

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL TERKOS BÖLGESİ'NDE KURULMASI PLANLANAN BİR
RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ İÇİN ENERJİ ÜRETİM POTANSİYELİ,
KURULUM MALİYETİ VE GERİ ÖDEME SÜRESİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yavuz YALÇIN**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL TERKOS BÖLGESİ'NDE KURULMASI PLANLANAN BİR
RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ İÇİN ENERJİ ÜRETİM POTANSİYELİ,
KURULUM MALİYETİ VE GERİ ÖDEME SÜRESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yavuz YALÇIN
(301071030)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU (İTÜ)
Eş Danışman: Doç. Dr. Ş. Sibel MENTEŞ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ (İTÜ)
Prof. Dr. H. Sema TOPÇU (İTÜ)
Doç. Dr. Önder GÜLER (İTÜ)

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli öğelerinden biri durumuna gelen enerji, her geçen gün uluslararası bir nitelik kazanmakta ve devlet politikalarının belirlenmesinde etkili rol oynamaktadır.

Ülkemiz sahip olduğu önemli rüzgar enerjisi potansiyeline rağmen uzun yıllar bu enerji kaynağını kullanamamış ve dünyada rüzgar enerjisi sektöründe özellikle Avrupa ülkelerine kıyasla geride kalmıştır. Son yıllarda artan taleple birlikte ülkemizde de hızlı bir gelişme gösteren rüzgar enerjisinin önümüzdeki yıllarda daha da önem kazanacağı düşünülmektedir.

Özellikle enerji tüketimi her geçen gün artan, büyüyen ve gelişen, İstanbul gibi bir metropol için ileriki yıllarda daha da önem kazanabilecek bir konuda bu tez çalışmasını hazırlamaktan mutluluk duyduğumu ifade etmek isterim.

Tez çalışmamı yöneten, fikir, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan ve sürekli desteği ile bana yön vermiş olan değerli hocalarım Sn. Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU ve Doç. Dr. Ş. Sibel MENTEŞ'e tesekkür ederim.

Ayrıca çalışmamın maliyet analizi kısmında tecrübe ve fikirlerini benimle paylaşan Sn. Muharrem SAYIN'a, çalışmam boyunca destekleri ve anlayışlarından ötürü İstanbul Enerji A.Ş.'deki değerli çalışma arkadaşlarıma, çalışmamın her aşamasında desteğini hissettiğim Meral YILDIRIM'a ve herşeyden önemlisi attığım her adımda her zaman yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2010

Yavuz YALÇIN

(Elektrik-Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Rüzgar ve Enerji.....	1
1.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi	3
1.3 Dünyada Rüzgar Enerjisi	4
1.4 Avrupa’da Rüzgar Enerjisi.....	6
1.5 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi	8
1.6 Çalışmanın Amacı	13
1.7 Çalışmanın Yöntemi.....	14
2. RÜZGAR ENERJİSİ.....	15
2.1 Rüzgar	15
2.2 Rüzgarın Temel Oluşum Mekanizması ve Rüzgar Çeşitleri	15
2.2.1 Küresel rüzgarlar	16
2.2.1.1 Ticaret rüzgarları (Alizeler)	17
2.2.1.2 Batılı rüzgarlar	17
2.2.1.3 Kutup rüzgarları	18
2.2.2 Mevsim rüzgarları (Musonlar)	18
2.2.3 Günlük rüzgarlar	18
2.2.4 Yerel rüzgarlar	19
2.3 Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi	19
2.4 Weibull Dağılım Fonksiyonu	20
2.5 Rüzgar Enerjisini Etkileyen Faktörler	22
2.5.1 Yükseklik	22
2.5.2 Pürüzlülük	22
2.5.3 Türbülans	25
2.5.4 Rüzgar Engelleri	26
2.5.5 Wake (iz) etkisi	27
2.5.6 Tepe etkisi	28
2.5.7 Tünel etkisi.....	29
3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ	31
3.1 Giriş ve Tarihçe	31
3.2 . Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması	33
3.2.1 Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	34
3.2.2 Dikey eksenli rüzgar türbinleri	34

3.3 Rüzgar Türbinlerinin Parçaları	35
3.3.1 Kanatlar (Palalar)	36
3.3.2 Rotor.....	37
3.3.3 Düşük ve yüksek hızlı miller.....	37
3.3.4 Dişli kutusu	37
3.3.5 Jeneratör	37
3.3.6 Anemometre	37
3.3.7 Kontrol birimi.....	37
3.3.8 Regülatörler (düzenleyiciler).....	38
3.3.9 Hatve mekanizması	38
3.3.10 Rüzgar gülü	38
3.3.11 Sapma mekanizması ve sapma motoru	38
3.3.12 Disk fren.....	38
3.3.13 Kaporta (Nacelle)	38
3.3.14 Kule	39
4. RÜZGAR VERİLERİNİN ANALİZİ, ENERJİ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ ve MİKROKONUŞLANDIRMA	41
4.1 Çalışmanın Yeri ve Bölgenin Genel Özellikleri.....	41
4.2 WASP Paket Programı	42
4.2.1 WASP programının kullandığı temel bilgiler	43
4.2.2 WASP programının genel amaçları	43
4.2.2.1 Ham datanın analizi.....	43
4.2.2.2 Rüzgar atlasının oluşturulması	43
4.2.2.3 Rüzgar iklim değerlendirilmesi	43
4.2.2.4 Rüzgar güç potansiyelinin değerlendirilmesi.....	44
4.2.3 WASP programının kullandığı alt modeller	44
4.2.3.1 Engel perdeleme modeli.....	44
4.2.3.2 Orografik model	45
4.2.3.3 Pürüzlülük değişim modeli.....	45
4.2.4 WASP programının temel aldığı pürüzlülük sınıflandırması	45
4.3 Çalışmada Kullanılan Rüzgar Verileri ve Ölçüm İstasyonu	45
4.4 Haritaların Sayısallaştırılması	46
4.5 Rüzgar Verilerinin Analizi	49
4.6 Mikrokonuşlandırma ve türbin seçimi.....	62
4.7 Sektör analizleri.....	68
4.7.1 Sektör 1 (0°) analizi.....	70
4.7.2 Sektör 2 (30°) analizi.....	71
4.7.3 Sektör 3 (60°) analizi.....	72
4.7.4 Sektör 4 (90°) analizi.....	73
4.7.5 Sektör 5 (120°) analizi.....	74
4.7.6 Sektör 6 (150°) analizi.....	75
4.7.7 Sektör 7 (180°) analizi.....	76
4.7.8 Sektör 8 (210°) analizi.....	77
4.7.9 Sektör 9 (240°) analizi.....	78
4.7.10 Sektör 10 (270°) analizi.....	79
4.7.11 Sektör 11 (300°) analizi.....	80
4.7.12 Sektör 12 (330°) analizi.....	81
4.8 Bölgenin kapasite faktörü.....	82
5. MALİYET ANALİZİ.....	85
5.1 Kurulum Maliyeti	85

5.2 Nakit akışı ve geri ödeme süresi	89
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR	133

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
DWEA	: Danish Wind Energy Association
EEA	: European Enviroment Agency
EPDK	: Enerji Piyasası Düzeneleme Kurumu
EWEA	: European Wind Energy Association
GE	: General Electric
GW	: Gigawat
GWh	: Gigawat-saat
İ.T.Ü	: İstanbul Teknik Üniversitesi
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
kWh	: Kilowatt-saat
MW	: Megawat
M.Ö.	: Milattan önce
O.K.Ü.	: Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
S.A.Ü	: Sakarya Üniversitesi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TWh	: Terawat-saat
USA	: United States of America
WAsP	: Wind Energy Analysis and Application Program
WMO	: World Meteorological Organization
WWEA	: World Wind Energy Association

