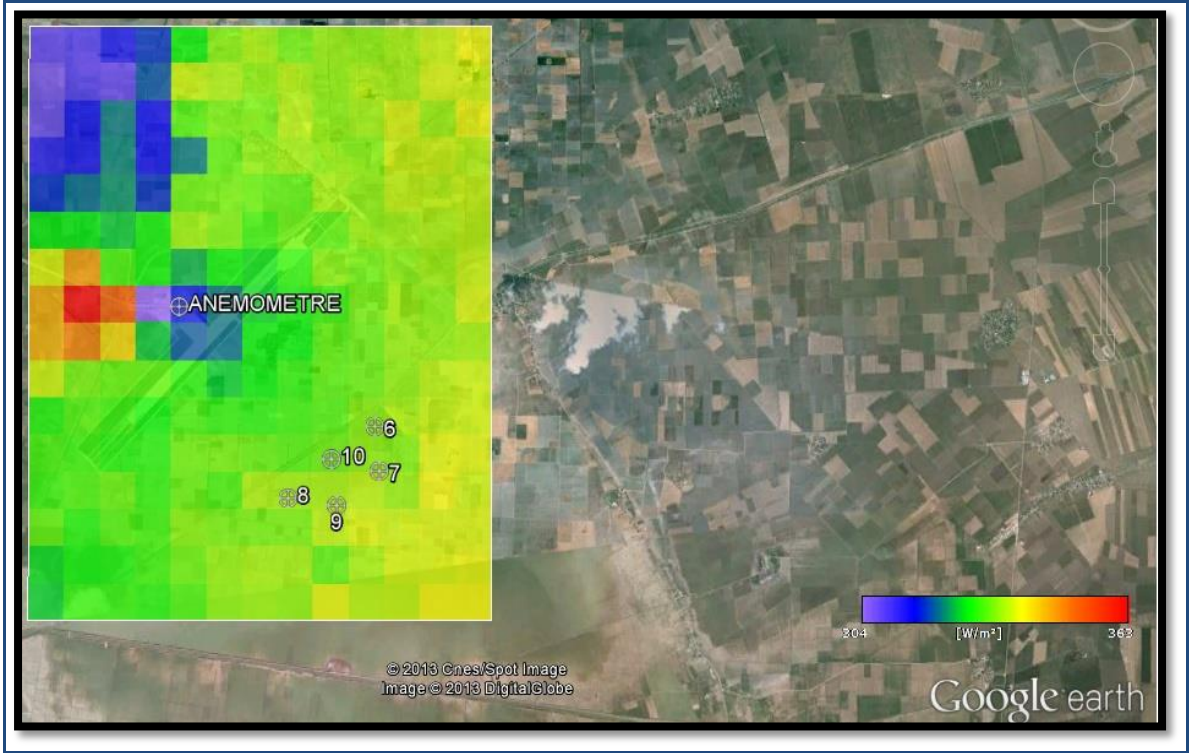
Çizelge 4.8. Türbin analizleri

Site	Koordinat [m]	Türbin	Tepe [m]	Hub [m]	Net AEP [GWh]	Güç Kaybı [%]
6	(258822,8, 4026364,0)		75,13878		1,574	2,53
7	(258885,9, 4025765,0)		74,66319		1,584	2,38
8	(257604, 4025397)	Vestas V47 (660 kW)	74,96333	40	1,614	0,25
9	(258287,0, 4025302,0)		74,0679		1,612	0,59
10	(258213,4, 4025922,0)		75,34187		1,578	2,4

