

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAMAN İLİNİN RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
FARKLI TÜRBİNLERDE GÜÇ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mustafa AKKAYA

122135102

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Prof. Dr. Hasan GÜL

OCAK 2016

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAMAN İLİNİN RÜZGÂR ENERJİSİ POTANSİYELİNİN FARKLI
TÜRBİNLERDE GÜÇ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

Mustafa AKKAYA

122135102

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 08.01.2016 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hasan Gül

Üye: Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ

Üye: Doç. Dr. Mehmet KAYA

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

OCAK 2016

ÖNSÖZ

Enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artış göstermektedir. Ancak fosil kaynaklı elde edilen enerji kaynaklarının tükeniyor olması nedeni ile başta gelişmiş ülkeler olmak üzere tüm ülkeler alternatif enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu kaynakların en önemlilerinden biri yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu kaynakların en önemli kollarından biri ise rüzgar enerjisidir. Bu çalışmada Karaman ili yerleşkesi için rüzgâr enerjisi hız verileriyle güç analizleri yapılmıştır.

Tez çalışmam sırasında ve tezimin hazırlanmasında bana her alanda destek olan ve her konuda beni yönlendiren ve destekleyen değerli hocam Prof. Dr. Hasan GÜL' e sevgi ve şükranlarımı sunarım. Yine çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Ulaş CAYDAŞ'a, Doç. Dr. Ahmet AKKAYA'ya, Araştırma Görevlisi Fatma TEBER'e ve aileme çok teşekkür ederim.

Mustafa AKKAYA
ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	IX
SEMBOLLER LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.1 Yenilenebilir Enerji.....	2
1.1.1. Rüzgâr Enerjisi.....	7
1.1.2. Rüzgâr Türleri.....	9
1.1.3. Rüzgâr Türbinleri.....	9
1.1.4. Rüzgâr Türbini Bileşenleri.....	11
1.1.5. Rüzgâr Türbini Maliyeti	12
1.1.6. Rüzgâr Türbini Bakımı	13
1.1.7. Rüzgâr Türbini Güvenliği	14
1.1.8. Türkiye ve Rüzgâr Enerjisi	14
1.1.9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri	16
1.2. Literatür Araştırması	17
2. METERYAL VE METOT	21
2.1. Rüzgâr Enerjisi Formulasyonu	21
2.2. Eksik Rüzgâr Hızı Verilerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini	21
2.3. Programın Simülatör Gösterimi	23
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	27
3.1. Rüzgâr Türbinine Göre Yıllık Güç Miktarının Hesaplanması.....	28
3.2. Seçilen Rüzgâr Türbinleri İçin Birim Enerji Hesabı.....	37
4. SONUÇLAR	39
4.1. Karaman ili için Rüzgâr Enerjisinden Elde Edilebilecek Enerji Üretim Miktarının Analizi.....	39
5. ÖNERİLER	43

6.	KAYNAKLAR	44
	ÖZGEÇMİŞ.....	50

ÖZET

Bu çalışmada, Karaman ilinde kurulması düşünülen bir rüzgar türbini için enerji verimliliğini önceden tahmin eden bir bilgisayar simülasyonu geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, simülasyonda 2010 yılına ait Karaman ili için Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan veriler kullanılmıştır. Çalışmada 5 farklı yapıya sahip türbin karşılaştırılmış ve enerji verimliliği bakımından en iyi olan tespit edilmiştir. Çeşitli paket programlar kullanılarak rüzgar hızlarına bağlı olarak güç değerleri tahmin edilmiş ve gerçek katalog değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kullanılan simülasyonun, gerçeğe oldukça yakın tahminler yaptığı ve yatırım gerektirmeden bir türbin için gerekli güç değerlerinin elde edilebileceği tespit edilmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılmış ve rüzgar enerjisi hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde yöntem tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde simülasyonlar sonucu elde edilen bulgular verilerek tartışılmıştır. Dördüncü bölümde enerji üretim miktarları hesaplanmış, beşinci ve son bölümde ise öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Rüzgar, Rüzgâr enerjisi, Türbin, Enerji

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE WIND ENERGY POTENTIAL OF KARAMAN CITY IN TERMS OF POWER FOR DIFFERENT TURBINES

In this study, a computer simulation was developed to predict the energy efficiency of a wind türbine for Karaman city, Data used for simulation was belong to year of 2010 for Karaman city and provided from the meteorological station. Five different types of türbine were componed and the best one was obtained by means of energy efficiency. Power volues were estimated with related to the wind speeds by using different programs. Consuquently, the developed simulation model matched the data well close to the measumed findings and it is found to be used for power prediction without any investment. In the first chapter of the study, the subject was introduced and some general information about wind energy was given. In the second chapter, simulation method was presented. In the third chapter, the simulation results were discussed. In the fourth chapter, the quantity of the energy production was calculated. In the final chapter the recommentation was given.

Keywords: Renewable Energy, Wind, Wind Energy, Turbin, Energy

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 2013 sonu itibariyle dünyada enerji temininde kullanılan kaynaklar ve tedarik oranları-milyon-TEP.....	2
Şekil 2. 2010 yılında Türkiye’ de enerji temininde kullanılan kaynaklar ve tedarik oranları	3
Şekil 3. 50m yükseklikte Türkiye ortalama rüzgâr hızları	5
Şekil 4. Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları.	5
Şekil 5. Türkiye’ de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları.	6
Şekil 6. Rüzgâr Türbin Bileşenleri	10
Şekil 7. Matlab ile oluşturulmuş yapay sinir ağı modeli	22
Şekil 8. Matlab programı ile tahmini yapılmış rüzgâr hızı eğrisi ve gerçek rüzgâr hızı değişimi.....	22
Şekil 9. Programın Simülatör Gösterimi	23
Şekil 10. Rüzgar Türbini Generatörünün Matlab paket programında modellenmesi	24
Şekil 11. Matlab Simulink Asenkron Motor Blok Diyagramı	25
Şekil 12. Generatör Uçlarındaki Gerilim	26
Şekil 13. Generatör Akımı	26
Şekil 14. VENSYS V-87 -1500 kWatt rüzgâr türbinine ait performans eğrisi	29
Şekil 15. VENSYS V-87 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini	30
Şekil 16. WaSP Programı yardımıyla yapılan Vensys V-87 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini.....	30
Şekil 17. Vensys V-82 1500 kWatt rüzgâr türbinine ait güç-performans eğrisi	31
Şekil 18. VENSYS V-82 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini.	32
Şekil 19. Nordex S-77 1500 kWatt rüzgâr türbinine ait güç-performans eğrisi.....	32
Şekil 20. NORDEX S-77 V-82 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini.....	33
Şekil 21. Enercon E/101-3000 kWatt için kapasite faktörü ve güç eğrisi.....	34
Şekil 22. Enercon E/101-3000 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini	34
Şekil 23. WaSP programı yardımıyla yapılan Enercon E101 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini.....	35
Şekil 24. Acciona AW 82 1500 kW kWatt rüzgâr türbinine ait güç-performans eğrisi	36
Şekil 25. Acciona AW 82 1500 kW kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini.....	37

Şekil 26. WaSP programı yardımıyla yapılan Acciona AW 82 1500 kW kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini.....	37
Şekil 27. TRNSYS programı ile yapılmış Vensys V87 rüzgâr türbini enerji üretimi simülasyonu (80 metre yükseklikte ki hızlar programa hesaplatılarak.....	39
Şekil 27. Aralık Ayı İçin Güç Eğrisi	42
Şekil 28. Mayıs Ayı İçin 3 Boyutlu Güç Eğrisi	42

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Rüzgâr Türbinlerinin Maliyet Dağılımı.....	13
Tablo 2. Ortalama Rüzgâr hızı 3 m/s den yüksek bölgeler.....	15
Tablo 3. Bölgelere Göre Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunlukları	16
Tablo 4. Matlab Yapay Sinir Ağları Modellemesiyle Tahmin Edilmiş Rüzgar Hızları	23
Tablo 5. Aylık Ortalama Güç- Rüzgâr Hızı Tablosu.....	27
Tablo 6. Mevsimlere Göre Ortalama Rüzgâr Hızı-Güç Tablosu.....	28
Tablo 7. Seçilmiş Rüzgâr Türbinlerine ait karakteristik özellikler.....	28
Tablo 8. Seçilen türbinler için enerji maliyetleri	38
Tablo 9. 2010 Yılı Aralık ayı Vensys V87 türbini için Matlab vasıtasıyla geliştirilen program ile yapılan Güç Analizi.....	40

SEMBOLLER LİSTESİ

$S_{de}(t)$	: Enerji miktarı (kW-h)
S_{full}	: Maksimum enerji miktarı (kW-h)
ξ_g	: Enerji dönüşüm katsayısı
ρ	: Hava yoğunluğu (kg/m ³)
R	: İskonto
$P_{türbin}$	: PHES hidrolik türbininin gücü (kW)
N	: Projenin yıl cinsinden ömrü (yıl)
P_m	: Rotor gücü (kW)
V_0	: Rotor kanatlarına giren alt akıntı rüzgâr hızı (m/s)
$P_{sa}(t)$	: Şebekeden alınan saatlik enerji miktarı (kW-h)
C_{ti}	: t anındaki şebekeden enerji temin fiyatı (TL/kWh)
η_t	: Türbin verimi (%)
$P_t(t)$	: Türbinden t anında üretilen güç (W)
C	: Yatırım maliyeti (TL)

KISALTMALAR LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
EWEA	: Avrupa Rüzgâr Enerjisi Birliği
BGÖ	: Basit geri ödeme süresi (yıl)
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
DERT	: Dikey eksenli rüzgâr türbini
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
EIEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
KDV	: Katma değer vergisi
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
NBD	: Net bugünkü değer (TL)
REPA	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
RT	: Rüzgâr Türbini
TEP	: Ton eşdeğer petrol
GWEC	: Uluslararası Rüzgâr Enerjisi Konseyi
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı

1. GİRİŞ

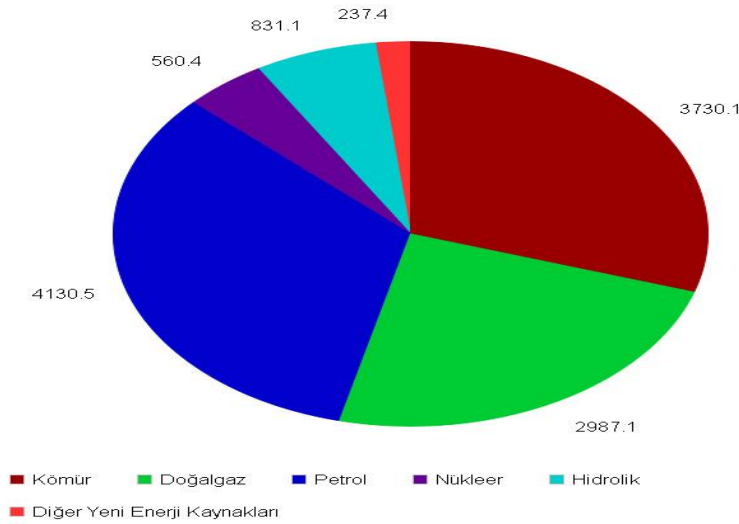
Son yıllarda fosil yakıtların yüksek miktarlarda tüketiminden kaynaklanan çevresel kirlenmenin, küresel ısınmayı ciddi şekilde etkiler duruma gelmesi, fosil bazlı yakıtların sınırlı oluşu ve ithal enerji kaynaklarına gittikçe artan bağımlılık dünya genelinde alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi teşvik etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakların içerisinde yüksek bir potansiyele sahip olan rüzgar enerjisi, hem dünya hem de ülkemiz adına enerji üretimine önemli miktarda katkıda bulunabilecek ekonomik, temiz ve hızla büyüyen enerji ihtiyacını karşılayabilecek bir kapasiteye sahiptir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi, sınırlı olan fosil kaynaklı enerji bağımlılığın azalmasını sağlayacaktır ve aynı zamanda ekolojik denge açısından da olumlu sonuçlar getirecektir.

Yenilenebilir enerjinin kullanılma açısından Dünya’ da yeni teknolojik araç ve cihazlar üretilmiştir. Bu cihazlar vasıtasıyla bu enerji kaynağının daha etkin bir şekilde kullanılması sağlanmıştır.

Rüzgâr enerjisi ile elektrik enerjisi üretimi, dünyaya paralel olarak Türkiye’ de de artmıştır. Örneğin 2010 yılı itibariyle dünyadaki toplam rüzgâr güç üreticilerinin dünya elektrik tüketiminin % 2.5’ luk dilimini karşıladığı görülmektedir. Rüzgâr enerjisi üretimi bakımından; Çin 66.7 GW’ lık elektrik üretimine, Amerika Birleşik Devletleri 60 GW’ lık elektrik üretimine, Almanya 30 GW’ lık elektrik üretimine, Kanada 5.5 GW’ lık elektrik üretimine sahiptir. Avrupa birliği ülkeleri arasında rüzgar enerjisinden elektrik üretimi kapasitesinde Almanya’ dan sonra ikinci sırayı İspanya almaktadır. Ayrıca Danimarka da rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretme kapasitesi %28’ dir ve 2020 yılında bu oranın %50 olacağı tahmin edilmektedir(Anonymous 2014a). Bu çalışmada yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi ile ilgili bir çalışmadır. Çalışma ile ilgili verilerin tamamı Karaman iline aittir. Bir paket program vasıtasıyla elde edilen rüzgar verileri kullanılmış ve beş değişik türbin senaryosundan güç değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonucunda beş türbin içinde bölgeye en uygun olan türbin tipi belirlenmiştir. Belirlenen rüzgar türbini tipine bağlı olarak analizler gerçekleştirilmiş ve gerekli güç eğrileri çizilmiştir.

1.1.Yenilenebilir Enerji

Fosil yakıtlara alternatif olarak gösterilen yenilenebilir enerji kaynaklarının yaşanan teknolojik gelişmeler ile daha verimli kullanılmasıyla yenilenebilir enerji kaynakları günlük yaşamda daha fazla işlevsel bir hâl almıştır. Son yıllarda, Kyoto Protokolü'nün de imzalanması ile birlikte anlaşmada belirtilen maksimum karbondioksit emisyon miktarının altında kalmayı hedefleyen ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük yatırımlar yapmaktadır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretiminde kullanımı hâlâ çok düşük seviyededir. Şekil 1' de dünyada enerji temininde kullanılan kaynakların kullanım oranları gösterilmiştir (Anonymous, 2012b, Anonim 2012a).

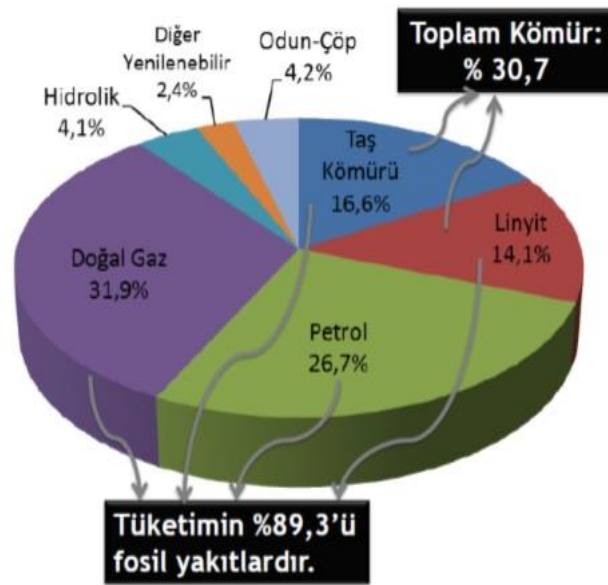


Şekil 1. 2013 sonu itibarıyla dünyada enerji temininde kullanılan kaynaklar ve tedarik oranları-milyon-TEP (Anonim 2012a)

Avrupa Birliği ülkelerinde 2013 yılı itibarıyla toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 9' luk kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından, 560.4 milyon-TEP' lik kısmı nükleer enerjiden, 3730.1 milyon-TEP' lik kısmı kömürden, 4130.5 milyon-TEP' lik kısmı petrolden, 2987.1 milyon-TEP' lik kısmı doğal gazdan sağlanmaktadır. Avrupa Birliği' nin hedefi 2020 yılında toplam enerji tüketiminin % 20' sini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır (Anonymous, 2011a). 2013 sonu itibarıyla enerji temininde petrol içerisinde fosil yakıtların yüksek bir oranı vardır. Aynı şekilde ciddi bir oranı da doğal gaz ve kömür oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının düzeyi ise devlet tarafından verilen teşviklere rağmen halen istenilen seviyede değildir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük

bir bölümünü güneş enerjisi ve güneş enerjisi sistemleri oluşturmaktadır. Güneş enerjisiyle birlikte rüzgar enerjisi konusuyla ilgili de dünya genelinde ciddi çalışmalar vardır.

Türkiye’ de ise toplam enerji tüketiminin % 31.9’ u doğal gazdan, % 26.7’ si fuel oilden, % 30.7’ si kömürden, % 4.2’ si yanıcı yenilenebilir kaynaklar ve atıklardan, % 4.1’ i hidrolik enerjiden, % 2,4’ ü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Anonim, 2011d, Anonim 2013a). Şekil 2’ de görüldüğü gibi enerji tedarikğinde fosil yakıtlardan yararlanma oranı Türkiye için yüksektir. Ülkemizde kısıtlı miktarlarda bulunan fosil yakıtlar çoğunlukla ithal edilmektedir (Özgür,2002).