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : 2009 yılı sonunda Dünyada toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke	5
Çizelge 1.2 : 2009 yılı sonunda Avrupa’da toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke.....	8
Çizelge 1.3 : 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle işletmedeki rüzgar santralleri.....	10
Çizelge 1.4 : 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle inşaatı devam eden rüzgar santralleri	11
Çizelge 1.5 : 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle türbin tedarik sözleşmeleri imzalanmış rüzgar santralleri.....	12
Çizelge 4.1 : Engel türlerine göre geçirgenlik değerleri.....	44
Çizelge 4.2 : Bölgelere göre pürüzlülük sınıflandırması.....	45
Çizelge 4.3 : Bölgenin rüzgar şiddeti ve ortalama güç yoğunluğu.....	55
Çizelge 4.4 : Sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve frekans yoğunluğu değişimi.....	58
Çizelge 4.5 : Rüzgar esme yönü, sayısı ve şiddetleri.....	59
Çizelge 4.6 : Farklı yükseklik ve pürüzlülük uzunluklarına göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi.....	60
Çizelge 4.7 : 0.00 m pürüzlülük uzunluğunda farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi.....	61
Çizelge 4.8 : 0.40 m pürüzlülük uzunluğunda farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi.....	62
Çizelge 4.9 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yıllık üretim değerleri.....	63
Çizelge 4.10 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için her bir türbine ait üretim ve kayıp değerleri	64
Çizelge 4.11 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yıllık üretim değerleri.....	66
Çizelge 4.12 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için her bir türbine ait üretim ve kayıp değerleri	66
Çizelge 4.13 : VESTAS V80 ve VESTAS V63 rüzgar türbinlerinin birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri açısından karşılaştırılması.....	67
Çizelge 4.14 : 22 adet VESTAS V80 ve VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yıllık üretim değerleri.....	68
Çizelge 4.15 : Aynı mikrokonuşlandırmada VESTAS V80 ve VESTAS V63 için birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri karşılaştırması.....	68
Çizelge 4.16 : Her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve wake(iz) kaybı değerleri.....	69
Çizelge 4.17 : Sektör 1 (0°)’de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.....	70

Çizelge 4.18 : Sektör 2 (30°)'de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddeti, üretim ve verim değerleri.	71
Çizelge 4.19 : Sektör 3 (60°)'te her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	72
Çizelge 4.20 : Sektör 4 (90°)'te her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	73
Çizelge 4.21 : Sektör 5 (120°)'te her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddeti, üretim ve verim değerleri.	74
Çizelge 4.22 : Sektör 6 (150°)'da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	75
Çizelge 4.23 : Sektör 7 (180°)'de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	76
Çizelge 4.24 : Sektör 8 (210°)'de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	77
Çizelge 4.25 : Sektör 9 (240°)'da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	78
Çizelge 4.26 : Sektör 10 (270°)'da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	79
Çizelge 4.27 : Sektör 11 (300°)'de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	80
Çizelge 4.28 : Sektör 12 (330°)'de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.	81
Çizelge 4.29 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü.	82
Çizelge 4.30 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü.	83
Çizelge 4.31 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü.	83
Çizelge 5.1 : 2.0 MW'lık bir türbinin kurulumu sırasında oluşabilecek harcamaların oransal dağılımı.	86
Çizelge 5.2 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yatırım harcamaları.....	87
Çizelge 5.3 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yatırım harcamaları.....	88
Çizelge 5.4 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yatırım harcamaları.....	89
Çizelge 5.5 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için kurulum maliyeti ve yıllık gelir.	90
Çizelge 5.6 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.	91
Çizelge 5.7 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.	94
Çizelge 5.8 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.	97
Çizelge 5.9 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.	100

Çizelge 5.10 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için kurulum maliyeti ve yıllık gelir.	102
Çizelge 5.11 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.	103
Çizelge 5.12 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.	106
Çizelge 5.13 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.....	109
Çizelge 5.14 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.....	112
Çizelge 5.15 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için kurulum maliyeti ve yıllık gelir.	114
Çizelge 5.16 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.	115
Çizelge 5.17 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.	118
Çizelge 5.18 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.....	121
Çizelge 5.19 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.....	124
Çizelge 6.1 : Bütün mikrokonuşlandırma çalışmaları için kurulu güç, yıllık hesaplanan üretim miktarı, kapasite faktörü, kurulum maliyeti, yıllık gelir ve geri ödeme süreleri.	132

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Avrupa Birliği Ülkelerinde 2008 Yılı İçinde Kurulan Enerji Üretim Santrallerinin Türlerine Göre Kurulu Güçleri (MW)	2
Şekil 1.2 : Dünya teknik rüzgar potansiyel dağılım payları	4
Şekil 1.3 : Dünya Toplam Rüzgar Kurulu Gücü (MW)	5
Şekil 1.4 : Avrupa Rüzgar Kurulu Gücünün Ülkelere Göre Dağılımı (MW)	6
Şekil 1.5 : Avrupa Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası.....	7
Şekil 1.6 : 2009 yılı Eylül ayı sonu itibariyle birincil kaynaklara göre Türkiye'nin kurulu gücü.	9
Şekil 1.7 : Rüzgar kurulu gücünün yıllara göre artışı.....	9
Şekil 1.8 : Bağlanabilir rüzgar kapasitesi-puant talep-toplam kurulu güç projeksiyonu.	13
Şekil 2.1 : Hareketin Oluşum Mekanizması	16
Şekil 2.2 : Atmosferin genel sirkülasyonu ve küresel rüzgarlar	17
Şekil 2.3 : Ölçek parametresi sabitken şekil parametresinin değişimi	21
Şekil 2.4 : Şekil parametresi sabitken ölçek parametresinin değişimi.....	21
Şekil 2.5 : Rüzgar hızının yükseklikle değişimi	22
Şekil 2.6 : Düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim	23
Şekil 2.7 : Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği.	24
Şekil 2.8 : Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği.	24
Şekil 2.9 : Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi örneği.	24
Şekil 2.10 : Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi örneği.	25
Şekil 2.11 : Türbülansın hava akışına etkisi.	26
Şekil 2.12 : Doğal engellerin gösterimi.	26
Şekil 2.13 : Bir yapı üzerindeki akış için şiddet ve güç azalmasının ve türbülans artışının tahmini.	27
Şekil 2.14 : Wake (iz) etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri.....	28
Şekil 2.15 : Tepe etkisi.	29
Şekil 2.16 : Tünel etkisi.	29
Şekil 3.1 : Poul la Cour'un test türbinleri.	31
Şekil 3.2 : Gedser rüzgar türbini.	32
Şekil 3.3 : Yıllara göre kurulu güç ve üretimin gelişimi.	33
Şekil 3.4 : Üç kanatlı yatay eksenli modern rüzgar türbini.	34
Şekil 3.5 : Darrieus tipi rüzgar türbini.	35
Şekil 3.6 : Modern bir rüzgar türbininin başlıca parçaları	36
Şekil 4.1 : Teze konu olan proje alanı.	41
Şekil 4.2 : Proje alanı yükseklik haritası.	42
Şekil 4.3 : Rüzgar ölçüm istasyonunun yeri.	46
Şekil 4.4 : Bölgeye ait 1:25.000 ölçekli harita.	47
Şekil 4.5 : Eşyüksekti eğrilerinin harita üzerine işlenmesi.....	47
Şekil 4.6 : Bölgenin 3 boyutlu yer şekilleri modeli.	48
Şekil 4.7 : Ağaçlarla kaplı örnek bir pürüzlülük alanı.....	48