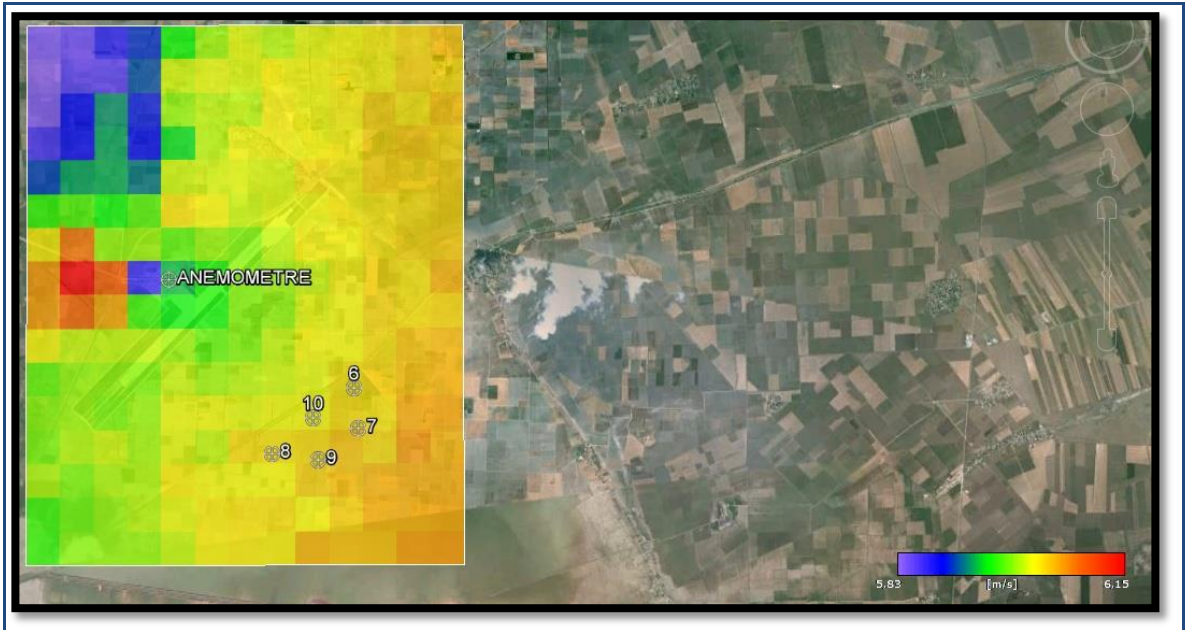
Rüzgar türbinlerin etkinlikleri ise Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu türbin diziliminde ise 1 numaralı türbin %97,47 verimle 1573 MWh, 2 numaralı türbin %97,62 verim ile 1583 MWh, 3 numaralı türbin %99,75 verimle 1618 MWh, 4 numaralı türbin %99,41 verimle 1612 MWh, 5 numaralı türbin ise %97,6 verimle yıllık 1578 MWh güç üreteceği hesaplanmıştır. Türbin çiftliği toplamında ise %98,37 verimle yıllık 7961 MWh güç üreteceği hesaplanmıştır. Ayrıca görüldüğü üzere yine tek türbin olarak kullanımlarına göre daha düşük hesaplanmıştır. Ancak, diğer türbin dizilişiyle karşılaştırdığımızda, dağınık modellememizin daha etkili sonuçlar verdiği aşikardır. Rüzgar çiftliğinin güç yoğunluğu ve hız dağılımı Şekil 4.14 ve 4.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Türbin etkinlikleri

Türbin	Koordinat [m]	MWh (Tek)	MWh (Çiftlik)	Etk. [%]
6	(258822,8, 4026364,0)	1614,620	1573,787	97,47
7	(258885,9, 4025765,0)	1622,295	1583,627	97,62
8	(257604, 4025397)	1618,118	1614,015	99,75
9	(258287,0, 4025302,0)	1621,662	1612,041	99,41
10	(258213,4, 4025922,0)	1617,303	1578,416	97,6
Rüzgar Çiftliği	-	8093,997	7961,886	98,37



Şekil 4.14. Dağınık rüzgar çiftliği uygulamasının güç yoğunluğu (Google Earth)



Şekil 4.15. Dağınık rüzgar çiftliği uygulamasının rüzgar hız dağılımı (Google Earth)

### 4.3. Maliyet Analizi

Seçilen 660 KW'lık türbin için 1000€/kW maliyet uygun görülmüştür. Bunun doğrultusunda;

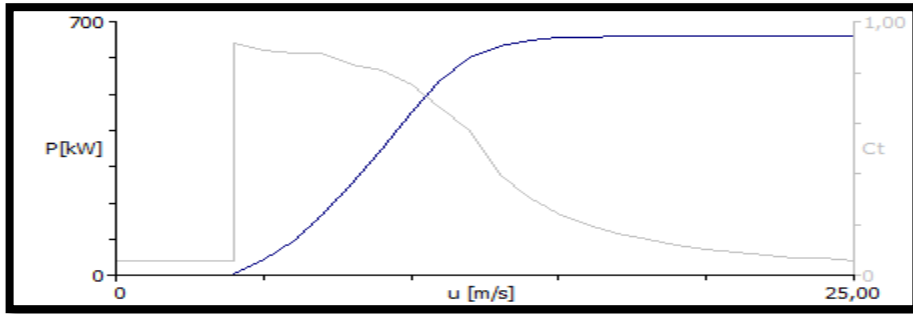
$$RTM= 6 \times 1000 \times 660 = 3960000 \text{ €} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu çalışmada Tesis maliyetleri, türbin maliyetlerinin %30'u kadar olduğu kabulü yapılmıştır. Böylece;

$$TS= 3960000 \times 0.3 = 1188000\text{€} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

İşletme maliyetlerin 660 kW'lık türbin için yaklaşık olarak 1 cent€/kWh kabul alınacaktır. Bu kabul sonucunda ortaya çıkan maliyeti bulabilmesi için ise öncelikle türbinin kapasite faktörünü hesaplayarak yıllık ürettiği güce ulaşmak gerekmektedir.

660 kW türbinin kapasite faktörünü belirlemek için öncelikle türbin eğrisini incelemek gerekir. Şekil 4.16' da Vestas marka 660 kW'lık türbin güç eğrisi görülmektedir.