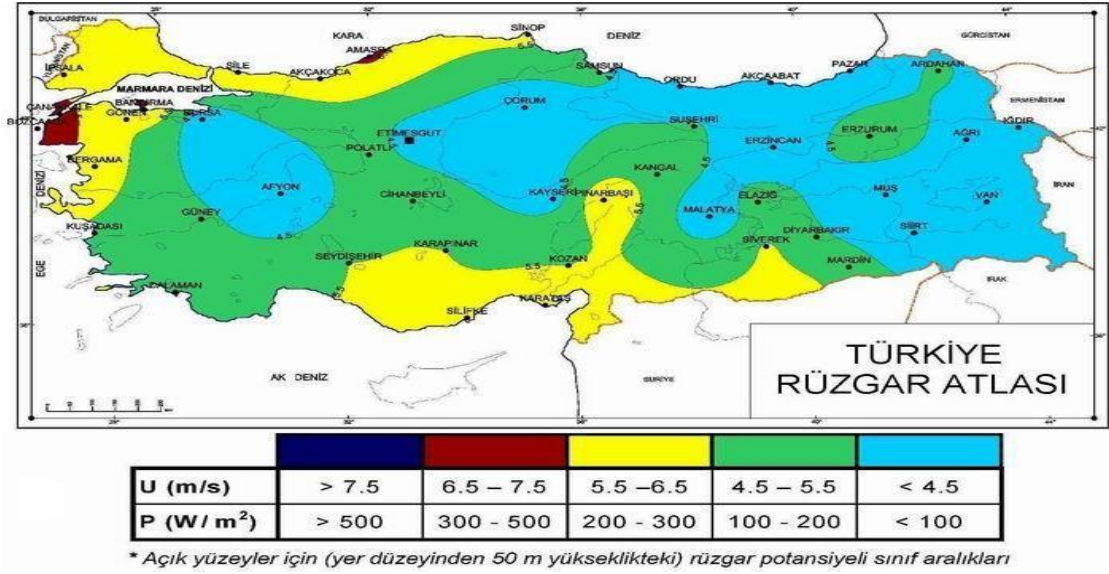
Şekil 2. 2010 yılında Türkiye’ de enerji temininde kullanılan kaynaklar ve tedarik oranları(Anonim 2013a).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma oranı ise Türkiye’deki yenilenebilir enerji potansiyeline nazaran düşüktür. Ancak son yıllarda yaşanan gelişmeler yenilenebilir enerji kaynaklarının gelecekte kullanımı konusunda beklentileri arttırmıştır.

Güneş enerjisi günden güne daha popüler hale gelen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. 2010 yılı itibarıyla dünyada toplam kurulu solar PV kapasitesi 2009 yılına göre % 72 artarak 40 GW olmuştur. Avrupa’daki toplam kurulu PV panel kapasitesi (yaklaşık 32 GW) 2010 yılında eklenen toplam 13.2 GW ile dünya toplam kurulu PV panel kapasitesinin % 80’ini oluşturmaktadır. Almanya yaklaşık 17.3 GW toplam kurulu kapasite ile birinci sırada olup senelik yaklaşık 2.75 TWh elektrik üretmektedir. Japonya 1 GW, Amerika 0,9 GW, Çin 0.6 GW kurulu PV panel kapasitesine sahiptir (Anonymous, 2011s).

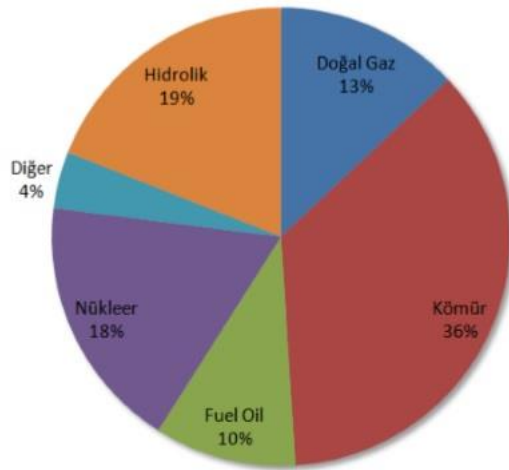
Türkiye’ de ise fotovoltaik güneş enerjisi kullanım miktarı 2009 verilerine göre 4 MW değerine ulaşmış bulunmaktadır (Anonymous, 2011ş). Ülkemiz güneş enerjisi konusunda, diğer ülkelere göre daha elverişli bir yapıya sahiptir. Elektrik İşleri Etüt İdaresinin yaptığı çalışmaya göre Türkiye’ nin günlük ortalama güneşlenme süresi 7.2 saat ve günlük ortalama ışıyım şiddeti ise 3.6 kW’ tır. Akdeniz Bölgesi ve Güney Doğu Anadolu Bölgesi en yüksek güneş radyasyonuna sahip bölgelerimizdir. Ülkemiz son yıllarda özellikle ısıtmada güneş enerjisini yaygın bir şekilde kullanmaya başlamıştır.

Güneş kolektörlerinin ürettiği ısı enerjinin birincil enerji tüketimimize katkısı 2001 yılında 290 milyon-TEP olmuştur (Anonim, 2006a). Bu rakamın 2011 yılı için 500 TEP’ in üstünde olduğu tahmin edilmektedir. Güneş enerjisi ile elektrik üretim sistemleri sorunsuz, temiz olmaları ve işletmelerinin kolay olması nedeniyle günden güne daha çok tercih edilir hale gelmektedir. Ancak, güneş enerjisi ile elektrik üretimi hâlâ gelişim aşamasındadır. Bunda güneş teknolojilerinin çok pahalı olması etkili olmuştur. Rüzgâr enerjisi rüzgâr türbinlerinin son yıllardaki hızlı gelişimi sonucunda günümüzde önemli bir kaynak haline gelmiştir. 2010 yılı itibariyle dünyadaki toplam rüzgâr güç üreticilerinin kapasitesi 197 GW, elektrik üretimi ise 430 TWh olmuştur. Bu da dünya elektrik tüketiminin % 2.5’ luk dilimine denk gelmektedir. Bazı ülkeler elektrik enerji üretiminde rüzgâr enerjisinin kullanımı bakımından yüksek oranlara ulaşmıştır. Danimarka toplam elektrik üretiminin % 21’ ini, Portekiz % 18’ ini, İrlanda % 14’ ünü, Almanya ise % 9’ unu rüzgâr enerjisinden sağlamaktadır. Dünyada rüzgâr enerjisini ticari anlamda kullanan ülkelerin sayısı 84’ e yükselmiştir (Anonymous, 2010a 2011b, 2011c, 2011d). Avrupa 2009 yılında toplam elektrik üretiminin %4.8’ ini rüzgâr enerjisinden sağlamıştır. Hedef 2020 yılında Avrupa’ nın elektriğinin % 14-17’ sini, 2030 yılında % 26-35’ ini rüzgâr enerjisinden üretmektir (Anonymous, 2011e). Türkiye’ de toplam kurulu güç son yıllardaki büyük artışa rağmen 2000 MW’ ı yeni aşmıştır (Anonim, 2012b). Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından yapılan potansiyel belirleme çalışmasına göre yeryüzünden 80 m yükseklikteki rüzgâr hızı 7 m/s’ nin üzerinde olan alanlarda Türkiye’ nin 48.000 MW’ lık RES potansiyeline karşılık üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı yaklaşık 125 Milyar kWh’ dir. Buda gösteriyor ki Türkiye hâlâ rüzgâr enerjisi potansiyelinin az bir kısmını kullanmaktadır. Şekil 3’ te 50m yükseklik için Türkiye’ deki ortalama rüzgar hızı değerleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere rüzgar hızlarına bağlı olarak renklendirme yapılmıştır. Şekil 3’ e göre en yüksek rüzgar hız değeri 7 m/sn civarında Çanakkale bölgesinde görülmektedir. Şekil üzerinde rüzgar hızı 4.5 m/sn ve 7.5 m/sn aralığında olan bölgeler gösterilmiştir (Anonim, 2011a).



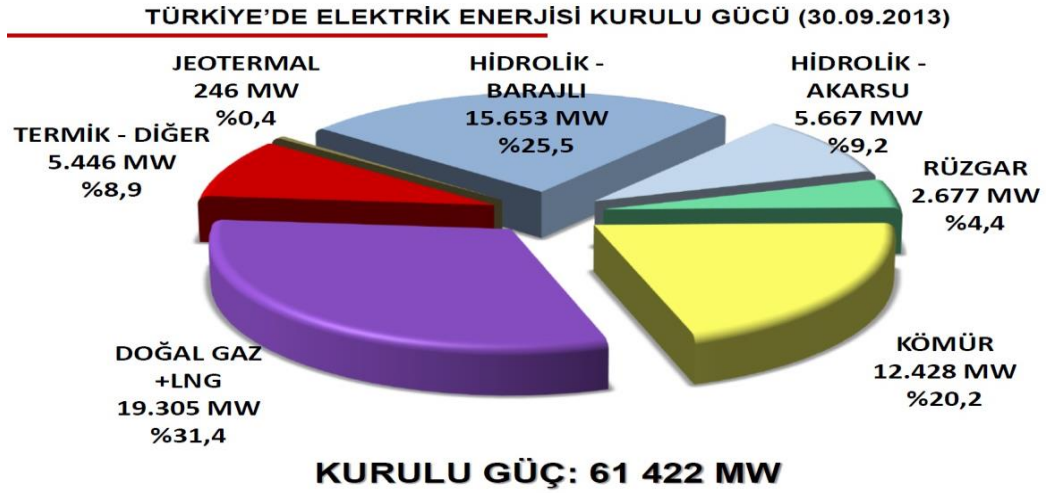
Şekil 3. 50m yükseklikte Türkiye ortalama rüzgâr hızları (Anonim, 2011a)

Yenilenebilir enerji bakımından Brezilya, İspanya, ABD, Danimarka, Almanya, İsviçre ve Venezüella elektrik ihtiyacının bir kısmını rüzgar enerji santrallerinden karşılayan ülkelerdir. Paraguay elektrik ihtiyacının tamamını hidroelektrik santrallerden karşılamakta ve üretiminin % 90' ını Brezilya ve Arjantin' e ihraç etmektedir (Anonymous, 2011f). Şekil 4' de Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları verilmiştir (Anonymous, 2014b).



Şekil 4. Dünyada elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları (Anonymous, 2014b).

Şekil 5’ te Türkiye’ de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları gösterilmiştir (Anonim-Teiaş, 2013a). Ancak Türkiye halen hidrolik potansiyelinin küçük bir bölümünü kullanmaktadır.



Kaynak: TEİAŞ, 08.10.2013

Şekil 5. Türkiye’ de elektrik üretiminde kullanılan kaynakların oranları (Anonim 2013a).

Jeotermal enerji kullanımı diğer yenilenebilir enerji türlerinde olduğu gibi dünyada hızla artmaktadır. Dünyada 70 ülkede jeotermal ısıtmadan 24 ülkede ise jeotermal enerji ile elektrik üretiminden faydalanılmaktadır (Holm ve ark. 2010, Fridleifsson ve ark. 2008). 2010 yılı itibarıyla dünyadaki toplam jeotermal elektrik üretim tesisi kapasitesi 10.715 MW olmuştur ve bu tesislerden toplam 67.246 GWh elektrik üretilmiştir. Bu rakamlar 2005 ile 2010 yılı arasında jeotermal elektrik üretiminin % 20 arttığını göstermektedir. 2015 yılında gelişen teknoloji ile birlikte ;

Doğal Gaz	% 48,6
Kömür	% 28,3
Hidrolik	% 18,5
Fuel Oil	% 3,4
Yenilenebilir Enerji	% 1,1

Toplam kapasitenin 18.500 MW’ a çıkması beklenmektedir. Avrupa’ da ise jeotermal güç üretim tesislerinin kapasitesi 1060 MW civarında olduğu düşünülmektedir (Antics Sanner, 2007). Avrupa jeotermal enerji konseyi 2020 yılı için 5.000 MW, 2030 yılı için

15.000 MW toplam jeotermal güç üretim kapasitesi hedefi koymuştur (Anonymous, 2011e). Önemli bir jeotermal enerji potansiyele sahip olan Türkiye, 31.500 MW jeotermal enerji potansiyeli ile dünyada beşinci sırada Avrupa’ da ise birinci sıradadır. 2010 itibariyle Türkiye’ deki toplam jeotermal elektrik üretim tesislerinin fiili kurulu gücü 92 MW olmuştur (Anonim, 2012a). 2013 yılında Türkiye’nin hedefi toplam 550 MW kapasiteye sahip jeotermal enerji üretim tesisine sahip olmaktır (Holm ve ark., 2010). Son yıllarda jeotermal enerjiye yapılan yatırımlar ve koyulan hedefler halen kullanılabilecek büyük bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olan ülkemiz için önemli bir ölçüdür. Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerjisinin değeri son yıllarda anlaşılmıştır. Canlı organizmaların ve bitkilerin kökeni olarak biyokütle ortaya çıkmıştır. Avrupa’da 2008 yılında enerji tüketiminin 150 Mtoe’si (milyon ton eşdeğer petrol) yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmış ve bunun %70 lik kısmı biyoenerji tarafından sağlanmıştır. 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından %20 enerji temini hedefi koyan Avrupa Birliği, bu oranın yarısından fazlasını biyoenerjiden elde etmeyi planlamaktadır. Avrupa birliğinin diğer bir hedefi ise 2020 yılında ulaşım sektöründe kullanılan yakıtların %10’ luk kısmını biyo yakıttan karşılamaktır (Anonymous, 2010c). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, odun ile hayvan ve bitki atıklarını kullanan klasik biyokütle enerji üretiminin 2020 yılında 7530 Btep olmasını planlamıştır. Bu rakam 2000 yılı için 17 Btep olmuştur. Ülkemizde olabilecek en üst düzeydeki yetiştiriciliğe göre teknik potansiyel 40 Mtep/yıl düzeyinde bulunmaktadır. Ekonomik sınırlamalarla 25 Mtep/yıl değeri, Türkiye'nin ekonomik biyokütle enerji potansiyeli alınabilir (Ültanır, 1998). Ayrıca, bu sistemler uzun depolama sürelerine ve enerji talebindeki ani değişimlere cevap verme kabiliyetlerine sahiptir. İşletme masrafları düşük, doğaya bulundukları etki çok düşük seviyededir. Herhangi bir atığı ve kirlilik etkeni maddesi yoktur. Pompaj depolamalı sistemlerin bazı dezavantajları da vardır(Hasami,2011, Kaya 2012).

1.1.1. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgar, dünya yüzeyine yakın ve atmosfer içerisinde olan havanın doğal hareketi olarak tanımlanabilir. Hava hareketlerinin temel nedeni, mevcut atmosfer basıncının bölgeler arasında değişmesidir. Rüzgar alçak basınç ve yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır. Rüzgar sürekli olarak yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru eser. Güneşten dünyaya saatte 100 milyar MW enerji ulaşır. Güneşten dünyaya ulaşan

ısı enerjisi; yerçekimi ve elektromanyetik kuvvetler tarafından kullanılır. Tüm fosil esaslı tükenen ve tükenmeyen enerji türlerinin kaynağı güneştir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %2' lik kısmı rüzgar enerjisine, önemli bir bölümüde bitkiler tarafından biyokütle enerjisine dönüştürülür(Yerebakan,2001). Kısaca tanımlarsak; rüzgar enerjisi, hız enerjisine dönüşmüş güneş enerjisidir.

Dünyanın kendi eksenini etrafında belli bir hızla dönmesi, kuzey ve güney yarım kürelerde farklı etkilere sebep olur. Dünyaya bulunduğumuz konumdan baktığımızda, kuzey yarım küre üzerindeki her hareketin sağa doğru eğimli, güney yarım küredeki hareketlerinde sola doğru eğimli olduğunu görürüz. Dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi ile yarım kürelerde oluşan büküm kuvvetlerine Coriolis kuvveti adı verilir. Rüzgar, ısınan havanın dünyanın dönme gücü etkisi ile savrulması sonucunda oluşur. Sıcak hava en çok ekvator kuşağında bulunur. Bu kuşaktan, kuzey ve güney yarım küreyi örten atmosferin yüksek katmanlarına doğru yönelir. Coriolis kuvvetleri 30⁰ enlemi çevresinde Coriolis bükme gücü, ekvatorlardan yükselerek gelen hava hareketini; frenler ve yüzeye doğru bastırır. Coriolis kuvvetleri ile bastırılan hava; zemine doğru yoğunlaşır basınç kazanır. Ekvatorda ısınıp yükselen hava, kuzey ve güney yarımkürelerde yer alan 30⁰ enlem kuşaklarında ekvatora doğru rüzgara neden olur(Yerebakan,2001).

1.1.2. Rüzgâr Türleri

Dünyayı saran 11 km kalınlığındaki hava tabakası, rüzgâr gücü ve yönünü belirler. Bu katmana troposfer adı verilir. Rüzgâr kaynağı küresel, yerel ve bölgesel olarak farklılık gösterebilir.

Yüzey Rüzgârları: Dünyayı sarmış konumda bulunan 100 m yükseklikteki hava katmanı, troposfer katmanına göre farklı kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu katmanda oluşan rüzgâra ise yüzey rüzgârları adı verilir. Yüzey rüzgârlarının yönü küresel rüzgârların yönüne göre terstir. Rüzgâr enerjisi, yüzey rüzgârlarından elde edilen enerjidir (Yerebakan, 2001).

Yerel Rüzgârlar: Belirli bir bölgede yer alan baskın rüzgârı elde etmek açısından önemlidir. Bu açıdan büyük ölçekli rüzgârlara katkıda bulunurlar (Yerebakan, 2001).

Deniz Meltemi: Güneş radyasyonu etkisiyle gündüzleri kara üzerindeki hava kütlesi denizdeki hava kütlesine göre daha çok ısınır. Bu durumda hava kütlesi yukarıya doğru hareket etmeye başlar. Böylece kara üzerinde alçak basınç alanı oluşur. Bu alana denizdeki hava kütlesi hareket ederek deniz meltemi oluşmasına neden olur (Yerebakan, 2001).

Kara Meltemi: Akşamları deniz ve kara sıcaklıklarının eşitlenmesi süreci olduğundan hava sakindir. Gece ise kara denizden daha soğuk olduğu için tersine bir hareket başlar. Rüzgâr hareketi karadan denize doğru olur. Buna kara meltemi denir (Yerebakan, 2001).

Jeostrofik Rüzgâr: Sıcaklık farklılıkları etkisiyle oluşan basınç farklılıkları sonucunda oluşur. Jeostrofik rüzgârın yerin yüzey yapısından etkilenmediği var sayılır. Bu rüzgâr hava balonları kullanılarak ölçülür. Rüzgârlar, bulundukları bölgelere göre ve meydana geliş nedenlerine göre isimler alırlar. Devamlı rüzgârlar, aşağıdaki gibi gruplandırılabilir (Anonim, 2006a).