Şekil 4.8 : 52 m. yükseklikte ölçülen aylık ortalama rüzgar şiddetleri.....	49
Şekil 4.9 : 7 Şubat 2008-2009-2010 senelerinde günlük rüzgar hızı değişimi.	49
Şekil 4.10 : 2008 senesi aylık rüzgar gülleri	51
Şekil 4.11 : Sektörlere göre Hellman katsayısının değişimi.....	53
Şekil 4.12 : Bölgede hesaplanan ortalama rüzgar şiddeti haritası..	54
Şekil 4.13 : Weibull c ölçek parametresi dağılım haritası..	54
Şekil 4.14 : Weibull k şekil parametresi dağılım haritası.	55
Şekil 4.15 : Bölgenin güç yoğunluğu haritası.....	56
Şekil 4.16 : Bölgenin rüzgar hızı frekans dağılımı..	57
Şekil 4.17 : 30 adet türbinin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması.	63
Şekil 4.18 : 22 adet türbinin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması..	65
Şekil 5.1 : Rüzgar enerjisi projeleri için kWh başına maliyet oluşumu..	86

İSTANBUL TERKOS BÖLGESİ'NDE KURULMASI PLANLANAN BİR RÜZGAR ENERJİSİ SANTRALİ İÇİN ENERJİ ÜRETİM POTANSİYELİ, KURULUM MALİYETİ VE GERİ ÖDEME SÜRESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Dünyada hızla yükselen enerji ihtiyacı ve özellikle son yıllarda daha da önem kazanan karbondioksit salınımlarının azaltılması çalışmalarıyla birlikte, rüzgar enerjisi gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilgi ve bu alandaki araştırmalar da artış göstermiştir.

Konumu ve coğrafi yapısı sebebiyle oldukça önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeline sahip olan ülkemizde, halen bu yerli kaynaktan yeterli ölçüde yararlanılamaması enerji sektörünün çözüm bekleyen başlıca sorunları arasında yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında İstanbul İli Terkos Bölgesi'nin rüzgar atlası oluşturularak bölgede kurulacak bir rüzgar enerjisi santralinin enerji üretim potansiyelini belirlemek üzere üç senaryo hazırlanmıştır.

Danimarka Riso Laboratuvarları'nda geliştirilen WAsP (The Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı yardımıyla yapılan analizlerde, teze konu olan bölgede 52 m. yükseklikten alınan rüzgar ölçümleri değerlendirilerek bölgenin ortalama rüzgar hızı değerleri ve güç yoğunlukları saptanmıştır.

Ardından Danimarkalı rüzgar türbini üreticisi VESTAS firmasına ait 1.5 MW'lık V63 ve 2.0 MW'lık V80 modelleri kullanılarak yapılan üç senaryo karşılaştırılmış, elde edilen sonuçlarda bölge için 2.0 MW'lık V80 model rüzgar türbininin daha avantajlı olduğu görülmüş ve 22 adet VESTAS V80 marka rüzgar türbini kullanarak örnek bir rüzgar enerjisi santrali oluşturulmuştur.

Tezin son bölümünde ise WAsP programından elde edilen sonuçlar yorumlanarak bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiş, 3 senaryo için kurulması öngörülen rüzgar santrallerinin maliyet analizleri yapılmış ve geri ödeme süreleri belirlenmiştir.

DETERMINATION OF THE ENERGY PRODUCTION POTENTIAL, THE COST ANALYSIS AND THE PAYBACK PERIOD FOR A WIND POWER PLANT PLANNED TO BE CONSTRUCTED IN THE TERKOS REGION, ISTANBUL

SUMMARY

Together with the rapidly increasing need for energy around the world and especially the efforts to reduce the carbon dioxide emissions, which gained on importance in the past years, the interest for clean and renewable energy sources such as wind energy as well as researches about this topic have increased.

The fact that this local source is not adequately exploited in our country, which has a highly considerable potential in wind energy due to its location and topography, is one of the priority issues of the energy sector, waiting for a solution.

In this thesis study, three scenario was developed to determine the energy generation potential of a sample wind power plant to be built in the Region of Terkos in the Province of Istanbul through working out a wind atlas.

The average wind speed values and power densities of the area were determined in the analyses made by the help of the package program WASP (The Wind Atlas Analysis and Application Program) developed in the Riso Laboratories in Denmark, by evaluating the wind measurements taken from 52 meters altitude in the region subject to the thesis.

Thereafter a comparison of three scenario was performed between the wind turbine models V63 with 1.5 MW and V80 with 2.0 MW, both made by VESTAS, wind turbine manufacturer of Denmark, from the results of which it was observed that the wind turbine model V80 with 2.0 MW would be more favorable for that region, so that a sample wind power plant was worked out by the use of 22 wind turbines of brand VESTAS V80.

In the last part of the thesis, the wind energy potential was evaluated, a cost analysis and pay-back period of a wind power plant to be constructed in the region was performed by interpretation of the results obtained from the WASP program.

1. GİRİŞ

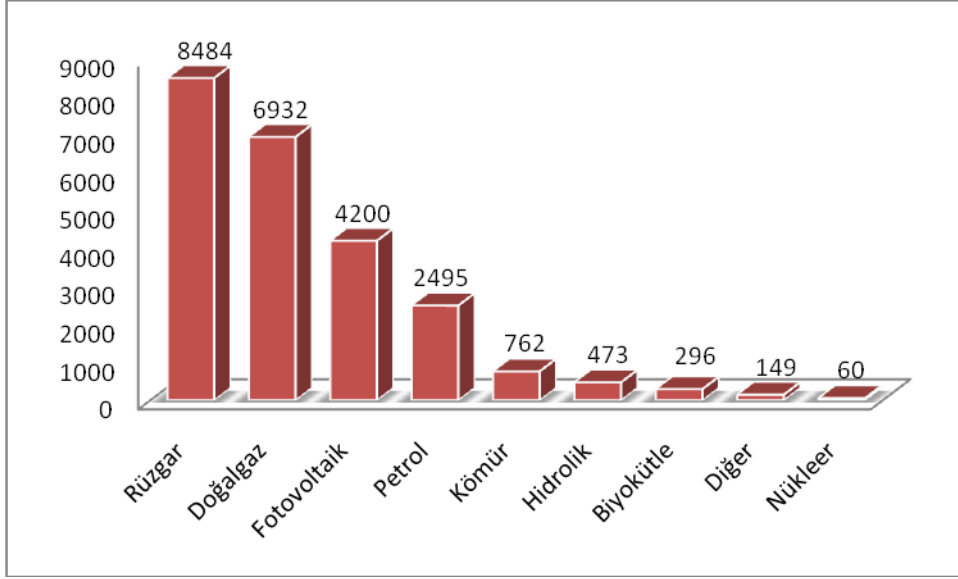
1.1 Rüzgar ve Enerji

Teknolojik gelişmelerin çoğunun altyapısını enerji ve onun etkin kullanımı oluşturmaktadır. İnsanoğlunun yaşam standartlarını arttırma isteği enerji ihtiyacının da artması sonucunu doğurur. Bu artışın sürekli devam etmesi bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Enerji üretim kaynaklarından biri olan fosil yakıtlar önemli çevre sorunlarına neden olabilmektedir. Bu yüzden yeni, yenilenebilir ve mümkün olduğunca çevreye az zarar veren enerji kaynaklarına yönelim olmuştur [1].

Gel-git enerjisi ve jeotermal enerji hariç diğer bütün yenilenebilir enerjilerin ve fosil yakıtların kaynağını oluşturan güneş, yeryüzüne $1,74 \times 10^{17}$ kWh gücünde enerji gönderir ve bu enerjinin %1-2'si rüzgar enerjisine dönüşür [2].