Şekil 4.16. Türbin güç eğrisi

Türbin güç eğrisi incelendiğinde türbinin 4 m/s hızların altında çalışmadığı görülmüş ve yılın 4 m/s üzerine çıkan saatlik verileri doğrultusunda kapasite faktörü belirlenmiştir. Bunun doğrultusunda çizelge 4.10'da türbinin yıllık net üretim gücü ve kapasite faktörü gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Türbin kapasite faktörü ( $C_f$ )

$E_R$ (MWh)	$E_{\text{Çıkış}}$ (MWh)	$K_f$ (%)
1316	546,1	41

Kapasite faktörünün %25 ve üzerinde olması rüzgar türbinlerine yapılacak olan yatırımın kar sağlayabileceğini nitelendirmektedir (Dündar, 1996).

Bu bilgiler ışığında yıllık türbin çiftliklerinin üretimi incelenirse (TÇÜ);

Dikey rüzgar çiftliği: TÇÜ = (5781000 x 0,41) x 5 x 0,9493 = 11251 MWh

Dağınık rüzgar çiftliği: TÇÜ = (5781000 x 0,41) x 0,9837 = 11657 MWh

olarak bulunur.

Üretilecek elektriğin satış fiyatı, 31.10.2010 tarihinde kabul edilen kanuna göre, 2015 yılına kadar devlete başvuran işletmelerin 10 yıl süre boyunca kWh başına 6,5 cent€ olarak satışının gerçekleştirileceği devlet tarafından garanti altına alınmıştır ([www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr), 2014).

Bu bilgiler ışığında;

Toplam maliyet: RTM + TS = 3960000 + 1188000 = 5148000 €

Elde edilen kazanç dikey (yıllık) : TÇÜ x (ESF – İM) = 11251000 x (6,5 – 1) = 618805 €

Elde edilen kazanç dağınık (yıllık) : TÇÜ x (ESF – İM) = 11657000 x (6,5 – 1) = 641135 €

Türbin geri ödeme süreleri Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Türbin çiftliği geri ödeme süreleri

<b>Türbin Çiftliği</b>	<b>Toplam Maliyet</b>	<b>Geri Ödeme Süresi</b>
Dikey Türbin Çiftliği	5148000	8,3 yıl
Dağınık Türbin Çiftliği	5148000	8 yıl

Dikey rüzgar türbin çiftliği geri ödeme süresi 8,3 yıl olarak hesaplanırken, dağınık rüzgar türbin çiftliği 8 yıl olarak hesaplanmıştır. Rüzgar türbinlerinin ömürleri yaklaşık olarak 20 yıl olduğu düşünülürse Hatay Havaalanı bölgesinde kurulacak rüzgar türbin çiftlikleri işletmeciler için kar oranı olan bir yatırım konumundadır.

Ayrıca, bu türbin çiftlikleri ile hem havaalanının elektrik enerjisinin bir bölümünün karşılanması hem de amik ovası havzasında bulunan tarımsal amaçlı sulama pompalarının elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında kullanılması önerilmektedir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada,Hatay Havaalanı bölgesinde rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi, Havaalanı içerisindeki 10 m. yüksekliğindeki anemometre yardımıyla 2012 yılı boyunca ortalama rüzgar hızı ve yönüne ait değerler Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınmıştır. Alınan bu değerler WASP programı ile analiz ve simule edilmiş, öncelikteekli türbin kullanılarak daha sonrada hem dikey hem dağınık rüzgar çiftliği halinde kurulacak rüzgar santralinin ölçümleri şeklinde iki senaryo oluşturularak incelenmiştir.

Tekli rüzgar türbin uygulamasında, rüzgar türbini yerleştirilecek alana ait 10 m. anemometre verilerine göre ortalama yıllık rüzgar değeri 4.307 m/s; WASP programı tarafından %4.07 hata ile rüzgar hızı 4.49 m/s olarak tahmin edilmiştir. Bölgede yüksek rüzgar hızlarının en fazla yaz aylarında gerçekleştiği ve hakim rüzgar yönünün güney-batı olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan rüzgar türbininin bulunduğu alanda ortalama güç yoğunluğu 319 W/m<sup>2</sup> ve üretilebilecek yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi 1.316 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Rüzgar çiftlik uygulaması yapıldığında ise iki farklı parametre göz önüne alınmıştır. Rüzgar çiftliklerinin kurulumunda anahtar rol oynayan optimizasyon türü türbinlerin mikro konuşlandırma işlemleridir. Bu çalışmada da hem dikey, hem de dağınık şekilde konuşlandırılan rüzgar çiftlikleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Anemometre yerinin ve meteorolojik verilerin değiştirilmeden kullanıldığı bu çalışmada, 5 adet VESTAS V47 (660kW) türbin seçilmiş ve bu türbinlerin rüzgar çiftlik verileri data setler şeklinde alınmıştır. Sonuç olarak dikey yerleştirilmiş rüzgar çiftliğinin bulunduğu alanda ortalama güç yoğunluğu 387 W/m<sup>2</sup> ve üretilebilecek yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi 7.677 GWh/yıl olarak belirlenmiştir. Genel türbin etkinliği % 94,93 olarak hesap edilmiştir.