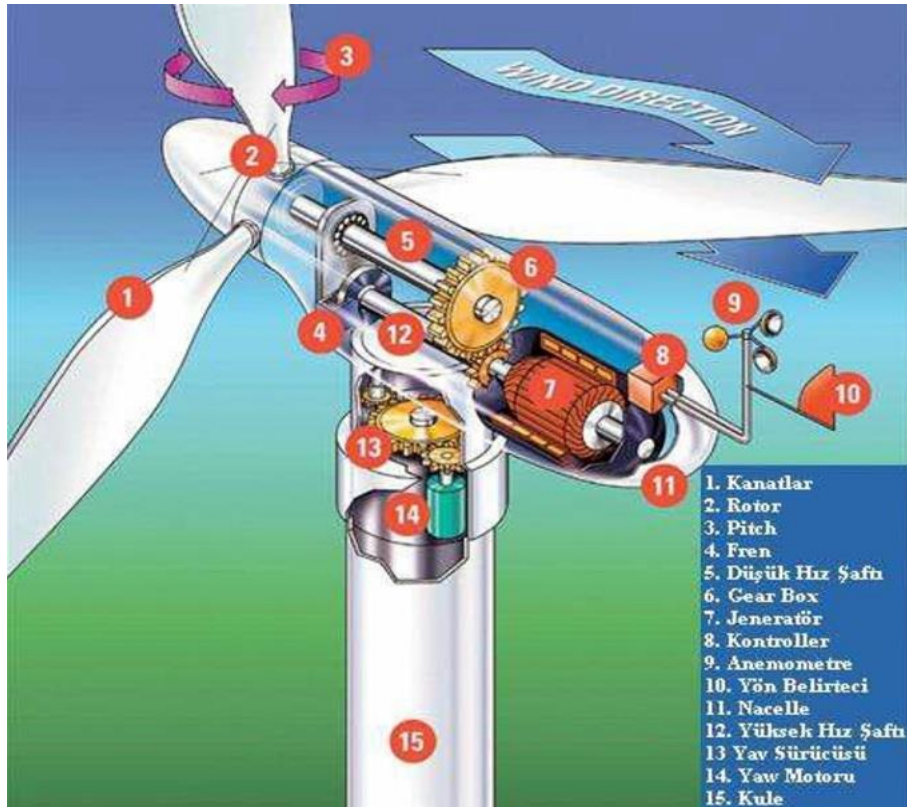
- Kutuplara doğru esen kutup rüzgârları,
- Kuzey yarımkürede kuzeydoğu yönünden, güney yarımkürede güneydoğu yönünden devamlı ve kuru esen alize rüzgârları.

1.1.3. Rüzgâr Türbinleri

Bir hava akışı şeklinde ilerleyen rüzgarın, önüne bir engel konulması veya sabit bir engelle karşılaşması durumunda, rüzgar bu engel üzerine basınç uygular. Rüzgarın önüne konulan engelin hareket yeteneği, rüzgar enerjisini mekanik enerjiye çevirebilir. Bu ilkeden

hareketle, bir mil etrafında dönebilecek tambur veya pervanenin rüzgar etkisi ile dönmesi mümkündür. Günümüzde rüzgarın döner bir türbin ile frenlenerek, mekanik enerjiye dönüştürülme teknolojisi gerçekleşmiştir. Bu teknolojiye rüzgar türbin teknolojisi adı verilir(Yerebakan,2001).

Rüzgâr türbinleri rüzgâr enerjisini mekanik enerjiye ve daha sonrada elektrik enerjisine çeviren cihazlar olarak tanımlanabilir. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Şekil 6’ da rüzgâr türbini elemanları gösterilmiştir. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki jeneratöre aktarılır. Jeneratörden elde edilen elektrik aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılır (Anonymous, 2011t). Şekil 6’ da görüldüğü üzere kanatlar, rotor, fren, düşük hız şaftı, jeneratör, kontrollör, anemometre, yön belirteci, yüksek hız sürücüsü, yaw sürücüsü ve yaw motoru, kule gibi rüzgar türbin elemanları gösterilmiştir.



Şekil 6. Rüzgâr Türbin Bileşenleri(Yavuzcan,1994).

Doğrusal kuvveti, tork veya döndürme kuvvetine dönüştüren kanatlar, bir enerji jeneratörünün dönme miline yataklanmıştır. Rüzgârın türbine taşıdığı enerji aşağıdaki etmenlere bağlı olarak değişir;

- Kanat yüzey alanı
- Hava yoğunluğu
- Rüzgâr hızı

Türbin kanatları enerji dönüşüm teknolojisine göre rotor işlevine sahiptir. Kanatların toplam yüzey alanı esen rüzgârdan ne kadar enerji kazanabileceğini belirtir. Kanatların yüzey alanı, kanat uzunluğu ve kanat açıklığının karesi ile doğru orantılı olarak değişmektedir (Yerebakan, 2001).

Rüzgâr türbini esas olarak rüzgâr etkisiyle dönen pervaneye bağlı olarak yerleştirilmiş alternatörden oluşur. Alternatör içinde yer alan mıknatıs yani rotor, içinde döndüğü sarımda yani statorde bir elektrik gerilimi oluşturur. Daha sonra elde edilen bu elektrik akımı bir trafo yardımıyla istenilen düzeye getirilir. Rüzgâr türbininin gücü, şu etmenlere bağlı olarak değişir;

- Rüzgâr hızı
- Pervanelerdeki pal sayısı
- Pal uzunluğu
- Pal geometrisi

1.1.4. Rüzgâr Türbini Bileşenleri

Türbin bileşenleri, türbin tipi ve tasarımına bağlı olarak değişir. Rüzgâr türbinlerinin karmaşık yapısı, gelişen tasarım teknolojileri ve tasarım araçlarına bağlı olarak basitleşmiştir. Günümüzde en çok 2 ve 3 kanatlı rotor tasarımları yapılmaktadır. 2 kanatlı türbinler, 3 kanatlı türbinlere göre rüzgâr doğrultusuna ters olarak yerleştirilir. Türbinler genellikle yatay eksenli olarak tasarlanır, ancak dikey eksenli türbinlerde vardır. Rüzgâr türbinlerinin kanatları cam elyafı polyester malzemeden yapılır. Kuleler ise çelik boru şeklinde, kafes tipi veya betondan üretilir. Yaygın olarak türbinler 3-5 m/sn hızda çalışmaya başlar. Kanatları dakikada yaklaşık 20 kez döner (Acaroğlu, 2003).

Rüzgâr türbininde başlıca şu üniteler yer alır;

- Dişli Kutusu
- Rotor
- Anemometre
- Otomatik yöneltme düzeni
- Frenleme düzeni

- Yaw sistemi
- Kule
- Jeneratör

1.1.5. Rüzgâr Türbini Maliyeti

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak rüzgâr türbinlerinin ünite güçleri artmış ve fiyatları da kullanılabilir seviyeye gelmiştir. En uygun koşullarda çalışan 2003 model, en gelişmiş teknoloji ürünü, yeni bir türbinin yatırım maliyeti, kurulu kW başına 804 avro olup ürettiği birim elektrik fiyatı 3.79 avro sent/kWh'dir. Rüzgâr türbini seçimine karar vermeden önce, gereksinim duyulan güç miktarının belirlenmesi gerekir. Gereksinim duyulan güç miktarına göre en uygun türbin tipi belirlenir. Örneğin; elde edilecek enerji ile sadece su pompalama işlevi gerçekleştirilecek ise Savonius tipi rüzgâr türbini tercih edilir. Bir bölgenin elektrik ihtiyacı karşılanacak ise büyük güçlü türbinler kullanılır. Türbin maliyetini belirleyen etmenler arasında türbinin yapısal elemanları olan; kule, pervane, dişli kutusu, kontrol sistemi, alternatör gibi etmenlerde maliyeti büyük ölçüde belirler. Kule malzemesinin çelik veya beton olması ve kule yüksekliği de maliyeti etkiler. Rüzgâr türbini pervanesinin; alüminyum, titan, çelik, elyaf ve güçlendirilmiş plastik gibi malzemelerden tasarımlanmış olması maliyeti değiştirir. Dişli sistemi, pervane milinin devir sayısını, alternatörün gereksinim duyduğu devir sayısına çıkarır. Devir sayısının artış ve azalışını karşılayacak olan alternatörün de değişmesi gerekir. Alternatördeki bu güç değişimi maliyetin artmasına neden olur (Öztürk,2008).

Tablo1' de görüldüğü gibi, toplam maliyetin büyük bir kısmını rüzgâr türbini oluşturmaktadır. Kurulum aşamasında toplam maliyetin %64-70'i rüzgâr türbininden kaynaklanır. Bu nedenle, birçok firma, rüzgâr türbini maliyetlerini düşürmek için, yeni teknolojiler üzerinde yıllardır çalışmaktadır.

Tablo 1. Rüzgâr Türbinlerinin Maliyet Dağılımı(Öztürk,2008)

Maliyet etmeni	Toplam maliyet oranı(%)
Rüzgâr türbini	64
İş gücü	13
Elektrik alt yapısı	8
Şebeke bağlantısı	6
Proje yönetimi	1
Kurulum	1
Sigorta	1
Resmi giderler	2
Banka Faizi	1
Genel kredi faizleri	1
Geliştirme maliyetleri	1

Avrupa Rüzgâr Enerji Birliği'nin bir raporuna göre rüzgâr türbinlerinin fiyatı tam olarak üç kat azalma göstermiştir. 1997 yılında 1000 dolar/Kw olan rüzgâr türbinlerinin yatırım maliyetleri 2008 yılında 600 dolar/kW'a düşmüştür. Türbin yüksekliği ne kadar fazla olursa pervaneler o kadar geniş bir alanı süpürebilir. Türbinden elde edilen enerji, süpürülen alan ile doğru orantılı olarak artış gösterir. Diğer taraftan, direk uzunluğunun artması beraberinde kule dayanımının artmasını gerektirir. Bu durum ise ek maliyetlere neden olmaktadır (Öztürk, 2008).

1.1.6. Rüzgâr Türbini Bakımı

Rüzgâr türbini işletilmeye başlandıktan sonra, ileriki zamanlarda türbin veriminin azalmaması ve etkin bir biçimde kullanılması için, düzenli olarak bakımının yapılması gerekir. Bakım maliyeti; alternatör, güç ünitesi, pervane, dişli kutusu, bıçaklar gibi türbin parçaları ile enerjinin iletimi sırasında kullanılan trafolar, elektrik direkleri ve iletim hatlarının bakımlarını içerir.

Günümüzde genel itibariyle kullanılan rüzgâr türbinleri yaklaşık 3-5 m/s rüzgâr hızında çalışmaya başlarlar. En yüksek güce yaklaşık 15 m/s rüzgâr hızında ulaşılır. Rüzgâr hızının yaklaşık 25 m/s' e ulaşması durumunda türbin çalışmaz. Beklenen türbin ömrünün 20-30 yıl olabileceği söylenebilir. Ancak, gerçek ömür, hem türbin kalitesine hem de bölge

çevresel koşullarıyla birlikte bölge iklim özelliklerine de bağlıdır. Günümüz rüzgâr türbinleri üretici firmalar tarafından 20 yıllık ömürlerinde, 120.000 saat çalışacak şekilde tasarlanırlar. Yeni üretim türbinlerin bakım ve onarım maliyetleri, eski üretim türbinlerin bakım ve onarım maliyetlerinden oldukça düşüktür. Rüzgar türbinlerinin büyük çoğunluğunu eski Danimarka türbinleri oluşturmaktadır. Eski Danimarka türbinlerinin yıllık bakım maliyetleri, türbin yatırım maliyetlerinin %3' ü dolayındadır. Yeni üretim türbinlerde ise türbin bakım maliyet oranı, yatırım maliyetlerinin % 1,5-2' si dolayındadır. Rüzgâr türbininin bazı parçaları, özellikle rotor kanatları ve vites kutusu, diğer parçalardan daha çok arızalanır. Özellikle kanatlar, vites kutusu veya üreteç, türbin toplam maliyetinin % 15-20' sini oluşturur (Öztürk, 2008).

1.1.7. Rüzgâr Türbini Güvenliği

Rüzgâr türbini kanatları ve diğer parçaları, en az 50 yıl için tasarlanırlar. Bu süre rüzgârlı koşullarda rüzgâr türbininin 120.000 saat işletilmesi anlamına gelir. Büyük modern rüzgâr türbinlerinde, normal olarak büyük boru şeklinde çelik kuleler kullanılır. Bu kulelerin kafes kulelere göre en büyük üstünlüğü, daha güvenli olması ve bakım ve onarımının daha rahat ve güvenli olarak yapılmasıdır. Olumsuzluğu ise, maliyetleridir. Kafes tipi kulelerin en büyük olumsuzluğu rüzgâr çiftliğine çok fazla uyumlu olmamasıdır. Maliyetleri yüksektir ve bakım onarım için yanına varılabilirliği zordur. Kule yüksekliği türbinlerin kurulması ve bakım/onarım işlemleri için önemlidir (Öztürk, 2008).

1.1.8. Türkiye ve Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr enerji uygulamalarının, diğer enerji kaynakları uygulamalarına göre birçok üstünlüğünün bulunması, son yıllarda EİEİ' nin ve birçok özel sektör kuruluşunun yapmış olduğu ölçüm çalışmaları ile ortaya çıkan yararlanma potansiyeli, rüzgâr enerjisi konusunda teknolojik gelişmeler ve Türkiye'de rüzgâr enerjisinden yararlanmaya yönelik olarak başta Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı olmak üzere ilgili kurum ve kuruluşların yoğun çabaları, dinamik bir ortamın oluşmasını sağlamıştır.

Türkiye' de yerleşim alanları dışında 10 m yükseklikteki rüzgâr hızı yıllık ortalaması, Ege Bölgesi ve diğer kıyı alanlarında 4.5-5.5 m/s, iç kesimlerde 3.4/4.6 m/s arasındadır. 10 m yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı 4-5 m/s olan yörelerimizde, türbin kurulması

açısından önemli olan 50 m yükseklikteki güç yoğunluğu, çoğu kez yıllık ortalama olarak 500 W/m^2 düzeyini aşmaktadır (Ültanır, 1998).

Ülkemizde DMİ kayıtlarına göre rüzgâr santrali kurma çalışmalarında düşünülebilecek, yıllık ortalama rüzgâr hızı 3 m/s ' nin üzerinde olan yerler tablo 2' de verilmiştir. Yıllık ortalama değere bakıldığı zaman 3 m/s ' nin altında rüzgar hızına sahip bölgeler rüzgar enerjisi potansiyeli açısından dikkate alınmaz. Bunun nedeni rüzgar türbinlerinin 3 m/s ' lik alt duyarlılığa sahip olmasıdır. Bu değer altında verim sağlanamaz ve mekanik olarak türbini hareketlendirip elektrik enerjisi üretmek pek mümkün değildir.

Tablo 2. Ortalama Rüzgâr hızı 3 m/s den yüksek bölgeler(Öztürk,2008).

	V(m/s)		V(m/s)		V(m/s)
Antakya	4.2	Florya	3.5	Silifke	3.1
Antalya	3.1	Gökçeada	4.4	Sinop	4.7
Ayvalık	3.2	Göztepe	3.0	Siverek	4.0
Balıkesir	3.1	İnebolu	3.7	Sivrihisar	3.0
Bandırma	5.2	İpsala	3.8	Şile	3.1
Bergama	3.2	İzmir	3.5	Osmaniye	3.8
Ankara	3.2	K.maraş	3.4	Tekirdağ	3.1
Bilecik	3.4	Karapınar	3.6	Uzunköprü	4.1
Bozcaada	7.0	Kırklareli	3.0	Yenişehir	3.0
Cihanbeyli	3.7	Kumköy	4.9	Yozgat	3.0
Çanakkale	4.9	Menemen	4.1	Kireçburnu	4.7
Çeşme	3.8	Muğla	3.4	Seydişehir	3.3
Çorlu	3.9	Karaman	3.2	Doğubeyazıt	3.1
Dikili	3.0	Niğde	3.4	Kdz.Ereğli	3.8

Ülkemizde en büyük rüzgâr potansiyeline sahip bölgesi Marmara bölgesidir. EİEİ'nin tümüyle Devlet Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre, 10 m yükseklikte yaptığı bu çalışmalardan elde edilen güç yoğunluğu değerlerinin, günümüz ekonomik RES uygulamaları için gerekli olan en az $350\text{-}400 \text{ W/m}^2$ değerlerinden çok küçük olduğu görülmektedir. Türkiye genelinde rüzgâr potansiyeli açısından zengin bazı bölgelerde tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Bölgelere Göre Ortalama Rüzgâr Gücü Yoğunlukları(Öztürk,2008).

Bölge Adı	Rüzgâr Gücü Yoğunluğu (W/m²)
Akdeniz Bölgesi	21.36
İç Anadolu Bölgesi	20.14
Ege Bölgesi	23.47
Karadeniz Bölgesi	21.31
Doğu Anadolu Bölgesi	13.19
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	29.33
Marmara Bölgesi	51.91

1.1.9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçerisinde Rüzgar Enerjisinin Üstünlükleri

Rüzgar enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: (Ültanır,1998; Yerebakan, 2001; Acaroğlu, 2003);

- Fosil yakıtlara alternatif ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Ekolojik dengeyi koruyan ve kirliliğe neden olmayan, çevre dostu ve temiz bir enerji kaynağıdır.
- Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için geliştirilmiş olan teknoloji vardır.
- Rüzgâr enerjisi teknolojisi geliştirildiği için kurulum aşamasındaki zararı yok denecek kadar az olmaktadır. Kompozit malzemeden yapılmış kanatlarda kırılma olmamaktadır.
- Türbinden 100 m uzaklıkta duyulan ses otomobil içinde duyulan sestten daha az olmaktadır.
- Rüzgâr santrali projeleri basit ve türbinlerin bakımı kolaydır.
- Tarımsal işlemleri olumsuz olarak etkilemez. Türbinlerin yerleştirildiği alanlar çok dardır ve türbinler arasındaki alan tarım için kullanılabilir.
- Yatırım ve yer değiştirme maliyetleri oldukça düşüktür.
- Rüzgâr santrali kurmak için yatırımcı tarafından kullanılacak olan faiz miktarı düşürülmüş ve bu açıdan teşvik edilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Rüzgâr enerjisi hem karada hem denizde önemli bir enerji kaynağı olarak tarihsel süreçte kullanılmıştır. 5000 yıl önce eski Mısırlıların rüzgâr gücüne dayalı deniz nakliyatı yaptıkları hiyerogliflerdeki kayıtlarda bulunmuştur. Rüzgâr enerjisine dayalı deniz nakliyatı 19. yüzyılda en üst düzeye çıkmıştır. 19. yüzyılda buharlı gemilerin buluşu ile nakliyatın önemi azalmış ve bugün salt bir eğlence aracı olma durumuna kadar düşmüştür. Karada görülen yel değirmenleri de tarihin en eski buluşlarından biridir. Tarihten elde edilen kaynaklara göre ilk yel değirmenlerinin izlerine İran coğrafyasında rastlanmıştır. Arkeologlar İran'da yaptıkları araştırmalarda beşinci asra kadar geriye giden ve sulama amaçlarına hasredilen yel değirmeni ile çalışan mekanik su pompaları bulmuşlardır. O devirdeki yel değirmenlerinin kanatları bezden olup dikey konumunda bulunmaktaydı. Bu tür olmasının nedenleri rüzgâr yönünün denetimi gerekmesinden ötürüydü. Yel değirmenleri daha sonraları dünyanın diğer ülkelerinde de görülmeye başlandı. Bunların örnekleri Avrupa'da on dördüncü yüzyılda, Amerika'da ise yirminci yüzyılda mevcuttur (Haktanır, 2001). İlk olarak rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi, Danimarkalı Profesör Paul La Cour tarafından 1891 yılında üretildi. Doğru akım olarak elektriği elde eden Paul La Cour, elektroliz yöntemiyle hidrojen gazı elde etti ve bu şekilde rüzgâr enerjisini depolamış oldu. 1918 yılı sonrasında büyük şehirler elektriğe kavuşmuş ve dizel yakıtların ucuzluğu nedeniyle rüzgâr enerjisini değerlendirme çabaları, bir kenara bırakılmıştır. Rüzgâr enerjisinin bu bir kenara itilmişliği, enerji sıkıntısı nedeniyle 2. Dünya Savaşı'na kadar ancak sürdürülebilmektedir. Rüzgâr enerjisi kullanımının tarihsel gelişimine; 1942 yılında üretilen 17.5 m pervane çaplı ve 50 kW nominal güçlü Smidth rüzgâr türbini ve 1957 yılında üretilen 24 m pervane çaplı ve 200 kW nominal güçlü Gedser rüzgâr türbini verilebilir (Hau, 1996). 1990 yılından sonra başta Avrupa kentlerinden Almanya olmak üzere Avrupa'da rüzgâr türbini teknolojisi hızla gelişmiştir. Rotor çapı 25-35 m olan 150-300 kW güce sahip rüzgâr türbinleri imal edilmiş ve bu türbinler birkaç seneliğine piyasaya hakim olmuşlardır. 1992 yılında Tacke-Windtechnik adlı firma ilk 500 kW güce sahip rüzgâr türbinini üretmiştir. Bunu ENERCON adlı firmanın yaptığı üretimler izlemiş, 1996 yılında ENERCON 66 m rotor çapına sahip ilk 1,5 MW gücündeki rüzgâr türbinini üretmiştir. Günümüzde artık 100 m rotor çapına ve 2 MW üzeri bir güce sahip rüzgâr türbinleri kullanılır hale gelmiştir. Bunlara en güzel örnek 1500 MW güce sahip olan vensys V87 rüzgar türbinidir (Nurbay ve Çınar, 2005).