Rüzgar enerjisi, güneşin karaları, denizleri ve atmosferi aynı oranda ısıtmamasından dolayı oluşan sıcaklık farklarının doğurduğu basınç farkları nedeniyle havanın yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket etmesi sonucu oluşur.

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişim gösteren sektör olmuştur. Şekil 1.1'de Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 2008 yılı içerisinde kurulan enerji üretim santrallerinin dağılımı gösterilmiştir. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde 2008 yılı içerisinde kurulan 23.851 MW enerji üretim santrallerinin %36'ya denk gelen 8.484 MW'lık kısmını rüzgar santralleri oluşturmaktadır. Rüzgar santrallerini, 6.932 MW (%29) ile doğalgaz, 4.200 MW (%18) ile fotovoltaik, 2.495 (%10) ile petrol, 762 MW (%3) ile kömür ve 473 MW (%2) ile hidrolik santraller izlemektedir [3].



Şekil 1.1 : Avrupa Birliği Ülkelerinde 2008 Yılı İçinde Kurulan Enerji Üretim Santrallerinin Türlerine Göre Kurulu Güçleri (MW)

Rüzgar enerjisinin kullanımı bazı avantajlar sağlar. Bu avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Bedavadır, tükenmez ve boldur.
- Maliyeti düşüktür.
- Temiz bir enerjidir ve karbondioksit salımı yoktur.
- İthal yakıtlara olan bağımlılığı azaltır.
- Modülerdir ve çabuk kurulur.
- Çift yönlü arazi kullanımına uygundur.

Bu avantajların yanında rüzgar enerjisinin istenildiği takdirde minimuma indirilebilecek bazı yan etkileri de vardır. Bu yan etkiler görüntü kirliliği, arazi kullanımı, gürültü, elektromanyetik girişim ve kuşlara olan etkidir [2].

Türkiye'deki elektrik enerjisi ihtiyacı sosyal ve ekonomik gelişmelerin bir sonucu olarak hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi, türbin fiyatlarındaki düşüş ve fosil yakıtların oluşturduğu kirlilik dikkate alındığında Türkiye için her geçen gün daha ekonomik ve daha kullanılabilir olmaktadır.

Doğal kaynaklarımızı ve çevreyi korumak için ülkemizde rüzgar enerjisi sektörünün gelişmesi enerji politikalarımız açısından büyük önem arz etmektedir. Rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle gibi doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,

çevresel yararlarının yanında dışa bağımlılığı da azaltacağından, ülkemizin teknolojik gelişim kapasitesini arttıracaktır [4].

1.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihsel Gelişimi

Rüzgar enerjisi Milattan Önce (M.Ö.) 5000’li yıllarda ilk defa Nil nehrinde kayıkları hareket ettirmek amacıyla kullanılmıştır. M.Ö. 2000’li yıllarda Çin’de su pompalama amacıyla kullanılan, M.Ö. 700’lü yıllarda Farşlıların kullandığı rüzgar türbinleri hakkında yazılı ilk bilgiler Büyük İskender tarafından M.Ö. 200-300 yıllarında basit yapılı yatay eksenli rüzgar türbinleri hakkında yazılmıştır [5].

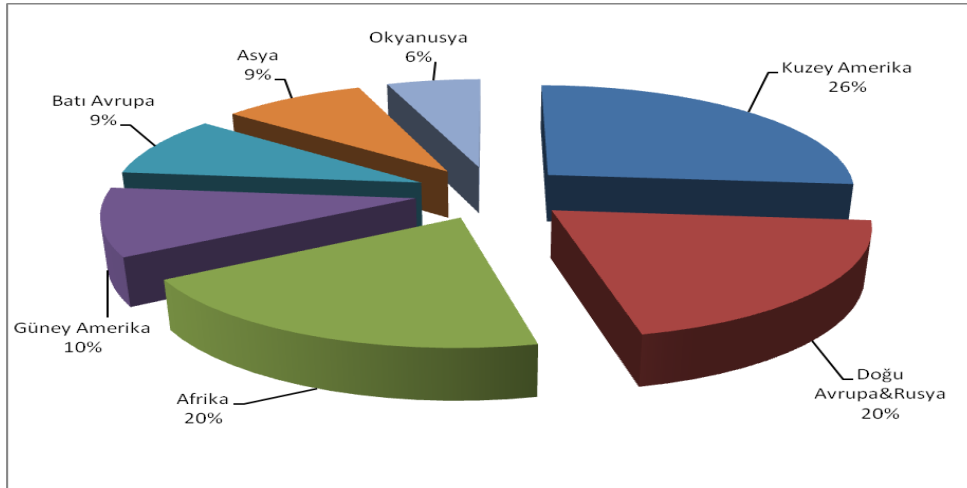
Rüzgar türbinlerinin Avrupa’ya ilk geçişi ise Haçlı seferleri sırasında Türkler’le yapılan temaslar sonrası olmuştur [6]. 11. ve 12. yüzyılda daha çok kuyulardan su çekmek amacıyla İngiltere’de rüzgar milleri kullanılmıştır. 18. yüzyılda Hollandalı göçmenler tarafından Amerika kıtasına taşınan rüzgar türbinleri, sanayi devrimi ile birlikte buhar makinelerine yenik düşmüş ve popülaritesini yitirmiştir. Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan ilk rüzgar türbini ise 17 metre çapında 144 adet rotor kanadından oluşmaktadır ve 1890 yılında Amerika’da General Electric şirketinin kurucularından olan Amerikalı Elektrik Mühendisi Charles F. Brush tarafından yapılmıştır. Avrupa’da ilk rüzgar türbini ise 1891 yılında Danimarkalı Meteorolog Poul La Cour tarafından yapılmıştır. İkinci dünya savaşı yıllarından 1956 yılına kadar Danimarka’da iki ve üç kanatlı bir çok türbin kurulmuş, bu dönemde ön plana çıkan üç kanatlı türbinler Danimarka konsepti olarak anılmaya başlanmıştır. Günümüzde kullanılan modern rüzgar türbinlerinin temelini ise 1957 yılında tasarladığı 200 kW’lık asenkron jeneratörlü, elektromekanik hareket ve yönelme kabiliyetine sahip türbin ile Poul La Cour’un öğrencisi Johannes Juul atmıştır [7].

1960’lardan sonra motorların yaygınlaşması ve elektrik üretimindeki gelişmeler sonucu ekonomik nedenlerle ikinci planda kalan rüzgar türbinleri 1970’li yıllarda meydana gelen petrol krizi sonrası tekrar gündeme taşınmıştır. 1980’li yıllarda evlerin ihtiyacını karşılayabilecek küçük türbin tasarımlarının ardından 1981 yılında Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO)’nun yürüttüğü bazı deneylerde rüzgar enerji kaynağı olarak kullanılmış ve rüzgar çiftlikleri kurulmaya başlanmıştır [8].

1.3 Dünyada Rüzgar Enerjisi

Dünyada birçok ülke rüzgâr potansiyelinden yararlanmaya yönelik, yoğun araştırmalar yapmakta ve önemli teknolojik gelişmeler kaydetmektedirler [2]. 2009 yılında rüzgâr santrallerinin ürettiği toplam elektrik enerjisi 340 TWh ile küresel elektrik üretiminin %2'sini aşmıştır. İvmelenerek artan gelişme doğrultusunda 2020 yılında 1.500.000 MW global kapasiteye ulaşılması mümkün görülmektedir [9].