Dağınık olarak konuşlandırılan türbin çiftliğinin de ise bu değerler, dağınık yerleştirilmiş rüzgar çiftliğinin bulunduğu alanda ortalama güç yoğunluğu 387 W/m<sup>2</sup> ve üretilebilecek yıllık ortalama elektrik enerjisi üretimi 7.961 GWh/yıl olarak belirlenmiştir. Genel türbin etkinliği % 98,37 olarak hesap edilmiştir.

Türbin etkinliklerinin arasındaki % 3,44'lük farkın, dikey çiftlik uygulamasında türbinlerin birbirleri arasındaki perdelemeden kaynaklanan etkinlik farkını oluşturduğu öngörülmektedir.

Türbin çiftlik geri ödemelerinde ise dağınık rüzgar çiftliği 8 yıl, dikey rüzgar çiftliğine göre 8,3 yılda tüm maliyetleri karşılamıştır.

Genel sonuç Bu verilere dayanılarak hem havaalanının elektrik enerjisinin bir bölümünün karşılanması hem de amik ovası havzasında bulunan sulama pompalarının enerjisinin kurulacak olan bu türbin veya türbin çiftlikleri ile karşılanması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Acaroğlu M., Alternatif Enerji Kaynakları ders notları, 2013

Ağçay N., ‘‘Türkiye’nin Elektrik Enerjisi Arz Talep Dengesinin Tespiti, Üretim Projeksiyonuna Yönelik Rüzgar Elektrik Santrali Tasarımı RES’in Kurulum Maliyetlerinin ve Üretim Parametrelerinin Analizinin Matlab&Simulink İle Yazılan Programda Yapılması’’, Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, .2007

Akpınar E.K. ve Akpınar S., 2004, Determination of the Wind Energy Potential for Maden, Turkey. Energy Convers Manage, 45 (18-19), 2901-14

Altınsoy, A., 2013, Aksaray bölgesi rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi

Aman, M.M., Jasmon, G.B., Ghufuran, A., Bakar, A.H.A., Mokhlis, H., 2013, Investigating possible wind energy potential to meet the power shortage in Karachi, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 18 (2013) 528-542

Anonim, 2009, Devlet su işleri genel müdürlüğü [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr) Erişim Tarihi :24.09.2013

Anonim , 2013, Elektrik işleri etüt dairesi genel müdürlüğü [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr) Erişim Tarihi : 22.10.2013

Anonim, 2014, [www.enerjienstitusu.com.tr](http://www.enerjienstitusu.com.tr), Erişim Tarihi: 20.05.2014

Anonim, 2009, [www.jeotermaldernegi.org.tr](http://www.jeotermaldernegi.org.tr), Erişim Tarihi: 10.10.2013

Anonim, 2014, [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr), Erişim Tarihi: 20.06.2014

Anonim, 2014, <http://bepa.yegm.gov.tr>, Erişim Tarihi:15.07.2014

Anonim, 2013, [www.meteoroloji.gov.tr](http://www.meteoroloji.gov.tr), Erişim Tarihi: 10.10.2013

Anonim, 2014, [www.tureb.com.tr](http://www.tureb.com.tr), Erişim Tarihi: 20.06.2014

Anonymous, 2014, solargis.info , Erişim Tarihi: 10.07.2014

Anonymous, 2014, <https://earth.google.com>, Erişim Tarihi: 10.10.2013

Anonymous, 2013, [www.epia.org](http://www.epia.org), Erişim Tarihi: 01.07.2014

Aras, H., 2013, Yenilenebilir enerji kaynakları, **Anadolu Üniversitesi yayınları**, No:2927

Ataman A.R. (2007), Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yüksek Lisans Tezi,Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara

Başaran, B., 2010, Rüzgar enerjisi santrali Esentepe yerleşkesi örneği yüksek lisans tezi , Sakarya Üniversitesi