Dünya nüfusunun ve enerji ihtiyacının giderek artması, buna karşılık geleneksel enerji kaynaklarının tükenecek olması günümüz teknolojisini güneş, rüzgâr, hidrojen, jeotermal ve biokütle gibi yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarının ön plana çıkmasına olanak sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında ise en büyük potansiyele sahip olan güneş enerjisinin gerek çevre dostu olması, gerekse tükenmeyen, güvenilir ve gürültüsüz bir enerji kaynağı olması sebebiyle gelecekte enerji üretiminde büyük bir paya sahip olacağı düşünülmektedir. Güneş enerjisinden sonra yenilenebilir enerji kaynakları açısından ilk sırayı da rüzgâr enerjisi almaktadır. Rüzgâr; yeryüzü ve atmosfer sistemindeki tüm fiziksel olaylardan etkilenir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Bu bakımdan rüzgâr enerjisinin insanlığa faydalı ve doğa dostu bir enerji türüne dönüştürülebilmesi geleceğimiz için hayati önem taşımaktadır. Rüzgâr enerjisinin yüksek verimle diğer enerji türlerine dönüştürülmesi için gereken maliyet değerleri günümüzde oldukça yüksektir. Uygun maliyet ve yüksek verimde dönüştüğü andan itibaren güneş ve rüzgâr diğer tüm enerji kaynaklarının yerini alacaktır.

Farklı bir çalışmada rüzgâr enerjisinin toplam yük dağılımı maliyetine etkisi araştırılmıştır. Bu etkiyi test edebilmek ve gösterebilmek için seçilen 6 jeneratörden oluşan bir test sistemde 3 farklı çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada ilk olarak sistem üzerindeki iletim kayıpları ihmal edilmiştir. Enerji eldesin de fiyat analizi de önemli bir etkidir. Daha sonradan rüzgâr türbinü devreye dahil edilmiştir ve fiyat analizi üzerindeki etkisi incelenmiştir (Yalçınöz ve ark., 2008). Gökçöl ve ark. Rüzgâr Enerjisi kullanılarak Gebze’ de bir evin elektrik ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Çalışmada Gebze’ de yer alan bir evin günlük enerji ihtiyacı başka bir enerji kaynağı kullanılmadan sadece Rüzgâr enerjisinden karşılanmıştır. 2007-2008 yılına ait rüzgâr hız verileri bilinen Gebze’ de bir ev için altı farklı rüzgâr figürü konfigürasyonu incelenmiştir. Çalışmada simülasyon Matlab programlama dili ile yapılmıştır. Çalışmada son olarak da maliyet analizi gerçekleştirilmiştir (Gökçöl ve ark., 2009). Doğan ve ark. farklı bir çalışmada RETScreen Analiz Programı ile Hatay’da Rüzgâr Enerji Santrali Fizibilite Analizi yapmışlardır. Hatay bölgesinde tesis edilecek 1-5-10 MW güçlerindeki 3 adet RES için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir (Doğan ve ark.2012). Ayan ve ark. yenilenebilir enerji kaynakları yatırım projelerinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirilmesi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmadaki amaç; analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı kullanarak Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sırası belirlemektir (Ayan ve ark, 2013). Eminoglu bu çalışmada bir rüzgâr türbininin coğrafi şartlara göre ekonomik analizini

yaparak maliyeti düşürmeyi amaçlamıştır. Bir rüzgâr türbininin üretim maliyetinin yaklaşık olarak % 75'ini kurulum maliyeti oluşturmaktadır. Kurulum maliyetini en aza indirmek için coğrafi şartlar dikkate alınmalıdır. Yapılan bu çalışmada da MATLAB GUI kullanılarak bölge ile ilgili ölçümler ve analizler yapılmıştır. Matlab ile yapılan bu çalışma sayesinde sistem kurulmadan önce maliyet tahminleri yapılmıştır. MATLAB GUI kullanılarak geliştirilen yatay eksenli rüzgâr türbini için bölgenin ortalama sıcaklık, rakım, ortalama rüzgâr hızı gibi ölçümler yapılarak en düşük maliyette enerji üretimi için rotor yarıçapı, jeneratör gücü, hub yüksekliği ve kanat sayısının en uygun büyüklüklerinin belirlenebildiği tasarım optimizasyon paketi hazırlanmıştır (Eminoğlu, 2012). Elektrik enerjisi elde etmek için geçmişte hidrolik, doğalgaz, petrol gibi birçok kaynak kullanılmıştır. Günümüzde güneş kaynaklı rüzgâr enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları da aktif şekilde kullanılmaktadır.

İşcan ve Demirbaş bu çalışmasında rüzgâr enerjisi ile ilgili olarak rüzgâr türbin simülasyonunun gerekliliğini anlatmışlardır. Rüzgâr türbini maliyetli bir sistem olduğundan, maliyet analizleri için her yere rüzgâr türbini kurmak pek mümkün değildir. Bu sebepten dolayı bilgisayar kaynaklı simülasyonlar yapılarak sanal ortamda analizler yapabilme olanağı sağlamışlardır. Rüzgâr türbinleri için gerekli analiz ve simülasyonlar için Matlab/Simulink, DigSILENT, Saber v.b programlar kullanılmaktadır (İşcan ve Demirbaş ,2011).

Castronuovo ve Lopes (2004), Rüzgâr-Hidrolik bir güç santralinin ideal çalışması ve boyutlandırması’’ konusunda simülasyon çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada elektrik şebekesine tam olarak bağlı olan bir rüzgâr-hidrolik güç sistemini maksimum kar elde edilmesi amacıyla tasarlanmış ve bu sistem ile enerjinin ucuz zamanda alınıp diğer zamanlarda satılması ile yıllık %11.92 kar elde edilebileceği ortaya konmuştur. Simülasyon üzerinde buna yönelik analizler yapılmıştır.

Hesami ve Bowly (2011), “Portland Rüzgâr Çiftliği için bir enerji depolama sisteminin Ekonomik fizibilitesinin hesaplanması ve optimizasyonu konusu üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada şebekeye bağlı olarak çalışan bir PHES, hava sıkıştırırmalı depolama sistemi ve termal enerji depolama sistemi modellenmiş ve maliyet analizleri elde edilmiştir. Maliyet analizleri için simülasyon programı kullanılmıştır. Diğer çalışmalarda olduğu gibi analiz için programlanmanın kullanılması önem arz etmektedir. Elde edilen sonuca göre hava sıkıştırırmalı sistemler % 15.4 karlılık oranı ile en çok kar edilebilen

depolama şekli olmuştur. Ayrıca yapılacak bir PHES' in % 9.6, termal enerji depolama sisteminin ise % 8 karlılık oranına sahip olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Duque ve ark. (2011), “Rüzgâr enerjisinin dengesizliğinin giderilmesinde kullanılan rüzgâr-pompaj depolamalı hibrit güç sistemin çalışmasının optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma bir rüzgâr hızı tahmin metodu kullanılarak yapılabilecek enerji üretimi öngörülmeyle çalışılmış ve bu tür bir sistemden mali bir kâr elde edilebileceği belirtilmiştir. Rüzgâr hızı tahmin modeli olarak matlab üzerinden simülasyon modellemesi kullanılmıştır. Bunun sebebi de sadece deneysel olarak denemek amacıyla her yere rüzgar türbini kurulamaz. Rüzgar türbini santralı ciddi anlamda maliyet gerektiren bir sistemdir. Bu sebepten ötürü bu çalışmanın maliyet açısından önemli bir yeri vardır.

Jaramillo ve ark. (2004), “Rüzgâr enerjisine tamamlayıcı olarak hidrolik gücün kullanılması konusu üzerinde farklı bir çalışma yapmışlardır. Sistem üzerinde devamlı olarak güç sağlanması için kurulabilir bir hibrit sistem konusunu ele almışlar ve kurdukları sistemden 20 MW sürekli güç elde edilebileceğini ortaya çıkarmışlardır.

Behçet ve arkadaşları yapılan çalışmada rüzgar enerjisi potansiyeli bakımından Malatya ilinin Doğu Anadolu bölgesindeki yerini analiz etmişlerdir. Çalışma da; günümüzdeki enerjinin neredeyse %90' ın geleneksel enerji kaynaklarından karşılandığı vurgulanmıştır. Bu kaynakların yıllar geçtikçe tükeneyeceği ve bu nedenden ötürü yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelimin gerçekleşeceği vurgulanmıştır. Yenilenebilir kaynaklar içerisinde rüzgar enerjisinin öneminden bahsedilmiştir. Doğu Anadolu bölgesinin de rüzgar enerjisi kullanımında son sıralarda yer aldığı belirtilmiş ve buna yönelik analizler yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak da Malatya iline ait rüzgâr enerjisi bilgileri toplanarak rüzgar enerjisi kaynağının en verimli şekilde kullanılabileceği yerler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda da Malatya için rüzgâr enerjisinden etkili ve sürekli bir şekilde faydalanmak için önerilerde bulunulmuştur.

2.METERYAL ve METOT

2.1.Rüzgâr Enerjisi Formulasyonu

Rüzgâr enerji sistemlerinde hava akımından dolayı elde edilen rüzgâr gücü rotorlar yardımıyla mekanik enerjiye, mekanik enerji ise jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemlerde rüzgâr hızı ve diğer değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren bağıntılar aşağıdaki gibidir (Patel, 1999, Aksoy, 2011). Kinetik enerjinin formülü aşağıdaki bağıntı ile tanımlanabilir.

$$KE = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad (2.1a)$$

Burada; m havanın kütleli debisi, V ise havanın hızıdır. Bağıntının sonucu ise joule (J) cinsindendir. Hareket eden hava akışındaki mekanik güç aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$P_R = \frac{1}{2} (\rho \times A_{RT} \times v) V^2 \quad (2.1b)$$

Rüzgâr gücünün (P_R) sonuç olarak elde edildiği bu denklemde, ρ hava yoğunluğu (kg/m^3) A_{RT} rüzgâr türbini kanatlarının süpürme alanı (m^2) , v hacimsel debi, V rüzgârın hızı (m/s) olarak tanımlanmaktadır. Gerçek güç P_E ise;

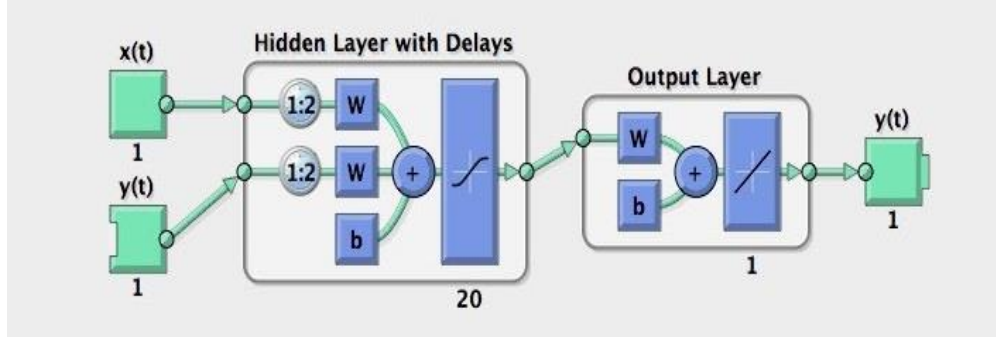
$$P_E = \frac{1}{2} (Havanın kütleli akış oranı) V^2 - V_0^2 \text{ 'dır.} \quad (2.1c)$$

Bu denklemde görüldüğü üzere iki adet hız bulunmaktadır. V, rotor kanatlarına giren rüzgâr hızı (m/s), V_0 , rotor kanatlarına geçen rüzgâr hızını (m/s), belirtmektedir. Hava kütleli akış oranı ise hava yoğunluğu, rüzgâr türbini süpürme alanı ve ortalama rüzgâr hızının çarpımına eşittir.

2.2. Eksik Rüzgâr Hızı Verilerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmini

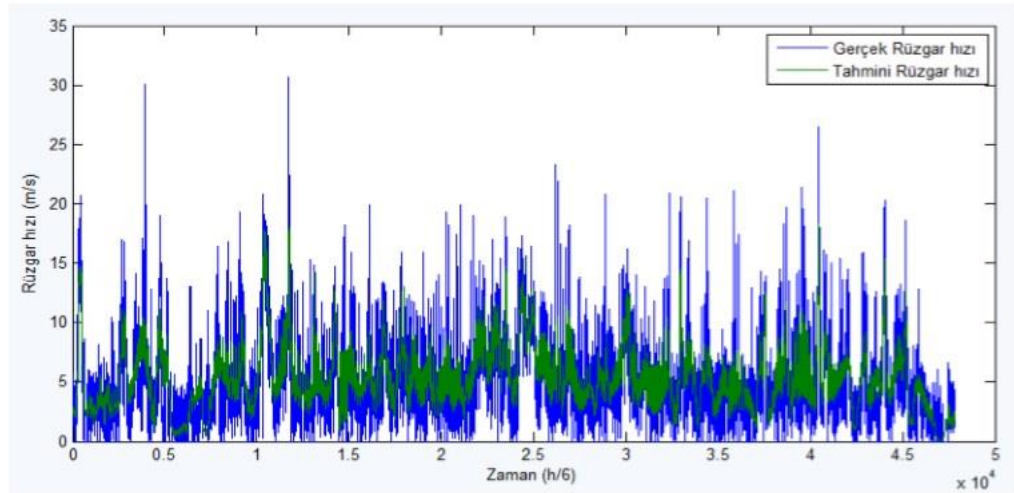
Daha öncede belirtildiği gibi tez çalışmasına 2010 yılına ait 2010 yılı verileri kullanılmıştır. Ölçülemeyen günlerdeki eksik rüzgar hızlarının tahmini için yapay sinir ağları metodu istatistiki olarak kullanılmıştır. Bu metot ile tahmin yapılırken değişken olarak, mevsim, ay, gün, saat verileri kullanılmıştır. Rüzgâr hızı verilerinin girilmesi ile MATLAB paket programı kullanılarak, Şekil 7' deki yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Yapılan bu modellemede gizli katman ve çıkış katmanı aşağıda verilmiştir. Yapay sinir ağı

modeli oluşturulmasında Matlab paket programı kullanılmıştır. Matlab simulinkde katmanlar ve alt parametreleri detaylı bir şekilde çizilmiştir. Bunun sonucunda ise aşağıda verilen blok şeması elde edilir.



Şekil 7. Matlab ile oluşturulmuş yapay sinir ağı modeli

Görüldüğü gibi model iki adet katman, bir gizli katmandan ve 20 ağdan oluşmaktadır. Ağ tipi olarak cascade- forward backrop yani, kademeli-ileriye yönelik geri besleme kullanılmıştır. Şekil 8’ de MATLAB programı tahmin edilmiş rüzgâr hızının değişimini ve ölçülmüş rüzgâr hızının değişimini bir arada gösteren grafik verilmiştir. Şekildeki mavi renkler gerçek rüzgar hızı değerlerini, yeşil renkler ise tahmini rüzgar hızı değerlerini göstermektedir. Bu değerler birlikte analiz edilerek aynı grafik üzerinde gösterilmişlerdir.

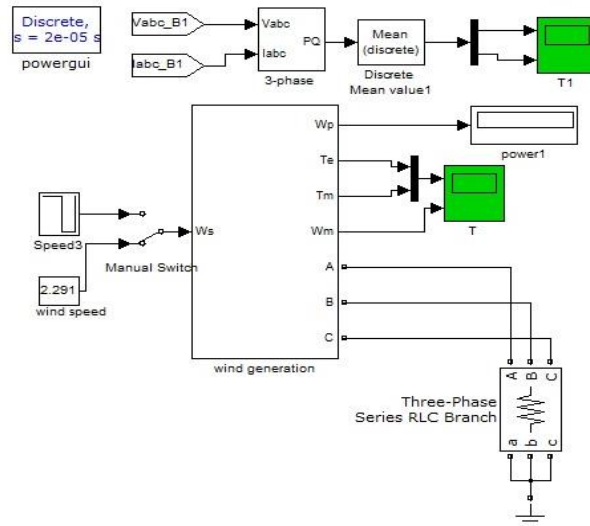


Şekil 8. Matlab programı ile tahmini yapılmış rüzgâr hızı eğrisi ve gerçek rüzgâr hızı değişim

Tablo 4’ de gün içerisinde saatlik olarak alınmış rüzgar hız verilerinden sıfır olanlar çıkarılarak, yapay sinir ağlarıyla matlab üzerinden yapılmış modelleme değerlerinin bir kısmı verilmiştir. Yapılan bu yapay sinir ağı modellemesi eksik rüzgar verilerinin tahminlemesine olanak sağlayacaktır.