Yapılan çalışmalarda dünyadaki teknik rüzgar potansiyelinin yılda 53.000 TWh olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu 53.000 TWh'lik teknik potansiyelin 14.000 TWh'lik kısmı Kuzey Amerika'da, 10.600 TWh'lik kısmı Doğu Avrupa&Rusya'da, 10.600 TWh'lik kısmı Afrika'da, 5.400 TWh'lik kısmı Güney Amerika'da, 4.800 TWh'lik kısmı Batı Avrupa'da, 4.600 TWh'lik kısmı Asya'da, 3.000 TWh'lik kısmı ise Okyanusya'da yer almaktadır. Şekil 1.2'de dünya teknik rüzgar potansiyelinin kıtalara göre dağılım payları gösterilmiştir [10].

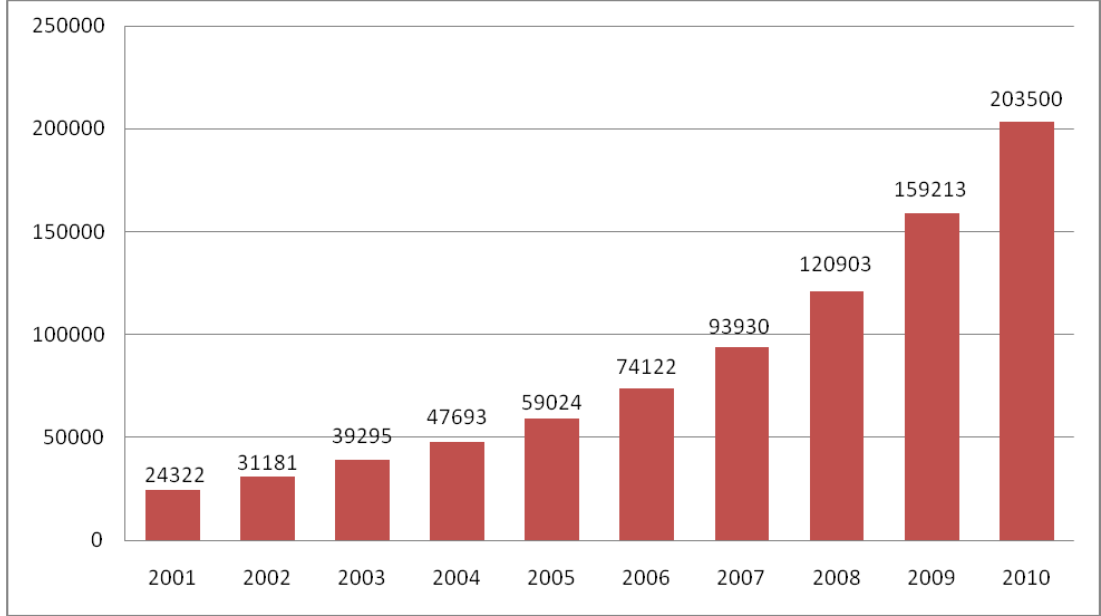


Şekil 1.2 : Dünya teknik rüzgar potansiyel dağılım payları

Dünyadaki toplam rüzgar kurulu gücü 2009 yılında bir önceki yıla göre gerçekleşen %31.7 'lik artışla enerji kaynakları arasındaki en yüksek büyümeyi gerçekleştirmiştir. Sektör 2009 yılında toplamda 50 milyar €'luk iş hacmine ulaşmıştır.

Dünya Rüzgar Enerjisi Birliği'nin 2009 yılı raporunda 2010 yılı için yapılan tahminlerde, dünya genelinde 2010 yılı sonunda toplam kurulu kapasitenin 203.500 MW olacağı bildirilmektedir.

Şekil 1.3’de dünya genelinde toplam rüzgar kurulu gücünün yıllara göre değişimi görülmektedir. 2001 yılı sonunda 24.322 MW olan toplam kurulu güç, 2005’te 59.024 MW’a, 2008’de 120.903 MW’a, 2009 senesi sonunda ise 159.213 MW’a ulaşmıştır. 2010 senesi içerisinde 44.287 MW daha rüzgar santralının kurulacağı öngörülmektedir [9].



Şekil 1.3 : Dünya Toplam Rüzgar Kurulu Gücü (MW)

2009 yılı sonunda toplam kurulu güç sıralamasında Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.) 35.159 MW’lık toplam kurulu güçle ilk sırada yer almaktadır. 26.010 MW’la Çin ikinci sırada yer alırken, Almanya 25.777 MW’la toplam kurulu güç sıralamasında üçüncü ülkedir. Çizelge 1.1’de 2009 yılı sonunda dünyada toplam kurulu güç sıralamasında ilk 10 ülke görülmektedir [9].

Çizelge 1.1 : 2009 yılı sonunda Dünyada toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke

Sıra	Ülke	Toplam Kurulu Güç Kapasitesi (MW)
1	A.B.D.	35.159
2	Çin	26.010
3	Almanya	25.777
4	İspanya	19.149
5	Hindistan	10.925
6	İtalya	4.850
7	Fransa	4.521
8	İngiltere	4.092
9	Portekiz	3.535
10	Danimarka	3.497

1.4 Avrupa'da Rüzgar Enerjisi

Avrupa'da uygulanan teşvik politikaları ile rüzgar enerjisi hızlı bir gelişim süreci göstermiştir [2]. Avrupa toplam rüzgar kurulu gücü eklenen 10.474 MW'lık kapasite ile 2009 yılı sonu itibariyle 76.218 MW'a ulaşmıştır. Şekil 1.4'te Avrupa rüzgar kurulu gücünün ülkelere göre dağılımı verilmiştir [9].



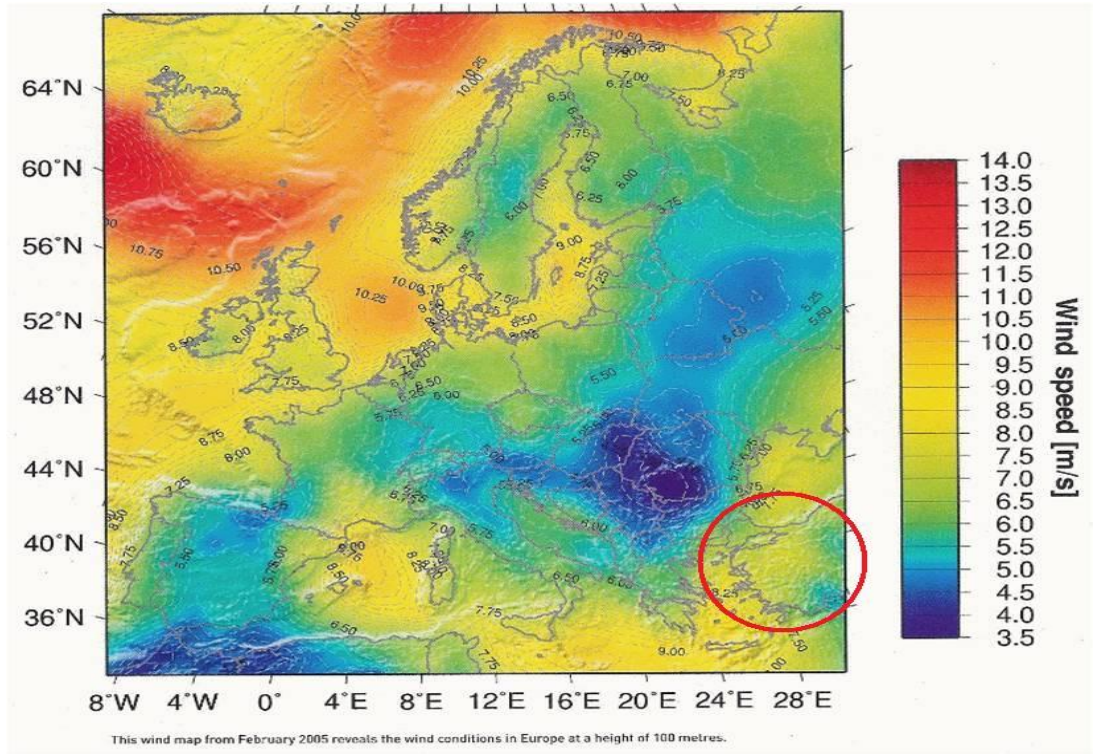
Şekil 1.4 : Avrupa Rüzgar Kurulu Gücünün Ülkelere Göre Dağılımı (MW)

Avrupa rüzgar enerjisi piyasasındaki domine edici rolünü bıraksa da piyasadaki liderlik pozisyonunu 2009 yılı sonu itibariyle de devam ettirmektedir. Almanya ve İspanya bir önceki yıla göre sabit bir büyüme gösterirken, Estonya 2009 yılında

kurduğu 142 MW'lık rüzgar santraliyle %81.8'lik bir büyüme oranı yakalamış ve büyüme hızında en dinamik ülke olmuştur [9].