- Başol, K. (1992), Doğal Kaynaklar Ekonomisi, Doğal Kaynaklar, Enerji ve Çevre Sorunları, Akliselim Ofset Tesisleri, İzmir
- Bayraç, H. N. (1999a). Uluslararası Doğalgaz Piyasasının Ekonomik Analizi, Türkiye'deki Gelişimi ve Eskişehir Uygulaması, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, Eskişehir
- Bilal, B.O., Ndongo, M., Kebe, C.M.F., Sambou, V., Ndiaye, P.A., 2013, Feasibility study of wind energy potential for electricity generation in the Northwestern coast of Senegal, **Energy Procedia** 36 (2013) 1119-1129
- Bilgili, M., Sahin B., Şimşek E., 2010, "Türkiye'nin Güney, Güneybatı ve Batı Bölgelerindeki Rüzgar Enerjisi Potansiyeli", **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 30, 1
- Bilgili, M., Sahin B., and Kahraman A. "Wind energy potential in Antakya and \_Iskenderun regions, Turkey". **Renewable Energy** 29 (10): 1733–45, 2004.
- Cheng, R.C.H. and Amin N.A.K., 1983, Estimating Parameters in Continuous Univariate Distributions with a Shifted Origin, J. Roy. **Statist. Soc.Ser.B** 45 394-403
- Cliff, W.C., 1977, The Effect of Generalized Wind Characteristics on Annual Power Estimates from Wind Turbine Generators. PNL-2436, Richland, Washington: Battelle Pacific Northwest Laboratory
- Çelik A.N., 2004, A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh Models at Southern Region of Turkey, **Renewable Energy**, 29,593-604
- Çevre ve Orman Bakanlığı Hidroelektrik santral raporu, 2012
- Dahbi, M., Benatallah, A., Sellam, M., 2013, The analysis of wind power potential in Sahara Site of Algeri-an estimation using 'Weibull' density function, **Energy Procedia** 36 (2013) 179-188
- Demirci, E., Şenlik, İ., 2009, Ondokuz Mayıs Üniversitesi yerleşkesi rüzgar enerjisi potansiyelinin dönemsel değerlendirilmesi
- Dündar, C. and İnan, D., 1996, Investigation on Wind Energy Application Possibilities for a Specific Island (Bozcaada) in Turkey, **Renewable Energy**, vol.9, p.822-826.
- Emniyetli, G., 2007, Eysel Elektrik İhtiyacının Karşılınması İçin Rüzgar Türbin Tasarımı , Trakya Üniversitesi
- Engin, Ş.N., 2011, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi Eneji Enstitüsü Rüzgar Enerjisi çalışma alanları ve milres projesi, **İzmir rüzgar sempozyumu ve sergisi**
- Erduman, A., Kekezoğlu, B., Durusu, A., Tanrıöven, M., 2011, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından 500 kW'a kadar lisansız enerji üretimi ve fizibilite analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi,

- Geest, P.J., 2013, Wind turbines near airport, NLR Air Transport Safety Institute
- Genç A., Murat E., Pekgör A., Oturanc G, Hepbaslı A. ve Ülgen K., 2005, Estimation of Wind Power Potential Using Weibull Distribution, 27, 809-822
- GEKA, 2012, Enerji Sektörü Raporu, Eylül 2012
- Gipe, P. (1995), Wind Energy Comes of Age, Jhon Wiley&sons Inc., New York
- GÜNDER <http://www.gunder.org.tr>
- Gürdal, T., 2010, Dumlupınar Üniversitesi merkez kampüs elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar enerjisi ile karşılanma olasılığının irdelenmesi yüksek lisans tezi
- Hassan, K. Q., Ahad, A., (2009) Analysis of wind power potentials at selected airport locations in Canada ,Int. J. **Industrial and Systems Engineering**
- International Energy Agency, Key World Energy Statistic dergisi, 2013
- İmal, M., Şekkeli, M., Yıldız, C., 2012, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ana kampüste rüzgar enerji potansiyeli araştırması ve değerlendirilmesi, **KSU Mühendislik Bilimler Dergisi**, 15(2),2012
- Karacan, A. R. (2007), Çevre Ekonomisi ve Politikası, Ekonomi Politika, Uluslar arası ve Ulusal Çerçeve Koruma Girişimleri, Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayın No: 6, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir
- Koç, T., 1999, Ayvalık'ta rüzgar potansiyeli, Balıkesir Üniversitesi **Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi** Cilt: 1 Sayı:2
- Koltukçu, H. (11.06.2010), Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından SWOT Analizi; Kütahya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2010, Kütahya
- Konya Sanayi Odası, 2011, Konya'da Yenilenebilir Enerji Kaynakları Malzeme Üretebilirlik Araştırması, **Mevlana Kalkınma Ajansı**
- Korukçu, M.Ö., 2011, Türkiye'de 4 yerleşim yeri için rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesi, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 16, Sayı 1, 2011
- Köse, F., 2011, Konya Bölgesi rüzgar enerjisi potansiyeli ve bunun kullanılmasında lisanslı ve lisansız üretimlerin değerlendirilmesi, I. Konya Kent Sempozyumu, 26-27 Kasım 2011
- Lashin, A., Shata, A., 2012, An analysis of wind power potential in Port Said, Egypt, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16 (2012) 6660-6667