Saat	Rüzgar Hızı (m/sn)	Rüzgar Hızı (80m)	Tahmin edilmiş rüzgar hızı (m/sn)
8	0.7	0.936549288	1.223
9	0.5	0.668963777	1.965
10	0.3	0.401378266	0.89
13	1	1.337927555	1.894
14	1	1.337927555	1.412
15	0.5	0.668963777	0.989
16	0.6	0.802756533	0.994
18	1.3	1.739305821	2.171
21	1.3	1.739305821	2.145
23	0.5	0.668963777	0.965

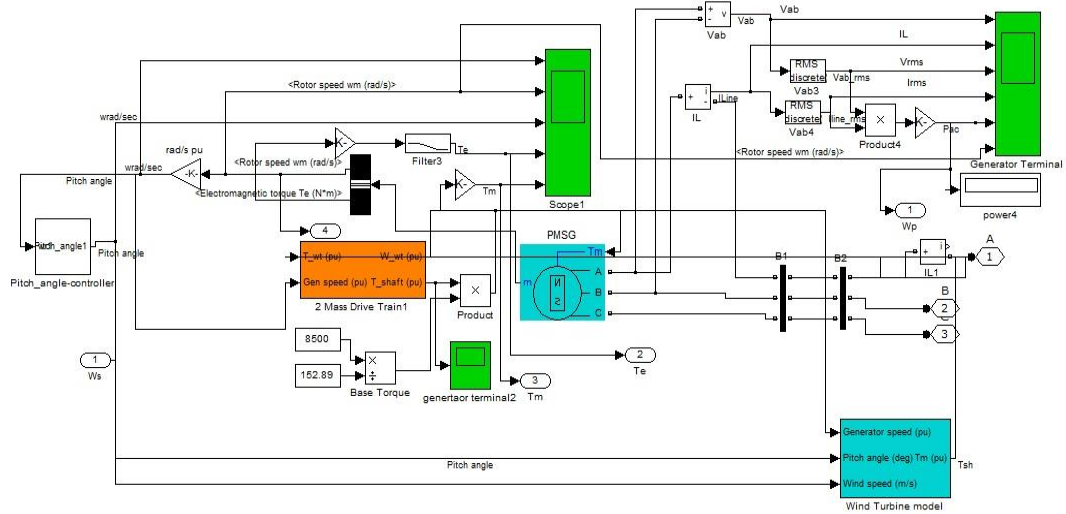
Simulink, bir yazılım programı olan Matlab yazılımının bir parçasıdır ve esas işlevi dinamik sistemlerin benzetimini gerçekleştirmektir. Yapılan rüzgâr türbini benzetimi de Matlab-Simulink üzerinde yapılmıştır. Programa ait simülasyon Şekil 9’ da verilmiştir.



Şekil 9.Programın Simülatör Gösterimi (Heier, 1998).

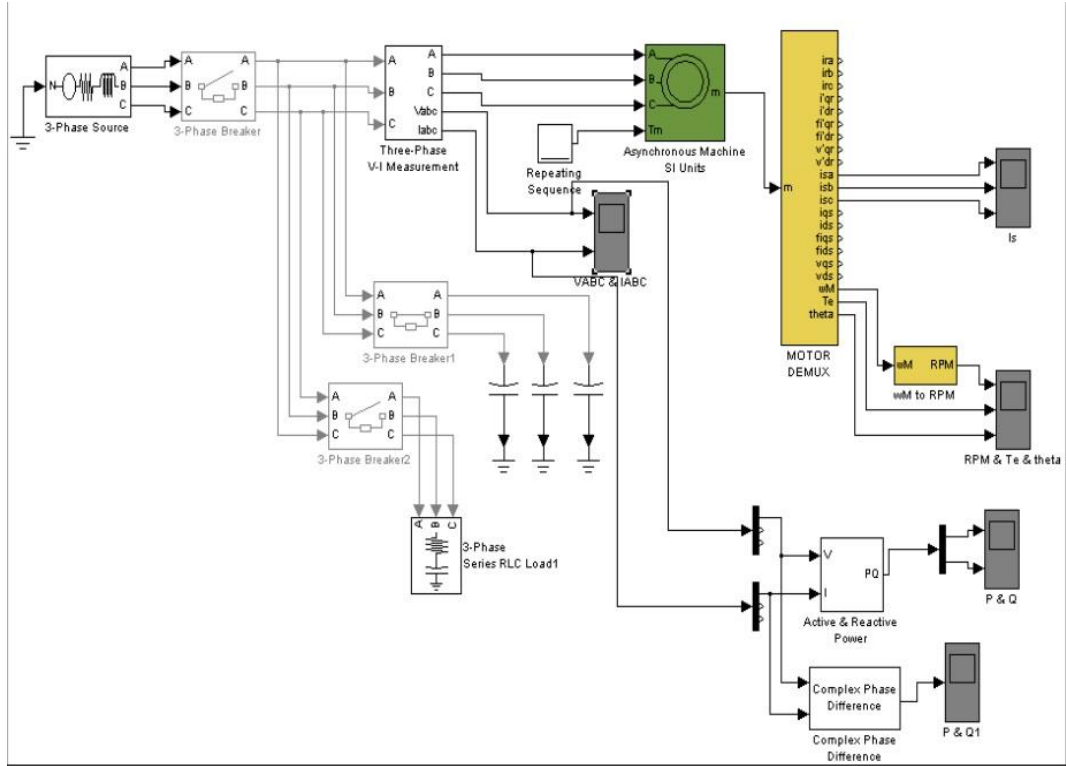
Bu tez çalışmasında Karaman ilinde Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi yerleşkesinin enerji ihtiyacının rüzgâr türbininden karşılanması ile ilgili analizler yapılmıştır. Bu analizlerin ilk adımı da Matlab-simulink ile seçilen rüzgâr türbininin tasarlanması ve programsal olarak enerji çıktılarının yaklaşık olarak elde edilmeye

çalışılmasıdır. Bu aşamada Şekil 9’ da rüzgâr türbininin simulik üzerinde tasarımı gösterilmiştir. Bu simülatör içerisinde Matlab’ ın hazır modülleri kullanılmıştır. Bu modüllere göre sistem içerisinde bir adet rüzgâr türbin modellemesi yer almaktadır. Karaman ili için rüzgâr hız değerleri Vensys V-87 rüzgâr türbinine uygun olduğundan simülasyonda bu türbin kullanılmıştır. Devlet Meteoroloji İstasyonundan (DMİ) alınan rüzgâr hız değerleri (saatlik, günlük, aylık, mevsimlik) simulink programına girildiğinde sistem güç çıkışını vermektedir. Güç değerlerine bağlı olarak da bölge ile ilgili önceden enerji analizleri yapılabilmektedir.



Şekil 10. Rüzgar Türbini Generatörünün Matlab paket programında modellenmesi (Heier, 1998).

Çalışmada bölge için rüzgâr hız verileri alındıktan sonra bu verilere uygun rüzgâr türbini seçilmiştir. Simulink programı içerisinde yer alan rüzgâr generatörü asenkron motordan oluşmaktadır. Topraklama devresinden hemen önce 3 faz RLC seri devre kullanılmıştır. T1 ve T ekranlarında ise generatörden çıkış verilerinin analizleri yer almaktadır. Rüzgâr generatörü içerisinde bulunan asenkron motorun simülasyonunu açtığımız zaman şekil 11’ deki ekran görünecektir.



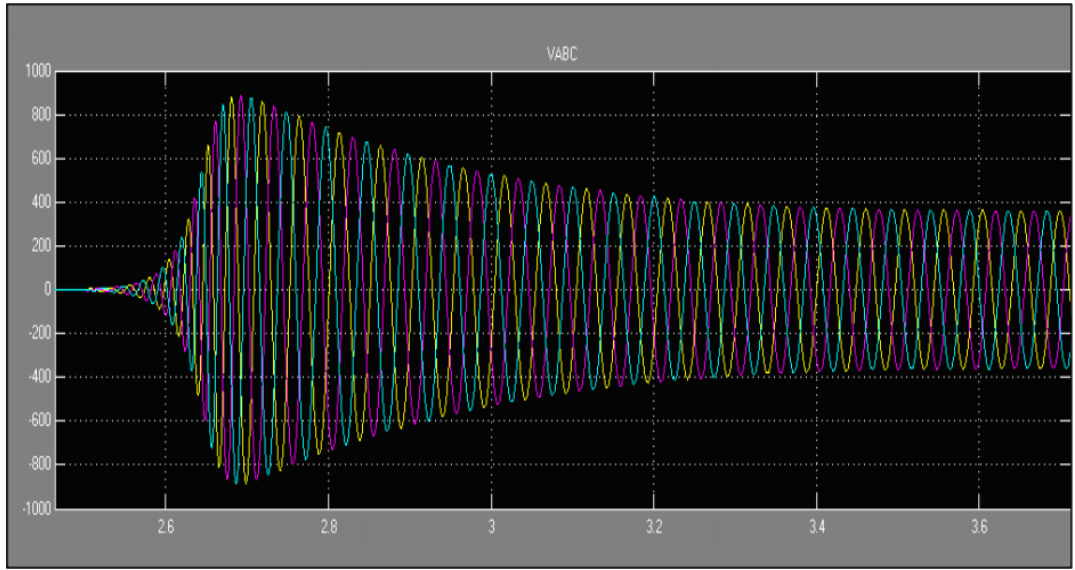
Şekil 11. Matlab Simulink Asenkron Motor Blok Diyagramı(Ünsalver,2008)

Kısa devre rotorlu asenkron generatörlerin rüzgâr türbinlerinde kullanılması çok yaygın olarak görülen bir uygulamadır. Bunun nedeni ise; kısa devre rotorlu elektrik makinaları, basit, güvenilir, ucuz, hafif ve çok az bakım gerektirir. Genellikle bu tip generatörler sabit frekanslı şebekeye doğrudan senkron edilirler. Sabit frekanstaki çalışmada, asenkron generatör küçük miktarlardaki kayma dışında sabit hızda çalışmaktadır. Rüzgâr türbini sadece dar bir rüzgâr hızı aralığında optimum verimde çalışır. Değişken hız uygulaması rüzgârdan elde edilen enerji miktarını arttıracak gibi, mekanik aksamdaki moment dalgalanmalarını ve şebekeye gönderilen güç dalgalanmalarını da azaltacaktır. 5 kW nominal güce sahip, kendinden uyarmalı asenkron generatörün simülasyonu Simulink programı kullanılarak sistemin Simulink'te şekil 11' deki gibi kurulması ile yapılmıştır.

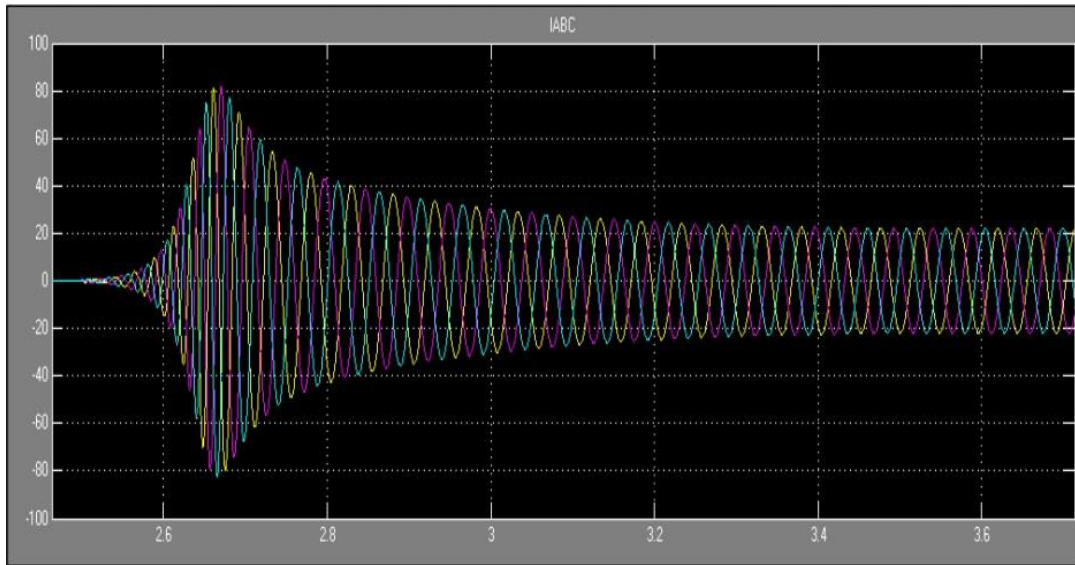
Simulasyonda kullanılan asenkron makinanın nominal gücü, frekansı, stator ve rotor öz endüktansları gibi parametreleri, elektrik makinası üreten çeşitli firmaların katalog değerlerinden alınarak sisteme girilmiştir.

Generatörün çıkışına, elektrik enerjisi üretebilmesi için gereken reaktif enerjiyi sağlayarak, uyarma alanını oluşturacak olan yıldız kapasite grubu ile birlikte bağlanmıştır. Çıkış frekansı, kayma, çıkış gerilimi ve sistemin çalışma aralığı seçilen kapasite grubunun değerlerine bağlı olarak değişmektedir. Anlık simülasyon değerlerinin görüntülenmesi için

iki tane osiloskop bağlanmıştır. Generatörün milinden negatif moment uygulanarak, makinanın dışarıdan rüzgâr türbini tarafından tahrik edildiği varsayılmıştır. Simulasyon sonuçları, generatör uçlarında oluşan gerilim Şekil 11’ de gösterilmiştir. Şekil 11 incelendiği zaman gerilim dağılımı zamana bağlı olarak görülmektedir. Gerilim çizgilerinin belli bir seviyeden sonra azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 12’ de ise generatör akım grafiği verilmiştir. Matlab ekran görüntüleme(scope) ekranından bu grafikler görülmektedir. Generatör akım değeri de belli bir seviyeden sonra azalma eğilimindedir(Ünsalver,2008).



Şekil 12. Generatör Uçlarındaki Gerilim(Ünsalver,2008)



Şekil 13. Generatör Akımı(Ünsalver,2008)

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Elde edilen sonuçlar ile Karaman ili için rüzgar enerjisinin etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmektedir. Aşağıdaki tabloda en yüksek rüzgar hızı değerlerine göre türbinde elde edilen güç değerleri aylara göre verilmiştir.

Tablo 5’ de görüldüğü üzere aylara göre rüzgâr hız ortalaması alınıp, bu hız ortalamalarına göre hazırlanan rüzgâr türbini simulink modellemesinde güç değerleri elde edilmiştir. Bu rüzgâr hız değerleri için en uygun rüzgâr türbin tipi Vensys V-87 seçilmiştir. Modelleme yapılırken Vensys V-87 parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 5. Aylık Güç- Rüzgâr Hızı Tablosu (VENSYS V-87 Rüzgar türbin tipi için)

Aylar	Rüzgâr hızı(m/s)	Güç(kW)
OCAK	5,249747192	303,5847
ŞUBAT	4,645069172	205,9717
MART	4,552730095	194,4697
NİSAN	5,916427141	370,5413
MAYIS	5,349851986	242,4445
HAZİRAN	5,269762156	239,3167
TEMMUZ	5,340740652	249,5568
AĞUSTOS	5,258918469	231,4045
EYLÜL	4,701700415	161,2707
EKİM	4,918322396	230,8994
KASIM	4,878789993	233,9467
ARALIK	4,744607608	208,9768

Mevsimlere göre ortalama rüzgâr hızı-güç tablomuz tablo 6’ daki gibi olur. Bu verilere göre ortalama olarak en düşük rüzgâr hızı verileri sonbahar mevsimine aittir. En yüksek rüzgâr hızı verileri ise ilkbahar mevsiminde ölçülmüştür.

Tablo 6. Mevsimlere Göre Ortalama Rüzgâr Hızı-Güç Tablosu

MEVSİMLER	Rüzgar Hızı(m/sn)	Ortalama Güç(P,Kw)
KIŞ	4,879807991	239,5108328
İLKBAHAR	5,273003074	256,994245
YAZ	5,289807093	240,0926523
SONBAHAR	4,832937601	208,7055627

3.1. Rüzgâr Türbinine Göre Yıllık Güç Miktarının Hesaplanması

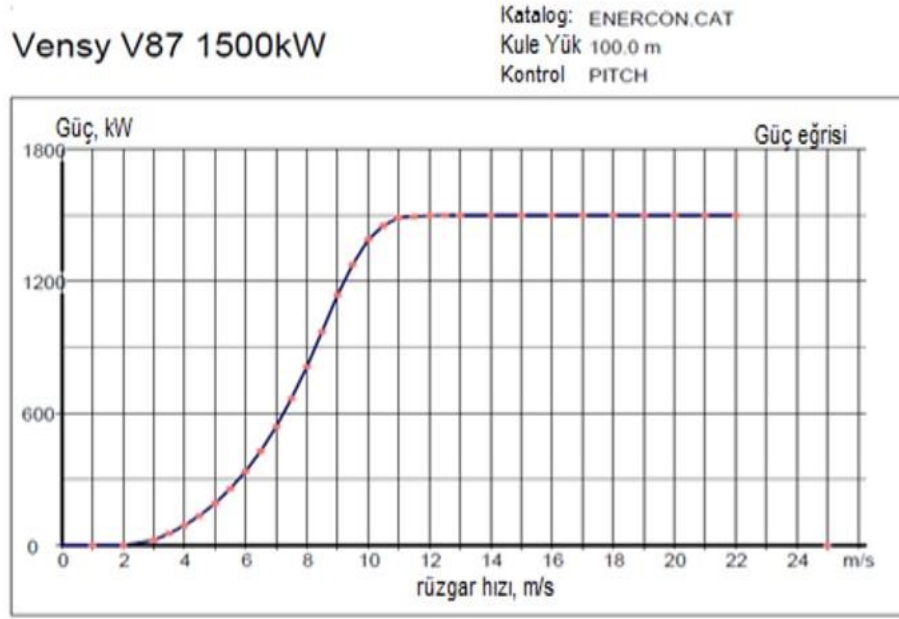
Rüzgâr türbini seçimi için çeşitli rüzgâr türbinlerinin katalog değerleri kullanılarak ALWIN programıyla analizleri yapılarak en uygun rüzgâr türbini seçilmiştir. Orta ve düşük rüzgâr hızlı bölgelerde daha yüksek kapasite faktörü sağlayabilecek büyük rotor çaplı rüzgâr türbinlerin değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Tablo 7’ de yıllık üretim analizleri yapılacak olan seçilmiş 5 rüzgâr türbinine ait özellikler verilmiştir.