2009 yılı sonunda ulaşılan 76.218 MW'lık toplam kurulu gücün 74.767 MW'lık kısmı Avrupa Birliği (AB) üyesi ülkelerde, 829 MW'lık kısmı Türkiye, Hırvatistan ve Makedonya'dan oluşan AB aday ülkelerde, 449 MW'lık kısmı ise İzlanda, Lihtenştayn, Norveç ve İsviçre'den oluşan Avrupa Serbest Ticaret Topluluğu (The European Free Trade Association – EFTA) üyesi ülkelerde bulunmaktadır [3].

Şekil 1.5'teki Avrupa Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası'ndan da görüleceği gibi Avrupa'nın özellikle denizler üzerinde ciddi bir rüzgar enerjisi potansiyeli mevcuttur [10,11].



Şekil 1.5 : Avrupa Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası

Avrupa Birliği, çevre ve enerji politikaları konularında iddialı hedefler belirlemiştir. “AB Enerji İklim Değişikliği Paketi” ‘nde belirlenen hedeflere göre 2020 yılı itibariyle toplam enerji tüketiminin %20’sinin yenilenebilir enerjilerden karşılanması gerekmektedir [12]. Bu hedefe ulaşmak için rüzgar enerjisi de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çizelge 1.2’de 2009 yılı sonu itibariyle Avrupa’da rüzgar enerjisi kurulu gücü sıralamasında ilk 10 ülke görülmektedir.

Çizelge 1.2 : 2009 yılı sonunda Avrupa’da toplam rüzgar kurulu gücünde ilk 10 ülke

Sıra	Ülke	Toplam Kurulu Güç Kapasitesi (MW)
1	Almanya	25.777
2	İspanya	19.149
3	İtalya	4.850
4	Fransa	4.492
5	İngiltere	4.051
6	Portekiz	3.535
7	Danimarka	3.465
8	Hollanda	2.229
9	İsveç	1.560
10	İrlanda	1.260

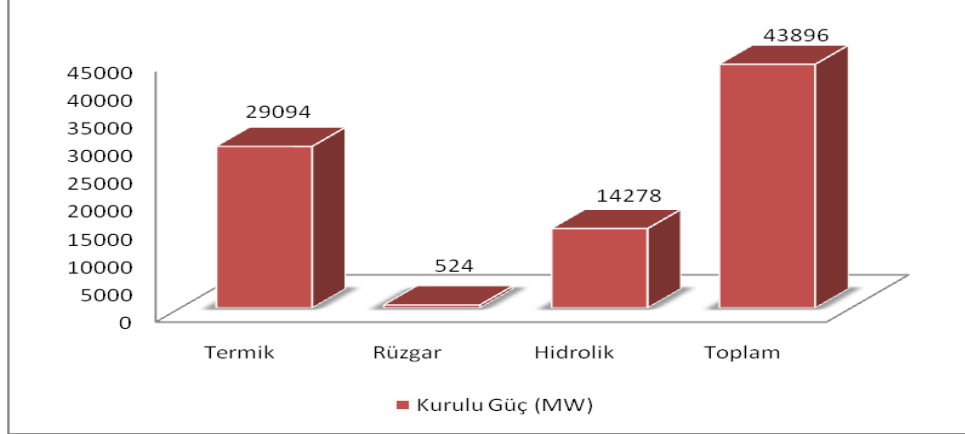
Almanya ve İspanya toplamda 44.926 MW’lık kurulu güçle Avrupa toplam kurulu gücünün % 58,94’üne sahipken, bu kurulu güç aynı zamanda dünya toplam kurulu gücünün de % 28,21’lik kısmına denk gelmektedir [3].

1.5 Türkiye’de Rüzgar Enerjisi

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ülkemizde, sanayi ve beraberinde kişi başına düşen enerji miktarı da artmaktadır. Ülkemizin her geçen gün artan enerji talebinin %72’lik kısmı ithal kaynaklardan sağlanmaktadır. Enerji konusunda yaşadığımız bu dışa bağımlılık ülkemiz açısından yerli ve yenilenebilir kaynak kullanımının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji üretiminde en önemli pay hidroelektrik ve biokütleyle ait olmasına karşın rüzgâr ve güneş enerjisinden yeterli oranda faydalanılamamaktadır. Rüzgâr enerjisi; temiz ve sürekli bir enerji kaynağı olması çevreyi kirletmemesi, , ülkemizin de yüksek bir potansiyele sahip olması sebebiyle son yıllarda önem kazanmıştır.

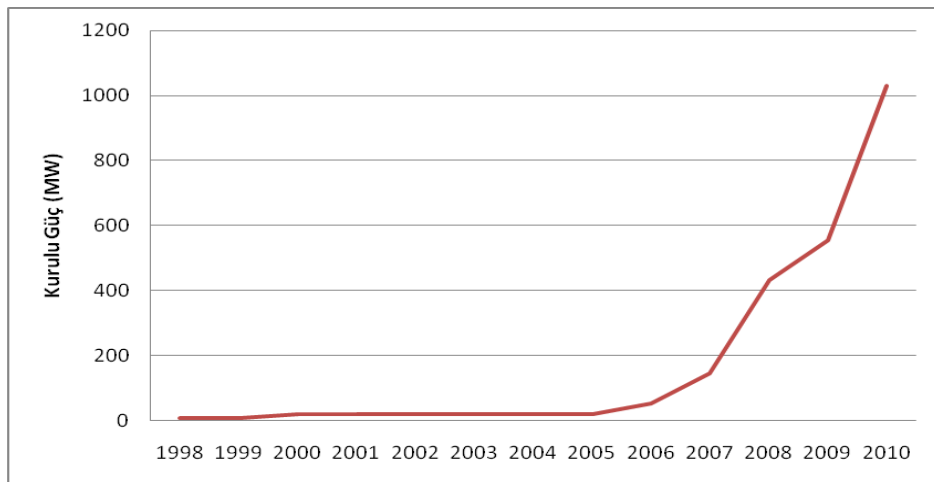
2007 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından geliştirilen Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) ile ülkemizde ortalama rüzgar şiddeti 8,5 m/s ve üzerinde olan bölgelerde en az 5.000 MW, 7 m/s’nin üzerindeki bölgelerde ise en az 48.000 MW rüzgar enerjisi potansiyeli olduğu tespit edilmiştir [13]. Tespit edilen bu 48.000 MW’lık potansiyelin 8.000 MW’lık kısmı çok verimli, 40.000 MW’lık kısmı ise orta verimli olarak sınıflandırılmıştır [14].

Ülkemiz sahip olduğu bu potansiyele rağmen rüzgar enerjisi kurulu gücümüz 2009 Eylül ayı sonu itibariyle termik ve hidrolik santrallerimizin yanında söz konusu edilemeyecek kadar azdır. Şekil 1.6'da 2009 yılı Eylül ayı sonu itibariyle birincil kaynaklara göre ülkemizin kurulu gücü görülmektedir. 43.896 MW'lık toplam kurulu gücümüzün 29.094 MW'lık kısmını termik santraller, 14.278 MW'lık kısmını hidrolik santraller, 524 MW'lık rüzgar santralleri oluşturmaktadır [15].