- Michalak, M. and Zimny, J., `` Wind energy development in the world, Europe and Poland from 1995 to 2009; current status and future perspectives”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews.**, 15(5):2330-2341, 2011.
- Milborrow, D., Garrad, H., 1997, Wind Energy-The Facts, **European Wind Energy Association**, Londra.
- Mukulo, B.M., Ngaruiya, J.M., Kamau, J.N., 2014, Determination of wind energy potential in the Mwingi-Kitui plateau of Kenya, **Renewable Energy** 63 (2014) 18-22
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2013, [www.meteor.gov.tr](http://www.meteor.gov.tr) , Erişim Tarihi : 2013
- Ozerdem, B., Turkeli, H.M., 2005, Wind energy potential estimation and micrositting on Izmir Institute of Technology Campus, Turkey, **Renewable Energy** 30 (2005) 1623-1633
- Özcan, İ., 2011, Isparta ilinde rüzgar enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve bir rüzgar santrali tasarımı yüksek lisans tezi
- Özgür, M.A., Köse, R., 2007, Elektrik enerjisi üretimi için Dumlupınar Üniversitesi rüzgar enerji potansiyelinin analizi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi
- Özgür, M., A., 2006, Kütahya rüzgar karakteristiğinin istatistiksel analizi ve elektrik üretimine uygulanabilirliği doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi
- Pamir, A. N. (2006). Enerji Güvenliği, Stratejik Öngörü 2023, Avrasya Stratejik Araştırmalar Merkezi (ASAM), **Avrasya-Bir Vakfı Yayını**, Ekim 2006, Ankara
- REN21, 2012. Renewables 2012 Global Status Report, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), Paris, France
- Sahin B., “Wind Characteristics and Energy Potential in Belen-Hatay, Turkey”, **International Journal of Green Energy**, 6(2): 157-172, 2009
- Sarı, H., Potansiyel Enerji ve Enerjinin Korunumu, <http://www.acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=94>, Temmuz 2008
- Sesto, E. And Casale C." Exploitation of wind as an energy source to meet the world's electricity demand”, **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic.**, 76(74):375-387, 1998
- SETA Perspektif, 2013, No:16, Enerji Görünümü: Türkiye
- Swain J., Venkatraman S., Wilson J., 1988, Least-squares estimation of distribution function in Johnson’s translation systems. *J.Statist. Comput. Simulation* 29, 271-210

- Şenkal, A., Çetin, N.S., “Türkiye’de Kurulu Olan Büyük Güçlü Rüzgar Santrallerinin Kapasite Faktörlerine Genel Bir Bakış”, Ege Bölgesi Enerji Forumu, Denizli, 12-13 Ekim 2009
- Tağıl, Ş., 1998, Sinop ve çevresinde rüzgar enerjisi potansiyeli, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 8. Enerji Kongresi
- TMMOB Türkiye Elektrik Mühendisleri Odası, [www.emo.org.tr](http://www.emo.org.tr) , Erişim Tarihi : 2013
- Tuna, Muammer, (2001). “Enerji, Çevre ve Toplum” 2. Çevre ve Enerji Kongresi TMMOB MMO Bildiriler Kitabı, İstanbul
- Türkiye Çevre Vakfı Yayınları (2006), Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Önder Matbaası, Aralık 2006, Ankara
- Türkiyenin yenilenebilir enerji kaynakları, 2006, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Aralık
- Türkyılmaz, O., 2014, Türkiye’nin Enerji Görünümü ve Geleceği Şubat 2014
- Ural, G., 1994. Rüzgar Enerjisinin Dünya’daki ve Türkiye’deki Durumu, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri I .17-22 Ekim. İzmir
- Uyar, T. S., 2004. Yenilenebilir enerji, [www.bugday.org/portal/haber\\_detay](http://www.bugday.org/portal/haber_detay). Erişim Tarihi :08.10.2013
- Ültanır, M. Ö., 1998. 21. Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi. TÜSİAD Yayınları Yayın No: TÜSİAD-T/98-12/239, Ankara.
- Varınca K., Gönüllü M.T., 2006, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, UGHEK 2006, Eskişehir
- WAsP User’s Guide, 2009, [www.risoe.dk](http://www.risoe.dk), Erişim Tarihi: 10.06.2013
- Wind Turbines near Airport, Problems and solutions for wind turbine siting in the vicinity of airports, by Peter J. Van der Geest
- World Wind Energy Association, 2013, Worldwide Wind Energy Statistics 2013-Full Year Report, World Wind Energy Association, Bonn, Germany
- Yanıktepe, B., Koroglu T., Savrun, M.M., 2012, Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Osmaniye, Turkey, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 21 (2013) 703-711
- Yazar, A.H., 2013, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünde rüzgar enerjisi verimliliğinin izlenmesi ve elektrik üretim potansiyelinin araştırılması yüksek lisans tezi

Yıldırım, U., Gazibey, Y., Güngör, A., 2012, Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli, **Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Cilt 1, Sayı, 2 (2012), 34-37



## **ÖZGEÇMİŞ**

Bahattin TANÇ 1988 yılında Kayseri’de doğdu. Ortaokul ve lise öğrenimini Mersin’de İçel Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden “Makine Mühendisi” unvanıyla 2011 yılında mezun oldu. 2011 Eylül tarihinden itibaren bir sene TÜBİTAK bursiyeri olarak Aksaray Üniversitesi bünyesinde görev aldı. 2012 yılı Kasım ayından itibaren Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Ana Bilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2013 Mart ayında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başlayarak, akademik hayatına devam etmektedir.