Tablo 7. Seçilmiş Rüzgâr Türbinlerine ait karakteristik özellikler(Kaya, 2012)

Rüzgar Türbini	Devreye Giriş Hızı(m/sn)	Devreden Çıkış Hızı(m/sn)	Anma Rüzgar Hızı(m/sn)	Çıkış Gücü(Kw)	Kule Yüksekliği(m)	Rotor Çapı(m)
Vensys V87	3	22	12	1500	100	87
Vensys V82	3	22	12.5	1500	100	82
Nordex S-77	4	25	13	1500	85	77
Acciona AW-82	3	25	12	1500	80	82
Enercon E-101	3	25	12	300	100	101

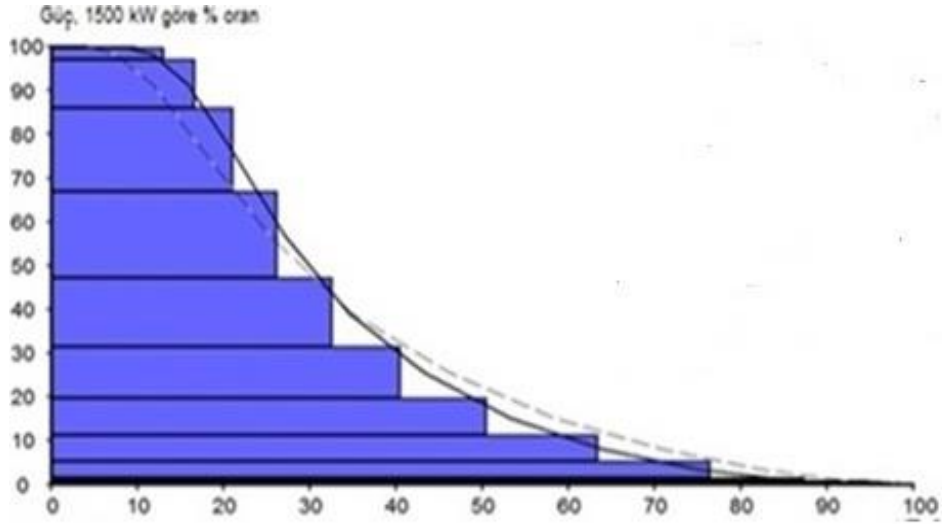
İlk olarak Vensys V87 1500 kW kapasiteli rüzgâr türbini incelenecektir. Türbin 80 m kule yüksekliğine ve 87 m rotor çapına sahiptir. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 3 m/s enerji üretimini kestiği rüzgâr hızı ise 22 m/s dir. Enerji üretimi 22 m/s değerinden sonra sabit bir şekilde ilerler ve enerji üretimi kesilir. Bunun nedeni belli bir hız değerinden sonra atalet kuvveti artarak rüzgar türbinine zarar vermektedir. Şekil 14’ de Vensys V87 1500 kW

rüzgâr türbinine ait performans eğrisi bulunmaktadır. Eğri ALWIN programı yardımıyla çizdirilmiştir. Performans eğrisine baktığımız zaman enerji üretimine başlama ve üretimi durdurma aralıkları görülmektedir. Şekil 14’ de rüzgar hızına bağlı olarak güç eğrisi verilmiştir. Vensys V-87 için türbin yüksekliği 80m olarak girilmiştir. Vensys V-87 türbinine ait güç eğrisi oluşturulurken katalog olarak Enercon.cat kullanılmıştır.



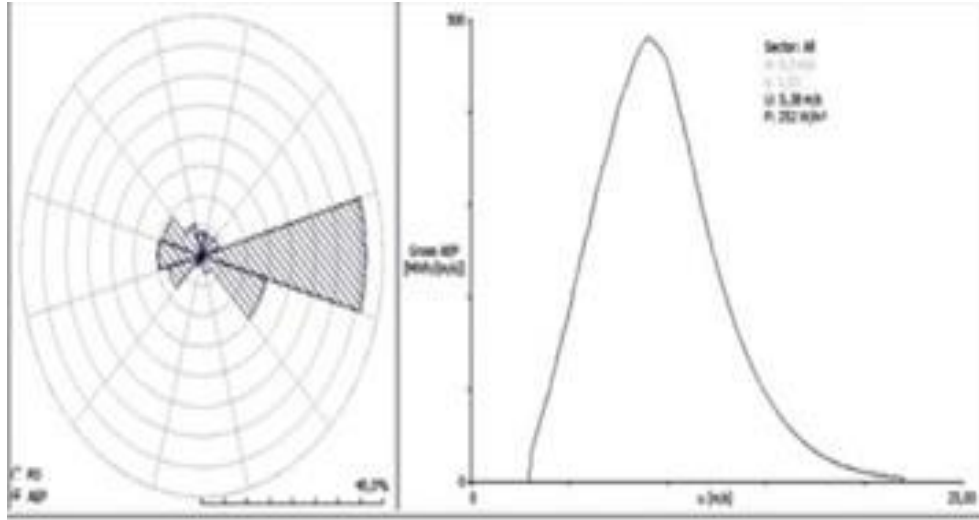
Şekil 14. VENSYS V-87 -1500 kWatt rüzgâr türbinine ait performans eğrisi (Enercon.cat)

Şekil 15’ de Vensys V87 1500 kW rüzgâr türbini ile yapılabilecek enerji üretim miktarları ALWIN Programı ile hesaplanmış ve ortalama olarak verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %30, saatlik ortalama güç ise 450 kW civarında çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 452.4 kW ve %30.1 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 460.7 kW ve %30.7 çıkmaktadır ve aynı türbin için senelik üretim değeri ise yaklaşık 3365 MWh’ dır. Buna göre günlük üretim miktarı yaklaşık 9770 kWh, aylık üretim miktarı 297,080 kWh’ dır. Bu türbin için satış fiyatı Mersin limanına kadar nakliye ve 80m kule dâhil yaklaşık 1.98 milyon Euro’dur (Kaya,2012).



Şekil 15. VENSYS V-87 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012)

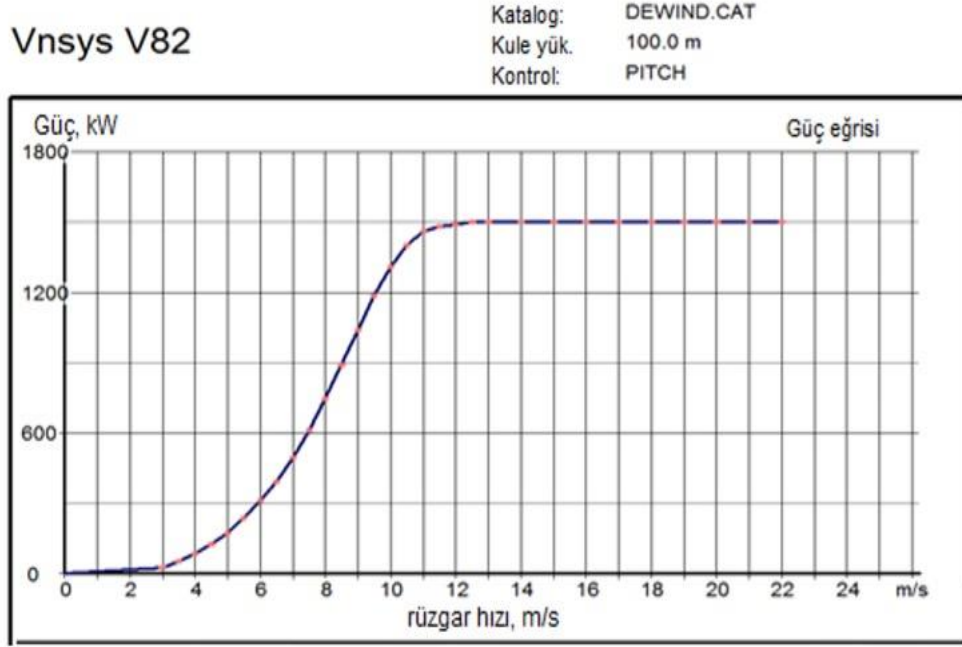
Aynı rüzgâr türbini için WaSP programı ile rüzgâr enerjisi üretim hesaplaması yaptırılmıştır ve sonuçlar Şekil 16’ da verilmiştir. Buna göre yapılabilecek senelik enerji üretim değeri 3346 MWh olarak hesaplanmıştır (Kaya,2012).



Şekil 16. WaSP Programı yardımıyla yapılan Vensys V-87 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012)

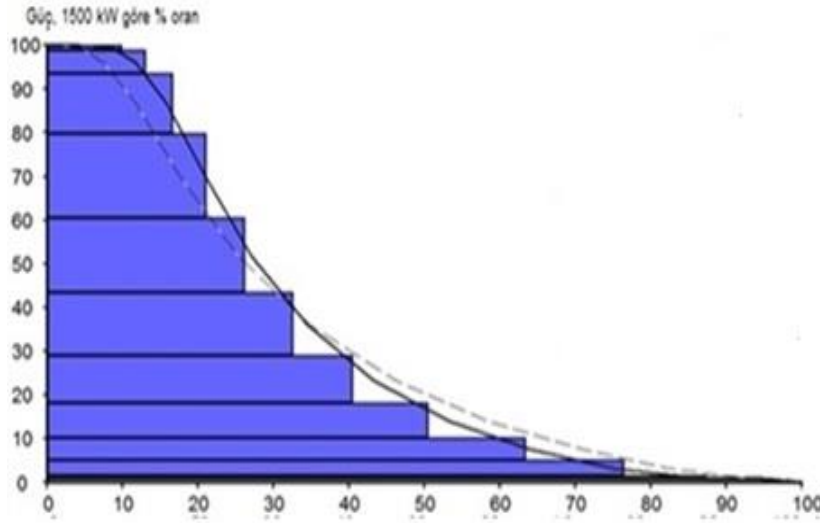
İkinci olacak inceleyeceğimiz rüzgâr türbini Vensys V82 1500 kW modelidir. Vensys V87 den farklı olarak bu türbin 82 metre rotor çapına sahiptir. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 3 m/s enerji üretimini kestiği rüzgâr hızı ise 22 m/s dir. Şekil 17’ de

ALWIN programı yardımıyla çizdirilmiş Vensys V82 – 1500 kW rüzgâr türbinine ait performans eğrisi bulunmaktadır.



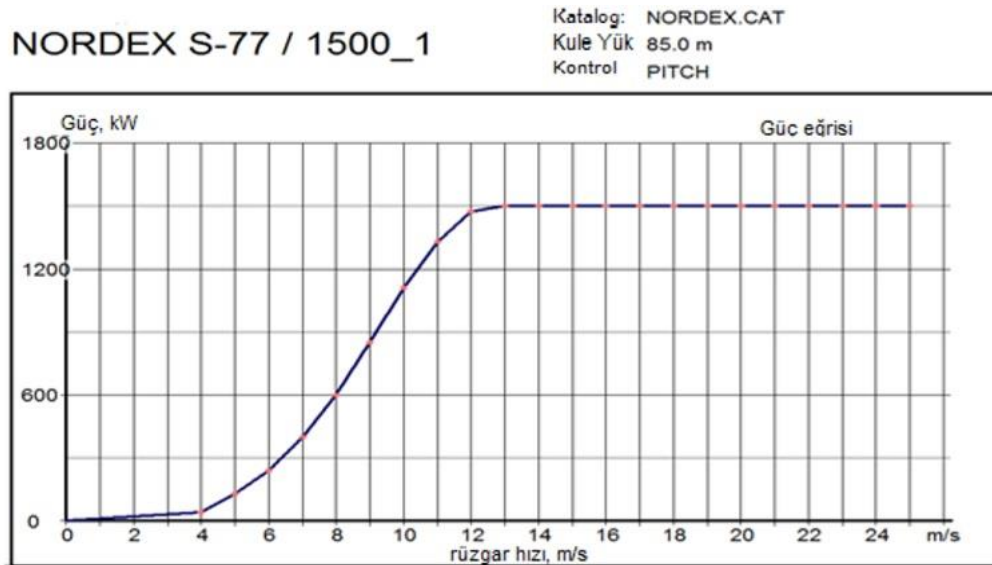
Şekil 17. Vensys V-82 1500 kWatt rüzgâr türbinine ait güç-performans eğrisi (Dewind.cat)

Şekil 18’ de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Vensys V82 rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %25.7 saatlik ortalama güç ise 424.7 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 415.6 kW ve %26.3 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 408.2 kW ve %28.4 çıkmaktadır ve aynı türbin için senelik üretim değeri ise yaklaşık 3404.5 MWh’ dır. Bu türbin için satış fiyatı Mersin limanına kadar nakliye ve 100 m kule dâhil 1.93 milyon Euro’ dur(Kaya,2012).



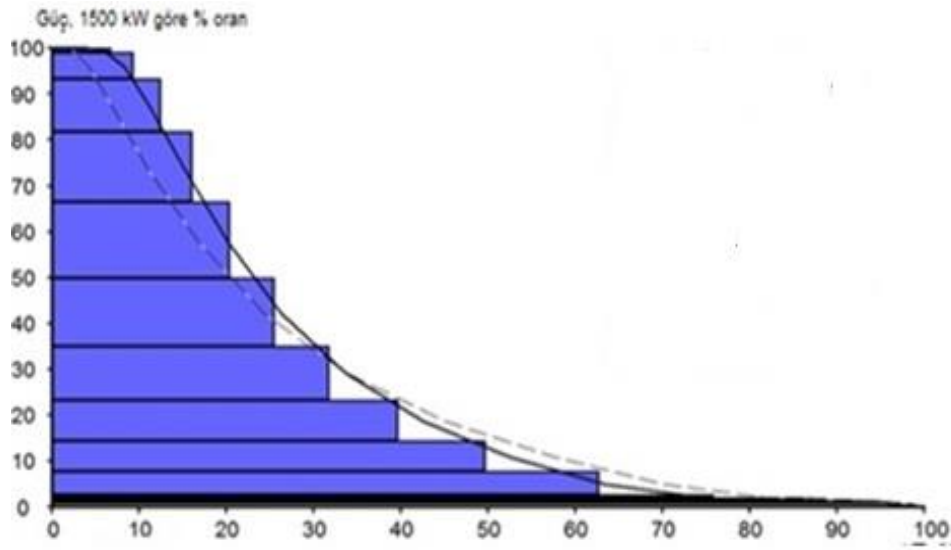
Şekil 18. VENSYS V-82 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012).

Üçüncü olarak inceleyeceğimiz rüzgâr türbini ise Nordex S-77 1500 kW dır. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 4 m/s ve maksimum enerji üretme hızı ise 25 m/s dir. Ayrıca türbin 77 m rotor çapına ve 85 m kule yüksekliğine sahiptir. Şekil 19’ da bu türbine ait performans eğrisi görülmektedir. Performans eğrisine baktığımız zaman 4 m/sn hız değerinden sonra türbinin performans değeri artmaya başlamıştır ve 12 m/sn hız değerinde ise artık hız değeri sabit kalmıştır. Bu türbin de diğer verilen türbinlerde olduğu gibi belli bir hızın altında çalışmamaktadır. Bunun sebebi ise türbinlerde atalet kuvvetini sağlamak amacıyla belli hız değer aralıkları verilmektedir. Bu hız değerlerinin dışında türbin çalışmaz.



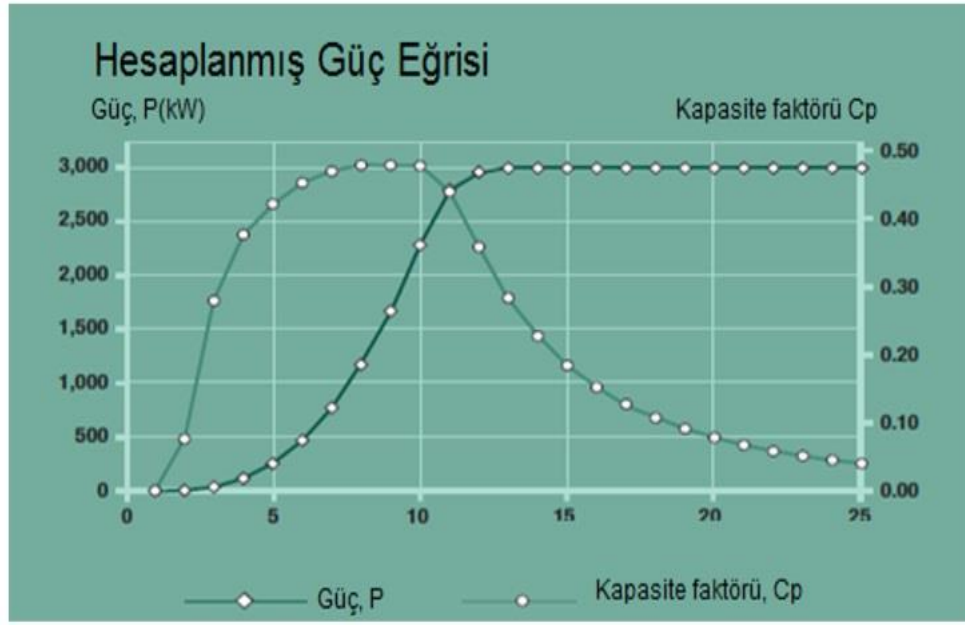
Şekil 19. Nordex S-77 1500 kWatt rüzgâr türbinine ait güç-performans eğrisi(Nordex.cat)

Şekil 20’ de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Nordex S-77 rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %24.4 saatlik ortalama güç ise 374.2 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 352 kW ve %23.5 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 357.9 kW ve %23.2 çıkmaktadır. Bu türbin için tahmini yıllık üretim değeri 2957.8 MWh’dır. Bu türbinin toplam maliyeti fiyatı yaklaşık 1.75 milyon Euro’dur(Kaya,2012).