Şekil 1.6 : 2009 yılı Eylül ayı sonu itibariyle birincil kaynaklara göre Türkiye'nin kurulu gücü.

Ülkemizde 2005 yılına kadar durağan bir süreç izleyen rüzgar kurulu gücü 2005 yılından itibaren büyük bir artış göstermeye başlamıştır. 2007 yılı sonunda 146.25 MW olan rüzgar kurulu gücü, 2008 yılı sonunda 3 kat artış göstererek 433,35 MW'a, 2010 yılı Nisan ayı sonunda ise 1029.85 MW'a ulaşmıştır. Şekil 1.7'de ülkemizde rüzgar kurulu gücünün yıllara göre artışı gösterilmiştir [16].



Şekil 1.7 : Rüzgar kurulu gücünün yıllara göre artışı.

Ülkemizde 2010 yılı Nisan ayı sonunda işletmede olan rüzgar santralleri Çizelge 1.3'te listelenmiştir [16].

Çizelge 1.3 : 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle işletmedeki rüzgar santralleri

Şirket	Mevkii	Kurulu Güç (MW)	Türbin Üreticisi
Alize A.Ş.	İzmir-Çeşme	1.5	Enercon
Ares A.Ş.	İzmir-Çeşme	7.2	Vestas
Sunjüt A.Ş.	İstanbul-Hadımköy	1.2	Enercon
Yapısan A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	30.0	GE
Mare A.Ş.	İzmir-Çeşme	39.2	Enercon
Teperes A.Ş.	İstanbul-Silivri	0.85	Vestas
Anemon A.Ş.	Çanakkale-İntepe	30.4	Enercon
Deniz Elektrik	Manisa-Akhisar	10.8	Vestas
Doğal Enerji	Çanakkale-Gelibolu	14.9	Enercon
Doğal Enerji	Manisa-Sayalar	34.2	Enercon
Ertürk Elektrik	İstanbul-Çatalca	60.0	Vestas
İnnores A.Ş.	İzmir-İliğa	57.5	Nordex
Lodos A.Ş.	İstanbul-Gaziosmanpaşa	24.0	Enercon
Dares A.Ş.	Muğla-Datça	29.6	Enercon
Deniz Elektrik	Hatay-Samandağ	30.0	Vestas
Ayen Enerji	Aydın-Didim	31.5	Suzlon
Baki Elektrik	Balıkesir-Şamlı	90.0	Vestas
Belen Elektrik	Hatay-Belen	30.0	Vestas
Alize Enerji	Tekirdağ-Şarköy	28.8	Enercon
Kores A.Ş.	İzmir-Urla	15.0	Nordex
Alize A.Ş.	Çanakkale-Ezine	20.8	Enercon
Alize A.Ş.	Balıkesir-Susurluk	20.7	Enercon
Ütopya A.Ş.	İzmir-Bergama	15.0	GE
Mazı-3 A.Ş.	İzmir-Çeşme	30.0	Nordex
Ak Enerji	Balıkesir-Bandırma	15.0	Vestas
Borasco Enerji	Balıkesir-Bandırma	45.0	Vestas
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	95.0	GE
Soma Enerji	Manisa-Soma	49.5	Enercon
As Makinsan	Balıkesir-Bandırma	24.0	Nordex
Akdeniz A.Ş.	Mersin-Mut	33.0	Vestas
Bores A.Ş.	Çanakkale-Bozcaada	10.2	Enercon
Bergama RES	İzmir-İliğa	90.0	Nordex
Boreas A.Ş.	Edirne-Enez	15.0	Nordex
TOPLAM		1029.85	

2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle işletmeye alınan 1029.85 MW'lık rüzgar santraline ek olarak 492.35 MW'lık rüzgar santralinin de kurulmasına devam edilmektedir. Çizelge 1.4'te 2009 yılı Nisan ayı sonu itibariyle ülkemizde inşaatı devam eden rüzgar santralleri görülmektedir [16].

Çizelge 1.4 : 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle inşaatı devam eden rüzgar santralleri

Şirket	Mevkii	Kurulu Güç (MW)	Türbin Üreticisi
Alize A.Ş.	Balıkesir-Havran	16.0	Enercon
Alize A.Ş.	Manisa-Kırkağaç	25.6	Enercon
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	45.0	GE
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	60.0	GE
Rotor A.Ş.	Osmaniye-Bahçe	50.0	GE
Soma Enerji	Manisa-Soma	90.9	Enercon
Doruk Enerji	İzmir-İliç	30.0	Enercon
Bilgin Enerji	Manisa-Soma	90.0	Nordex
Ziyaret RES	Hatay-Samandağ	35.0	GE
Ütopya A.Ş.	İzmir-Bergama	15.0	GE
Kapıdağ A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	34.85	-
TOPLAM		492.35	

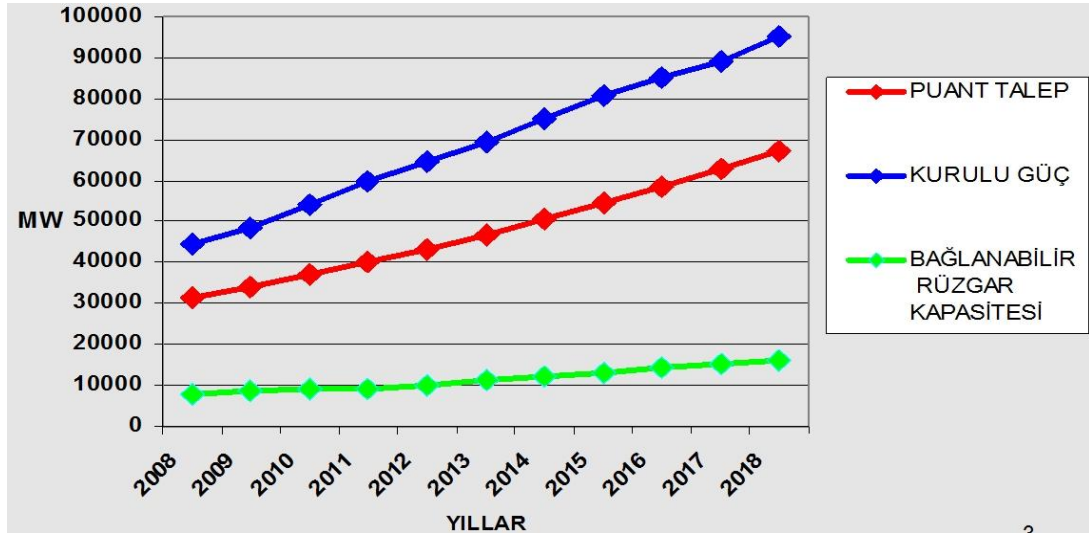
İşletmeye alınan ve inşaatı devam eden rüzgar santrallerinin yanında 644.45 MW'lık rüzgar santralinin de finansman çalışmaları tamamlanmış ve türbin tedarik sözleşmeleri imzalanmıştır. Türbin tedarik sözleşmeleri imzalanan bu rüzgar santrallerinin 2011 yılı sonunda işletmeye alınabileceği söylenebilir.Çizelge 1.5'te 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle türbin tedarik sözleşmeleri imzalanmış rüzgar santralleri gösterilmiştir [16].