**EK.1-** 2014 yılında “International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences(pp 01 - 09 Vol 02. No. 2-- 2014)” uluslararası hakemli dergisinde yayınlanmış makalenin ilk sayfası

June. 2014. Vol. 2. No.2

ISSN 2311-2484

**International Journal of Research In Earth & Environmental Sciences**

© 2013- 2014 IJREES & K.A.J. All rights reserved

<http://www.ijsk.org/ijrees.html>

## **ESTIMATION OF WIND ENERGY POTENTIAL USING WASP IN HATAY AIRPORT REGION**

Bahattin TANÇ<sup>\*1</sup>, İlker MERT<sup>2</sup>, Hüseyin Turan ARAT<sup>3</sup>, Cuma KARAKUŞ<sup>4</sup>, Ertuğrul BALTACIOĞLU<sup>5</sup>

Department of Mechanical Engineering, Mustafa Kemal University<sup>1</sup>

Vocational School of Maritime, Mustafa Kemal University<sup>2</sup>

Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Mustafa Kemal University<sup>3</sup>

Department of Mechanical Engineering, Mustafa Kemal University<sup>4</sup>

Department of Mechanical Engineering, Mustafa Kemal University<sup>5</sup>

btanc@mku.edu.tr<sup>1</sup>, imert@mku.edu.tr, htarat@mku.edu.tr, ckarakus@mku.edu.tr, baltaci@mku.edu.tr

### **Abstract**

*The main purpose of this study is to determine the possible wind power generation in Hatay airport region using the wind data measured by Meteorology Station of Hatay airport during the year 2012 and included direction-speed values. The airport area was simulated by WASP (Wind Atlas Analyses and Application Program) program. Based on post-processed wind data, the climatology of the region, the local orography and roughness were determined by WASP. In this study, in view of effective electricity generation, two types of micro-siting form for wind turbines also selected and compared. Based on Weibull parameters, wind speed characteristics, wind frequency of occurrence, power density, and the amounts of the total annual energy producing was calculated. As a result of the study indicated that the investigated area has fairly satisfactory wind energy potential for the utilization of Hatay airport.*

**Keywords:** Wind energy, wind potential, Hatay Airport, WASP.

### **1. INTRODUCTION**

Energy resource diversification is one of the indicators of industrialization. Energy resources can be divided into two groups, primary and secondary energy resources. Primary energy source family contents two types of energy that are non renewable energy sources like, petroleum, natural gas, coals, boron and nuclear energy; These types of non-renewable energies have been heavily used last two hundred years with 95% percent. However, while the non-renewable sources getting loses their capacity, they have been caused both environmental pollution and negative effects on ozone layer with greenhouse gas. On the other hand, as the secondary resources, the renewable energy is playing an important role in energy market and developing itself day by day. Also, they have limitless capacity, after and during usage, they have no environmental pollution. Additionally, for the cost analyze approach renewable energy sources have more competitive costs than non-renewable energy sources.

According to 2013 data, Turkey imports 72% of its energy needs by 28% provide their own production. At

this perspective, our country's energy policy has to be turned to renewable energy sources. Renewable energy sources, especially wind is a valuable form of renewable energy resources that does not cause water or air pollution and our country's energy demand meets 4.7% with this type of energy [1].

Turkey has very high wind potential. According to the “Turkey Wind Map” obtained from General Directorate of Electrical Power Resources, wind speed at 50 m above sea level and outside the residential areas, at East Mediterranean coasts and inner parts of this region are 6.0–7.0, 4.5–5.0 m/s, respectively [2].

Because of this high wind capacity of Turkey, many numerical and experimental studies are executed for wind energy potential and wind energy characteristics, by investigators. [3-8]. In those studies, they reported the items of availability of wind turbines, wind characteristics of regions, electricity capabilities and cost analyses of this technology. In addition, they used different methods for getting knowledge about the wind speed and energy characteristics. Especially Hatay region which located in southern Turkey has 6 m/s wind speed and reaching 300 days of the year steady wind breeze, constitute an ideal ambient for wind turbines. In this study, the wind characteristics and

**EK.2-** 2013 Yılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM 2013)' unda  
04.09.2013 tarihinde sunulan bildiri ilk sayfası

## Antakya Havaalanı Bölgesi Rüzgâr Karakteristiğinin İncelenmesi Investigation of Wind Characteristics in Antakya Airport Region

Bahattin TANÇ\*, Hüseyin Turan ARAT,  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Petrol Doğalgaz Mühendisliği Bölümü  
Mustafa Kemal Üniversitesi  
Hatay, TÜRKİYE  
{btanc, htarat}@mku.edu.tr

Cuma KARAKUŞ, İlker MERT  
Makine Mühendisliği Bölümü  
Denizcilik Meslek Yüksekokulu  
Mustafa Kemal Üniversitesi  
Hatay, TÜRKİYE  
{ckarakus, imert}@mku.edu.tr