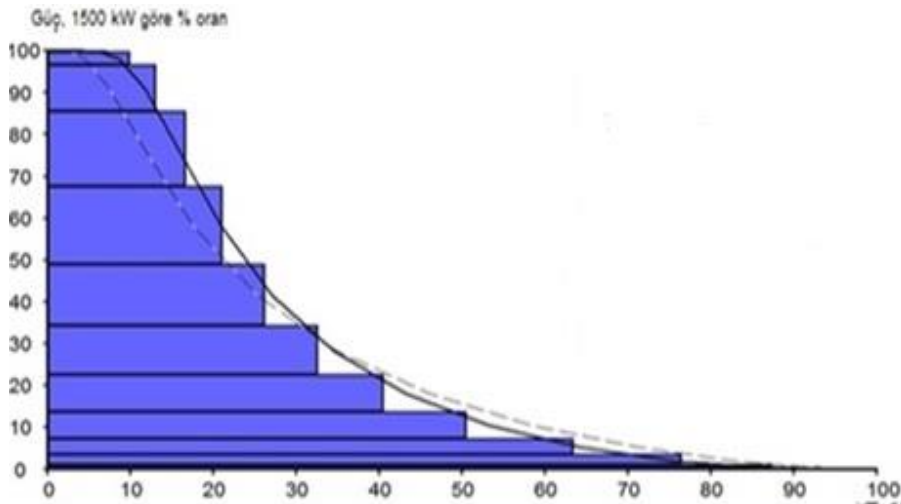
Şekil 20. NORDEX S-77 V-82 1500 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012)

Bir sonraki inceleyeceğimiz rüzgâr türbini Enercon E/101-3000 kW’dır. Türbin 101 metre rotor çapına 100 metre kule yüksekliğine sahiptir. Üç kanada sahip türbin 3 m/s rüzgâr hızında enerji üretimine başlamakta ve maksimum 25 m/s hızda enerji üretimi yapmaktadır. Şekil 21’ de Enercon firmasının kataloğundan alınmış Enercon E/101 türbini için performans eğrisi ve kapasite faktörü değişimin gösteren bir grafik bulunmaktadır. Şekil 21’ de görüldüğü gibi türbin maksimum kapasite faktörü ile yaklaşık 8 m/s hızda çalışmaktadır. Türbin 12 m/s hızdan sonra maksimum kapasite ile üretim yapmaktadır.



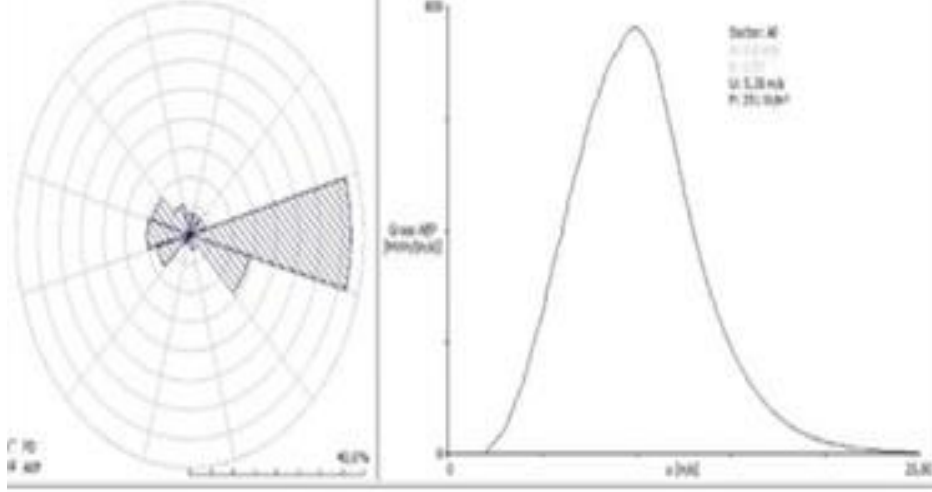
Şekil 21. Enercon E/101-3000 kWatt için kapasite faktörü ve güç eğrisi (Kaya,2012)

Şekil 22'de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Enercon E-101 3000 kW rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %23.5 saatlik ortalama güç ise 784 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 739.9 kW ve %24.2 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 786.8 kW ve %25.8 çıkmaktadır. Bu türbin için tahmini senelik ortalama üretim değeri yaklaşık 6.1 milyon kWh'dır. Günlük üretim miktarı yaklaşık 16,657 kWh, haftalık 112,204 kWh, aylık üretim miktarı 511,106 kWh'dır (Kaya,2012).



Şekil 22. Enercon E/101-3000 kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012).

Bu rüzgâr türbini için WaSP programı ile rüzgâr enerjisi üretim hesaplaması yaptırılmıştır ve Şekil 23’ de verilmiştir. Buna göre yapılabilecek senelik enerji üretim değeri 5487 MWh olarak hesaplanmıştır. Bu türbinin toplam maliyeti fiyatı yaklaşık 3.8 milyon Euro’dur(Kaya,2012).

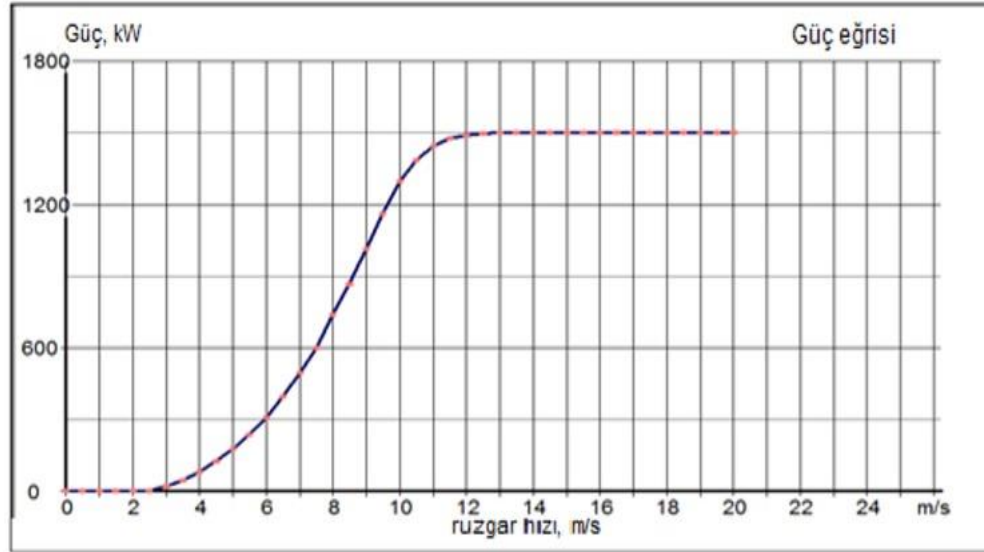


Şekil 23. WaSP programı yardımıyla yapılan Enercon E101 1500 kW rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012).

Son olarak inceleyeceğimiz türbin Acciona AW 82 1500 kW’ dır. Türbin 80 metre kule yüksekliğine 82 metre rotor çapına sahiptir. Türbinin enerji üretimine başlama hızı 3 m/s olmakla birlikte türbin maksimum 25 m/s hızında enerji üretebilmektedir. Şekil 24’ de Acciona AW 82 1500 kW Rüzgâr Türbinine ait güç eğrisi verilmektedir. Güç eğrisi WaSP programı yardımıyla oluşturulurken Enercon E101 rüzgar türbini modeli için firma katalog değerleri kullanılmıştır. Bu katalog değerleri kullanılarak Enercon E101 modeli rüzgar türbini için enerji üretim tahmini Şekil 24’ de görüldüğü üzere yapılmıştır.

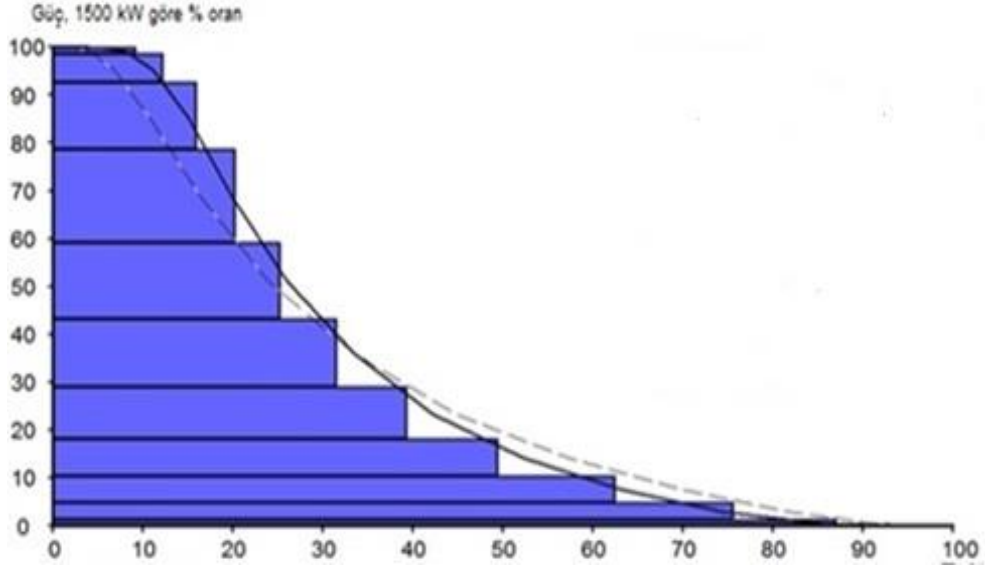
Acciona AW 82

Katalog: ENERCON.CAT
Kule yük.: 80.0 m
Kontrol PITCH



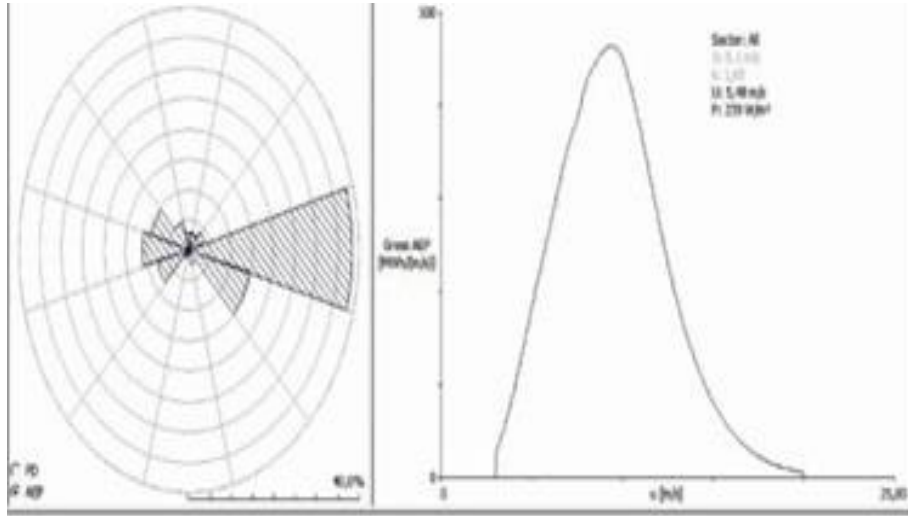
Şekil 24. Acciona AW 82 1500 kW kWatt rüzgâr türbinine ait güç-performans eğrisi (Enercon.cat)

Şekil 25’ de ALWIN programı yardımıyla hesaplanmış Acciona AW 82 1500 kW rüzgâr türbini ile yapılabilecek tahmini üretim değerleri verilmiştir. Buna göre gerçek ölçüm sonuçlarına göre türbin için kapasite faktörü %26.7 saatlik ortalama güç ise 434,6 kW çıkmaktadır. Rayleigh dağılımına göre bu değerler 428.6 kW ve %25.2 çıkmakta, Weibull dağılımına göre ise 444 kW ve %26.3 çıkmaktadır. Türbin fiyatı nakliye ve 2 sene garanti dâhil yaklaşık 1.59 milyon Euro’dur. Güç performans eğrisine baktığımız zaman diğer rüzgar türbin tiplerinde olduğu gibi türbinin devreye girmesi ve güç üretebilmesi için belli bir alt limit değeri vardır. Aynı şekilde güç üretiminin durduğu belli bir üst limit değeri bu türbin tipi içinde vardır(Kaya,2012).



Şekil 25. Acciona AW 82 1500 kW kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini (Kaya,2012).

Acciona AW 82 rüzgâr türbini için enerji üretim tahminleri WaSP programıyla da hesaplanmış ve Şekil 26’ da gösterilmiştir.



Şekil 26. WaSP programı yardımıyla yapılan Acciona AW 82 1500 kW kWatt rüzgâr türbini enerji üretim tahmini(Kaya,2012)

3.2. Seçilen Rüzgâr Türbinleri İçin Birim Enerji Hesabı

Her hangi bir alanda rüzgâr enerjisi güç üretim santrali kurulmasın da göz önüne alınması gereken üç önemli unsur vardır. Bunlar rüzgâr türbini maliyeti, kurulum maliyeti ve bakım onarım maliyetidir. Türbin maliyetinin %30-40’ını kurulum maliyeti, türbin

maliyeti ve kurulum maliyeti toplamının %10-15'ini ise 15 senelik bakım ve onarım maliyeti teşkil etmektedir (Özdamar,2001, Dursun,2010). Türbin kurulumu için temel maliyetinin ve iletim hatları maliyetinin hazırda iletim hattı olduğu için toplamda yaklaşık 200,000 € civarında olacağı tahmin edilmektedir. Tablo 8' de seçilen rüzgâr türbinleri için birim enerji maliyetleri verilmiştir.

Birim enerji maliyeti hesaplamasında rüzgâr üretim istasyonu kurulumu için gerekli maliyetler (türbin, temel, iletim hattı) ve 20 senelik bakım maliyeti toplamı, 20 senelik üretim miktarına bölünmüş ve birim enerji maliyeti elde edilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi birim enerji maliyeti Acciona V82 rüzgâr türbininden az bir oranda fazla olmasına rağmen, yüksek kapasite faktörü ve üretim miktarı nedeniyle Vensys V87 rüzgâr türbinin daha uygun olduğu düşünülmüştür. Ayrıca elde edilen rüzgar hız verilerinin alt ve üst limit değerleri Vensys V87 tipi rüzgar türbini için daha uygundur. Birim enerji maliyeti elde edilirken de bu durum dikkate alınmıştır. Vensys V87 tipi rüzgar türbinin birim enerji maliyeti Acciona V82 tipi rüzgar türbinine göre daha düşük çıkmıştır. Rüzgar türbini seçiminde maliyet analizi ve maliyet analizine göre seçim yapmak da önemli seçim parametrelerinden biridir.

Tablo 8. Seçilen türbinler için enerji maliyetleri (Özdamar,2001, Dursun,2010, Kaya,2012)

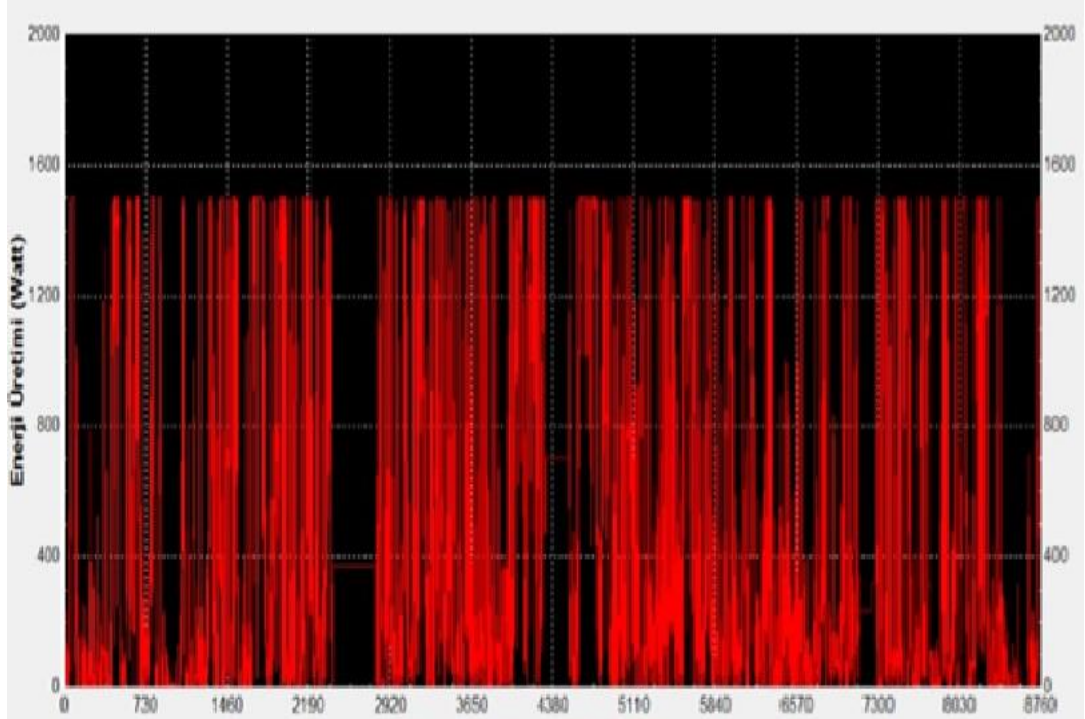
Türbin türü	Vensys V87	Vensys V82	Nordex S77	Enercon E101	Acciona V82
Türbin maliyeti* (€)	1.980.000	1.930.000	1.750.000	3.800.000	1.590.000
Temel maliyeti, İletim hattı maliyeti ve diğer maliyetler (€)	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
20 senelik Bakım ve onarım maliyeti(€)	260.000	253.500	227.500	494.000	193.700
Toplam maliyet	2.440.000	2.383.500	2.177.500	4.494.000	2.183.052
Kapasite Faktörü	30	28,7	24,9	25,5	27,1
20 senelik peryotta üretilen toplam enerji miktarı(kWh)	71.300.000	68.090.000	59.276.000	123.400.000	64.586.000
Enerjinin birim maliyeti (€/kWh)	0,0342	0,035	0,0367	0.0364	0,0338

*Türbin maliyeti kurulum maliyetini de içermektedir.

4. SONUÇLAR

4.1.Karaman ili için Rüzgâr Enerjisinden Elde Edilebilecek Enerji Üretim Miktarının Analizi

Seçilen Vensys V87 türbini ile yapılabilecek saatlik, günlük, aylık ve yıllık üretim tahminleri için TRNSYS programı kullanılmıştır. Şekil 27’ de rüzgâr türbinin kurulması planlanan bölgede 10 m yükseklikte ölçülmüş rüzgâr hızı verileri kullanılarak TRNSYS programında yapılmış enerji üretim simülasyonu verilmiştir. Bu simülasyonunda, Vensys V87 rüzgâr türbini kule yüksekliği 80 metre verilmesine rağmen, bu yükseklikteki rüzgâr hızlarının program tarafından hesaplanması sağlanmıştır. Buna göre yıllık üretim miktarı 3,997,871 kWh olmuştur. Ancak, rüzgâr enerjisi üretim tahmini yapan programlarda yüksekliğe bağlı hız değişiminde belli bir değer girilmediği takdirde standart pürüzlülük faktörü değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle kurulacak türbinin kule yüksekliğindeki rüzgâr hızlarının hesaplanarak programa verilmesi daha doğru sonuç verecektir. Şekil 27’ de verilen simülasyondan 80 metre yükseklikteki rüzgâr hızları denklem yardımıyla hesaplanmış ve programa verilmiştir.



Şekil 27. TRNSYS programı ile yapılmış Vensys V87 rüzgâr türbini enerji üretimi simülasyonu (80 metre yükseklikte ki hızlar programa hesaplatılarak)

Yapılan bu çalışmada Karaman ili yerleşkesinin 2010 yılına ait veriler 10 m yükseklik için alınmış veriler aşağıdaki bağıntıda hesaplanarak türbin yüksekliği olan 80 m için rüzgâr hız verileri hesaplanmıştır.