**Özetçe—** Günümüzde ülkelerinin sanayileşmesine paralel olarak enerjiye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda özellikle fosil kaynaklardan elde edilen enerji üretimindeki azalma ve arz-talep dengesinin düzensizliği; enerji çalışmalarının yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları konularında yoğunluk kazanmasını sağlamıştır. Bu enerji türlerinden en elverişli olan türler genel olarak rüzgâr ve güneş enerjisidir. Ülkemizin dünya üzerindeki yeri ve coğrafi özellikleri yenilenebilir enerji türlerinin verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan 2011 yılı Antakya Havaalanı bölgesi rüzgâr hız verileri kullanılarak bu bölgenin rüzgâr enerji potansiyeli ve karakteristiği, incelenmiştir. Havaalanın bulunduğu bölge WAsP (Wind Atlas Analyses and Application Program) programı ile simule edilerek bölgenin rüzgâr haritası çıkarılmıştır. Ölçüm yapılan istasyon ve kurulacak rüzgâr santral çevresi pürüzlülük değerleri, çevre yapı bilgileri programa girilmiştir. Wasp programı ile ayrıntılı olarak incelenen bölgenin teknik analiz sonuçları irdelenmiş ve rüzgâr hızı, rüzgâr oluşma sıklığı (frekansı), güç yoğunluğu ve yıllık üretilecek toplam enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda Antakya havaalanı bölgesinin rüzgâr enerji potansiyeli açısından önemli bir kapasiteye sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler —** Rüzgâr enerjisi, Rüzgâr potansiyeli tahmini, WAsP programı, Hatay Havaalanı,

**Abstract—** Today, the demand for energy in line with the industrialization of the countries and requirement of energy is increasing. In recent years, a decrease in the production of energy derived from fossil sources and the supply-demand balance irregularity, the energy intensity provided to gain studies on renewable and alternative energy sources. These energy forms which the maximum benefit in terms of the species that are wind and solar energy. The location and geographical features of our country on the world allows the efficient use of renewable forms of energy. In this study, the wind energy potential and characteristics of Hatay Airport, will be examined using data from the average speed of the wind which has belong to 2011 year and undertaken from the permission of Meteorology Station of Hatay. The airport area was created by simulating with WAsP (Wind Atlas Analyses and Application Program) program wind map of the region. The measured roughness values around the central wind train station and established environmental structure information has been entered by program. Wasp reported the results of the program in detail with the technical analysis of the study area and therefore wind speed, wind frequency of occurrence, power density, and the amounts of the total annual energy produce calculated. As a result of the study, Antakya airport region which has a significant capacity of wind energy potential was determined.

**Keywords —** Wind energy, Wind potential estimation, WAsP program, Hatay Airport

### I. GİRİŞ

Bir sistemin, kendisi dışında etkinlik üretme yeteneğine enerji denilmektedir. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyici faktörlerin başında enerji gelmektedir. Son yıllarda, gelişmekte olan ülkelerin dünya nüfus çoğunluğunu oluşturması nedeniyle, dünyanın enerji talebi de hızla büyümektedir. Bunun neticesinde dünyanın gün geçtikçe artan enerji ihtiyaçlarına karşılık azalan fosil kaynaklar araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Özellikle son otuz yıldır başta rüzgâr enerjisi olmak üzere birçok yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapılmış ve günümüzde de araştırmalar yükselen trendlerle devam etmektedir.

Enerjinin değişik yöntemlerle elde edilmesi ve farklı alanlarda kullanılması, enerji çeşitliliğini artırmıştır. Bu bağlamda, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, optimum ekonomik değerde, verimli enerjinin üretilmesi ve tüketilmesi konularındaki araştırmalar, sayısız ve deneysel çalışmalarla yoğun bir şekilde sürmektedir.

Dünya üzerinde kara ve denizlerde olmak üzere rüzgâr hızının 5 m/s'nin üstünde olduğu 10 m yükseklikteki bölgeler için yapılan incelemelerde rüzgâr enerjisi potansiyelinin yaklaşık olarak 500.000 TWs/yıl (terrawatt saat/yıl) olduğu hesaplanmıştır [1]. Bu büyüklükte bir enerji kaynağının hem çevreci olması hem de diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha ucuz olması rüzgâr enerji yatırımlarını ilk sıralara taşımaktadır. Türkiye'nin gelişmesini sürdürebilmesi, tamamlanabilmesi ve gelişmiş ülkeler seviyesine yükselebilmesi için enerji üretim ve tüketimlerinin, yıllık olarak kişi başına en az bugünkü düzeyin iki veya üç katı seviyelerine çıkarılması gerektiği [2] ve fosil kökenli enerji kaynaklarının en fazla bir asırlık ömürleri kaldığı düşünüldüğünde [3], başta rüzgâr enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi zorunluluğu kendini açıkça göstermektedir.

Ülkemizde devlet destekli çalışmalar neticesinde mevcut bölgelerin uygun enerji dalları ile odaklanmaları sağlanmış ve bölgelerin enerji üretimleri için çalışmalar yapılmıştır. Tükettiği kadar enerji üretemeyen, toplam enerji talebinin yaklaşık dörtte üçünü dışalım yoluyla karşılamak durumundan kurtulmak isteyen ülkemiz, son yıllarda giderek artan bir irade sergileyerek ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak üzere aralarında Hatay'ında bulunduğu bir çok ilde rüzgâr