Aşağıda verilen 5.1 bağıntısında V_0 , ölçülmüş rüzgâr hızı, H_0 ölçülmüş hızın yüksekliği, H yükseklik, V hız, α ise pürüzlülük faktörüdür. (Nelson,2009).

$$v = v_0 \times \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (5.1)$$

Tablo 9. 2010 Yılı Aralık ayı Vensys V87 türbini için Matlab vasıtasıyla geliştirilen program ile yapılan Güç Analizi

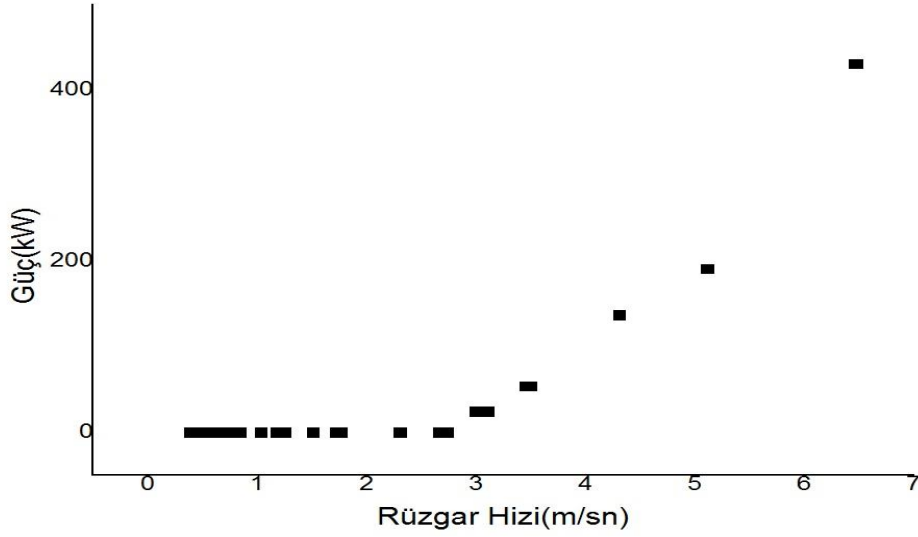
Gün	Rüzgar Hızı	Rüzgar Hızı(80m)	Sıcaklık	Güç Değeri	Cs
1	0.320833333	0.429251757	1.8	0	0
2	0.883333333	1.181836007	0.8	0	0
3	0.5875	0.786032438	3.4	0	0
4	0.908333333	1.215284196	2.3	0	0
5	0.325	0.434826455	-0.3	0	0
6	0.566666667	0.758158948	0.7	0	0
7	1.125	1.505168499	1.5	0	0
8	0.933333333	1.248732384	4.0	0	0
9	2.579166667	3.450738152	4.3	54.10	1.117
10	2.041666667	2.731602091	4.2	0	0
11	1.720833333	2.302350334	3.1	0	0
12	1.283333333	1.717007029	5.5	0	0
13	0.454166667	0.607642098	5.3	0	0
14	1.3125	1.756029916	5.3	0	0
15	0.9	1.204134799	3.6	0	0
16	0.625	0.836204722	-2.4	0	0
17	2.241666667	2.999187602	-2.5	24.1	1.117
18	2.2375	2.993612904	5.9	24.1	1.117
19	0.770833333	1.031319157	4.2	0	0
20	0.375	0.501722833	1.9	0	0
21	0.529166667	0.707986664	-3.9	0	0
22	1.991666667	2.664705713	-0.7	0	0

23	0.591666667	0.791607137	-4.4	0	0
24	0.3125	0.418102361	-3.9	0	0
25	0.291666667	0.39022887	-3.6	0	0
26	2.6125	3.495335737	0.1	54.1	0.798
27	3.216666667	4.303666968	5.4	136.9	0.798
28	2.320833333	3.105106867	5.0	24.1	0.885
29	3.816666667	5.106423501	6.5	190.8	0.885
30	4.8375	6.472224546	7.2	430.3	0.798
31	4.825	6.455500452	7.5	430.3	0.798

Aralık ayı için rüzgâr hız verileri alınmış ve Matlab ile yapılan rüzgâr türbin simülasyonunda , bu hız verilerine karşılık gelen güç değerleri tabloda belirtilmiştir. Aralık ayında en düşük hız 0,29 m/s ile 25' inci günde kaydedilmiştir. 0,29 m/s' lik hız değerine karşılık gelen güç değerimiz 3 m/sn' den küçük olduğu için yoktur. Aralık ayında en yüksek hız değerimiz 6,47 m/s hız değeriyle 30' uncu günde kaydedilmiştir. 6,47 m/s' lik hız değerine karşılık gelen güç değerimiz 430,3 kW bulunmuştur. Bu ay için toplam güç değerimiz 1.368,8 kW olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere elde edilen güç değerleri tartışma bölümünde verilen Vensys V-87 tipi rüzgar türbini katalog değerleri ile uyumlu çıkmıştır. Bu durumdan da anlaşılacağı gibi bölge için en uygun rüzgar türbin tipi Vensys V-87 dir.

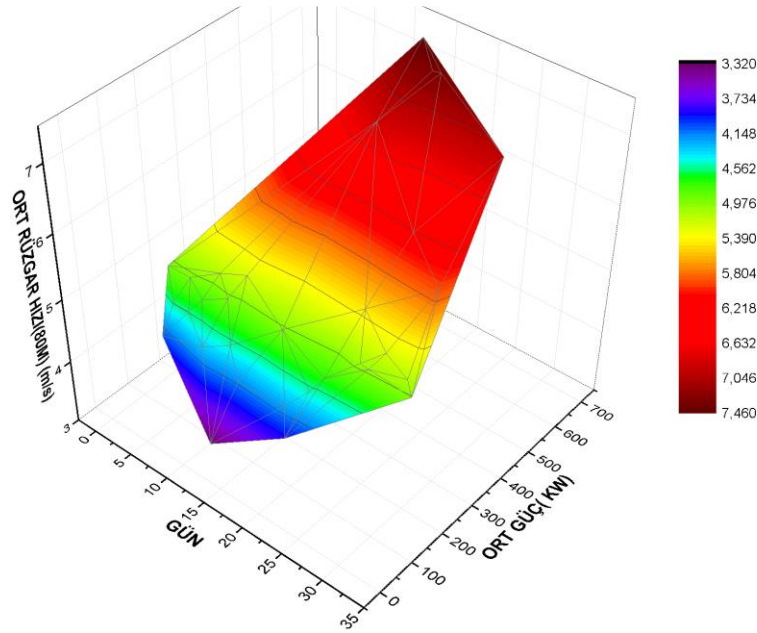
Rüzgâr hızına karşılık güç grafiğimiz aşağıdaki gibidir. Şekil 27' de x eksenini 80m yükseklik için ortalama rüzgar hızı değerini göstermektedir. Y eksenini ise türbinden üretilen ortalama güç değerini vermektedir. Analiz Mayıs ayı için yapılmıştır. Mayıs ayı için yapılmasındaki sebep ise mayıs ayında rüzgar hız değerlerinin yüksek olmasıdır. 80m için ortalama rüzgar hızı değerleri denklem 5.1 aracılığı ile hesaplanmıştır. Bu şekilde alınmasının nedeni ise Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan veriler 10m yükseklik için alınmış verilerdir. 10m için alınan veriler oldukça düşük değerlerdir ve bu değerler kullanıldığı zaman simülasyon programında verimli sonuçlar elde edilememiştir. Ayrıca simülasyon için kullanılacak ve rüzgar hız parametrelerine ve bölgeye uygunluk açısından seçilen Vensys V-87 tipi rüzgar türbini 80 veya 100 m uzunluğunda üretilmektedir. Bu nedenlerden ötürü rüzgar hız ölçümleri 80 metreye çevrilerek hesaplanmıştır ve çeviri yapılan rüzgar hız ölçüm değerleri simülasyon programında kullanılmıştır. Rüzgar hız ölçüm değerlerine bağlı olarak güç değerleri elde edilerek analizler yapılmıştır. Rüzgar hız ölçüm

değerlerinin analiz edilmesinde Matlab programı kullanılmıştır. Türbin tiplerinin analizleri için Wasp ve Trnsys programları kullanılmıştır.



Şekil 27. Aralık Ayı İçin Güç Eğrisi

Gün değerleri de eklendiği zaman rüzgâr hızına karşılık güç grafiğimiz üç boyutlu olarak aşağıdaki gibidir;



Şekil 28. Mayıs Ayı İçin 3 Boyutlu Güç Eğrisi

5. ÖNERİLER

Bölgede enerji üretimi için, seçilen 5 rüzgâr türbininden en uygunu Vensys V87 olarak belirlenmiştir. Bu rüzgâr türbiniyle yaklaşık %30 kapasite faktörü ile yıllık yaklaşık 7 milyon Kw-h enerji üretilbildiği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar doğrultusunda Karaman ili gibi orta seviyede rüzgâr enerjisi üretim potansiyeline sahip bölgelerde yüksek rotor çapına sahip rüzgâr türbinleri kullanılarak ortalama bir kapasite faktörü elde edilerek türbin konumlandırılabilir.

Çalışmada Vensys V87 1500 kW rüzgâr türbini ile bölgede yapılabilecek enerji üretim miktarları Matlab Programı ile hesaplanmıştır ve ortalama olarak verilmiştir. Buna göre türbin için kapasite faktörü %30 civarında belirlenmiştir. Aynı türbin için senelik üretim değeri ise yaklaşık 3.2655 mWh' dir. Firmadan alınan bilgilere göre bu türbin için satış fiyatı nakliye ile birlikte 1,98 Milyon Euro'dur. Veri analizleri 2010 yılı için yapılmıştır ve 2010 yılı için aylık olarak rüzgâr hızına bağlı olarak güç grafikleri elde edilmiştir. Yenilenebilir enerji sistemlerinde üretim dalgalanmalarının etkisinin azaltılması için birkaç enerji sisteminin birlikte kullanılması daha doğru sonuçlar verecektir. Örneğin, güneş enerjisi sistemleri ve rüzgar enerjisi sistemleri gün boyunca değişkenlik gösterdiğinden elde edilen güçteki dalgalanmaları engellemek için ek bir güç kaynağı olarak hibrit sistemlere başvurulabilir.

6. KAYNAKLAR

- ACAROĞLU, M.2003. Alternatif Enerji Kaynakları. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul. ISBN: 975-6574-25-9
- ANONİM 2006a, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sayfası, www.eie.gov.tr [Ziyaret Tarihi; 10 Mayıs 2015]
- ANONİM 2013a, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sayfası, www.eie.gov.tr [Ziyaret Tarihi; 10 Mayıs 2015]
- ANONİM, 2014a, Electrical Power Resources and Development Administration (EIEI), Wind Power Potential Anlysis, Ankara, Turkey.
- ANONİM 2010b, DSI, Turkish State Hydraulic Works 2010. Activity Report (AR) Ankara, Turkey. [http ://www.2.dsi.gov.tr/ faaliyet-raporlari/ 2010-faaliyet-raporu.pdf](http://www.2.dsi.gov.tr/faaliyet-raporlari/2010-faaliyet-raporu.pdf) [Ziyaret Tarihi;12 Mayıs 2015]
- ANONYMOUS, 2011a, Counsil of the European Union, 2011, Key Figures, Market Observatory for Energy
- ANONYMOUS, 2011b IEA Hydropower, Hydropower – A key To Prospertyın The Growing World
- ANONYMOUS, 2013c, World Wind Energy Association, World Wind Energy Report 2010
- ANONYMOUS, 2011d, Renawables 2011(REN21), Global Status Report, Paris, Fransa
- ANONYMOUS, 2014d, BP Statistical Review of World Energy June ANONYMOUS, 2011g, Tennessee Valley Authority (TVA), Diagram of the TVA pumped storage facility at Raccoon Mountain Pumped-Storage Plant [online] <http://www.tva.gov/power/pumpstorart.htm>[ziyaret tarihi: 14 Eylül 2015].
- ANONYMOUS, 2011r, Wikipedia, Superconducting magnetic energy storage [online], http://en.wikipedia.org/wiki/Superconducting_magnetic_energy_storage, [ziyaret tarihi: 08 Ekim 2011].
- ANONYMOUS, 2011s, Renewable energy policy network (REN 21), Global Status Report.
- ANONYMOUS, 2011ş, Wikipedia, Güneş enerjisi [online], http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi, [ziyaret tarihi: 12 Eylül 2015]

- ANONYMOUS, 2011t, Rüzgâr Türbini, http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCrbini#Yatay_eksen_li [online], [ziyaret tarihi: 30 Ağustos 2015].
- ANTİCS M., Sanner B., 2007, Proceedings European Geothermal Congress Status of Geothermal Energy Use and Resources in Europe, 2007 Unterhaching, Germany
- AYAN Y.T., PABUÇCU H., 2013 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences Y.Vol.18.no.3 pp 89-110, 2013
- BEHÇET R., GÜL H., ORAL H., ORAL F., Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Bakımından Malatya İlinin Doğu Anadolu Bölgesindeki Yeri, BEU Journal of Science 3(1), 65-73, 2014 3(1), 65-73, 2014
- CASTRONUOVA D.E., LOPES J.O., 2004, Optimal Operation and Hydro Storage Sizing Of a wind-hydro power plant, Electrical Power and Energy Systems, 26, 771-778
- DOĞAN T.B., ÇOLAKOĞLU A., RetSCREEN Analiz Programı ile Hatay’ da Rüzgâr Enerji Santrali Fizibilite Analizi, Tesisat Mühendisliği sayı 131 Eylül, Ekim 2011
- DUQUE A.J., COSTRONUOVO E.D. SANCHEZ I., USUOLA J., 2011 Optimal operation of a pumped-storage hydro plant that compensates the imbalances of a wind power producer Electric Power Systems Research 81, 1767-1777
- EMİNOĞLU U., Matlab Gui Kullanarak rüzgâr Türbini sistemleri için tasarım optimizasyonu paketinin geliştirilmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, ELECO, 2012
- FRIEDLEIFSSON, Ingvar B., Bertani, Ruggero, Huenges, Ernst; Lund, John W., Ragnarsson, Arni, Rybach, Ladislaus 2008, O. Hohmeyer and T. Trittin, ed. (pdf), The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change, Luebeck, Germany, 59–80
- HARAYANRACT, B., 2010, Vision of Earth, Why energy storage is usefull [online], <http://www.visionofearth.org/industry/renewable-energy/renewable-energyreview/why-electrical-energy-storage-is-useful/>, [ziyaret tarihi: 19 Ekim 2011].
- HESAMİ M.A., Bowly D. R., 2011, Economic feasibility and optimisation of an energy storage system for Portland Wind Farm (Victoria, Australia) , Applied Energy, 88, 2755–2763.

- HOLM, A., Blodgett L., Jennejohn D., Hoolm, K.G, 2010, Geothermal Energy Association. Geothermal Energy: International Market Update, Washington, 4-7.
- GÖKÇÖL C., SUNAN E., DURSUN B., 2009 Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Gebze’ de bir evin elektrik ihtiyacının karşılanması, Elektrik Mühendisliği Gebze İleri Teknolojiler Enstitüsü,2009
- GÖNÜLLÜ T., VARINCA K.B.,2006, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri VI. Ulusal Enerji Sempozyumu, UTES, 2006
- HASAMİ M.A.BOWLY D.R., 2011, Economic Feasibility and Optimisation of an energy storage system for Portland Wind Farm (Victoria, Australia) Applied Energy, 88, 2755-2763
- HEIER S., "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems," John Wiley & Sons Ltd, 1998, ISBN 0-471-97143-X
- İŞCAN S., DEMİRBAŞ Ş., 2011, Rüzgâr Türbin laboratuvarı Mıknatıslı Senkron Generatörlü Rüzgâr Türbini Modellemesi ve Simülasyonu International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)
- KAYA M.N., 2012, Rüzgâr Enerjisi- Pompaj Depolamalı Hidrolik Hibrit Güç Sisteminin Tasarımı Ve Optimizasyonu, Yüksek lisans tezi.
- KENNY, Y. C. Cheung, Simon T. H., Cheung, R. G., De Silva, N., Matti, P. T., Singh, J. R., Woo, J. J., 2003, Large-Scale Energy Storage Systems, , Imperial College London,
- KÖSE F., Kaya M.N.,2012, The Importance of Renewable Energy Sources For Sustainable Business and Transitions for Sustainable Development, Konya
- NELSON,W.2009, Wind Energy-Renewable Energy and the Environment, Taylor & Francis Group, LLC
- NURBAY,N.ÇINAR,A.2005. Rüzgâr Türbinlerinin Çeşitleri ve Birbirleriyle Karşılaştırılması III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı 164-168, 19-21 Ekim 2005, Mersin
- ÖZGÜR M.A.,2002, Kütahya’ da seçilen bir konumda rüzgâr verileriyle elektrik enerjisi üretim potansiyelinin bulunması , yüksek lisans tezi
- ÖZTÜRK H.Hüseyin, 2008, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı, Teknik Yayınevi
- URBAN F.Mitchell T., 2011, Climate change, disasters and electricity generation, London: Overseas Development Institute and Institute for Development Studies, Londra, İngiltere.

- ÜNSALVER C., 2008, Rüzgar enerji sistemlerinin incelenmesi ve bir uygulama devresinin gerçekleştirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi
- ÜLTANIR, M.Ö., 1998. 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi. Yayın no: TUSİAD-T/98-12/239, ISBN:975-7249-59-9
Lebib Yalkım Yayınları ve Basım İşleri A.Ş.İstanbul
- YAVUZCAN, G.1994, Enerji Teknoloji , Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1324 Ders Kitabı: 383
- YEREBAKAN M.2001, Rüzgâr Enerjisi . İstanbul Ticaret Odası Yayın No:2001-33, İstanbul, ISBN:975-6574-25-9

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı: Mustafa Akkaya

Doğum Yeri ve Tarihi: Gaziantep, 1988

Adres (iş): Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yunus Emre Yerleşkesi, 70100 KARAMAN

Öğrenim Bilgileri:

İlköğretim : Mezre İlköğretim Okulu (Elazığ)

Lise : Özel Harput Koleji (Elazığ)

Üniversite : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği(2008-2012)

Yüksek lisans: Fırat Üniversitesi-Enerji Sistemleri Mühendisliği

Çalışma Alanları: Yenilenebilir Enerji Sistemleri – Matlab ile modülasyon – delphi ile programlama – PIC ile programlama – RF Planlama ve Gsm sistemler