Çizelge 1.5 : 2010 yılı Nisan ayı sonu itibariyle türbin tedarik sözleşmeleri imzalanmış rüzgar santralleri

Şirket	Mevkii	Kurulu Güç (MW)	Türbin Üreticisi
Sabaş A.Ş.	Aydın-Çine	24.0	-
Bakras Enerji	Hatay-Merkez	15.3	Vestas
Kardemir	İzmir-Aliğa	12.5	Nordex
Garet Enerji	İzmir-Aliğa	10.0	GE
Garet Enerji	Çanakkale-Ezine	22.5	GE
Galata Enerji	Balıkesir-Bandırma	30.0	-
Galata Enerji	Balıkesir-Bandırma	93.0	Vestas
ABK Enerji	Aydın-Söke	30.0	-
Doğal Enerji	İzmir-Foça	30.0	Enercon
Doğal Enerji	İzmir-Aliğa	30.0	Enercon
Poyraz Enerji	Balıkesir-Kepsut	54.9	Enercon
Ziyaret RES	Hatay-Samandağ	22.5	GE
Samandağ RES	Hatay-Samandağ	35.0	-
EnerjiSA	Çanakkale Ezine	30.0	Siemens
Al-Yel Elektrik	Kırşehir-Mucur	150.0	Repower
Ayen Enerji	İzmir-Karaburun	30.75	Suzlon
Ayen Enerji	İzmir-Seferihisar	24.0	Suzlon
TOPLAM		644.45	

Rüzgar enerjisi piyasasında işletmeye alınan, inşaatı devam eden ve türbin tedarik sözleşmeleri yapılmış tüm bu santrallerin yanında değerlendirme aşamasında olan lisans başvuruları da mevcuttur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 1 Kasım 2007 tarihinde bir günle sınırlı olmak üzere açılan rüzgar enerjisinden elektrik üretim tesisi kurmak için yapılan lisans başvurularına yoğun bir talep olmuş, toplamda 751 adet başvuru ile 78.151 MW'lık lisans başvurusu yapılmıştır. Bu rakam Türkiye kurulu gücünün yaklaşık iki katına denk gelmektedir [17].

Yapılan 78.151 MW'lık lisans başvurusundan sonra çalışmalara başlayan Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) iletim hatlarının ve mevcut trafoların durumlarını gözden geçirerek 2018 yılına kadar iletim hatlarına bağlanabilecek rüzgar enerjisi santrali için bir projeksiyon hazırlamıştır. Hazırlanan bu projeksiyona göre iletim hatlarımıza bağlanabilir rüzgar enerjisi santrali kapasitesi ve daha önce lisans ve bağlantı görüşü alan başvurularda değerlendirilerek, 1 Kasım 2007 başvurularından ancak % 9,39'luk kısmını oluşturan 7344 MW'lık kısmının lisans alabileceği belirlenmiştir. Şekil 1.8'de TEİAŞ tarafından oluşturulan bağlanabilir rüzgar enerjisi santrali, toplam kurulu güç, puant talep projeksiyonu görülmektedir [15,17].



Şekil 1.8 : Bağlanabilir rüzgar kapasitesi-puant talep-toplam kurulu güç projeksiyonu.

1.6 Çalışmanın Amacı

Hazırlanan bu tez çalışmasında amaç; ülkemizin Avrupa Birliği üyesi olma çalışmaları yaptığı ve Kyoto Protokolü'ne taraf olduğu bu günlerde, karbondioksit salınımının azaltılması konusunda önemli bir araç olacağı düşünülen rüzgar enerjisi alanında yapılan değerlendirme ve potansiyel belirleme çalışmalarının nasıl yapılması gerektiğine bir örnek oluşturmaktır.

Rüzgar enerjisi alanının oldukça geniş bir çalışma alanına sahip olması nedeniyle rüzgar atlası oluşturma ve enerji potansiyeli belirleme konularına odaklanılarak tez çalışmasına bir sınırlama getirilmiştir.

Özellikle ülkemizde 1 Kasım 2007 tarihinde yapılan rüzgar enerjisinden elektrik üretim tesisi kurmak için yapılan lisans başvurularında, bir rüzgar enerjisi santrali kurmak için yapılması gereken işlemlerin başında gelen rüzgar ölçümleri, alan modellemesi, enerji üretim potansiyeli belirleme gibi konuların ele alınmadığı, kuruluş aşamasında düşünülmesi gereken konum, türbin v.s. seçimi gibi faktörlerin üstün körü hesaplandığı, yatırımcılar için oldukça acı verici sonuçlar doğurabilecek bilinçsizce başvuruların yapıldığı görülmüştür. Bu bağlamda, böyle bir konunun ele alınmasının, ileriki yıllarda yapılacak çalışmalar ve uygulamalar için yol gösterici ve faydalı olacağı beklenmektedir.

Özetle tezin amacı; İstanbul Terkos bölgesi'nin rüzgar enerjisi potansiyelinin ele alındığı, rüzgar enerjisi sektörünün kullanabileceği, somut bir çalışma ortaya koymaktır.

1.7 Çalışmanın Yöntemi

İstanbul Terkos bölgesi rüzgar enerjisi potansiyelinin ele alındığı bu tez çalışmasında izlenen yöntem; öncelikle rüzgar enerjisi hakkında teorik bilgiler vermek, dünyada Avrupa'da ve Türkiye'de rüzgar enerjisinin bugünkü durumunu göstermek, rüzgar türbinleri hakkında genel bilgiler vermek, ardından bu bilgiler ışığında İstanbul Terkos bölgesinin rüzgar atlasını oluşturmak ve enerji üretim potansiyelini belirlemektir. Bu amaçla üniversite kütüphanelerinde, çeşitli ülkelere ait rüzgar enerjisi birliklerinin ve enerji ajanslarının internet sitelerinde, internet üzerinden bilimsel makale yayınlayan adreslerde geniş kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Çalışılan bölgeye ait 1:25.000 ölçekli topografik haritalar Danimarka Riso Ulusal Laboratuvarı'nda geliştirilmiş olan WAsP (The Wind Atlas Analysis and Application Program) adlı bilgisayar programının harita düzenleyicisinde sayısallaştırılmış ardından bölgeye ait rüzgar hızı verileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştirak şirketlerinden olan İstanbul Enerji A.Ş.'den edinilmiş ve tez çalışmasında yapılan potansiyel belirleme çalışmalarında kullanılmıştır. Tüm bunlara ek olarak, bir çok mühendis, akademisyen ve bu konuda araştırma yapmış veya çalışan çeşitli kişilerin fikirlerine de başvurulmuş, tez hazırlama aşamasında düzenlenen seminer, kongre gibi etkinliklerde elde edilen güncel bilgilerden de faydalanılmıştır.

2. RÜZGAR ENERJİSİ

2.1 Rüzgar

Rüzgar genel olarak hareket halindeki hava olarak tanımlanmaktadır. Atmosferdeki mevcut toplam enerji potansiyel ve kinetik enerji olarak bölünür. Rüzgarlar, basınç kuvvetlerinin bir ürünü olarak atmosferdeki potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümünün sonuçlarıdır.

Ana enerji kaynağı güneş olan rüzgar, dünyanın eğriliği, dönme ekseninin eğimi ve dünya yüzeyinin homojen olmayan yapısı nedeniyle, yer yüzeyinin homojen olarak ısınmaması ve soğuyamamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan basınç farklılıkları ile havanın hareket etmesi sonucu oluşur.

Dünya’da yatay bir yüzeye ulaşan enerji miktarı, küresellik dolayısıyla, kutuplara doğru azalır. Yer yüzeyi tarafından absorblanan enerjiyi etkileyen diğer önemli faktörler bulutluluk ve yüzeyin elektromanyetik ışınımı yansıtma oranıdır [18]. Güneşten dünyaya gelen enerjinin ancak %1-2’si rüzgar enerjisine dönüşür [2].

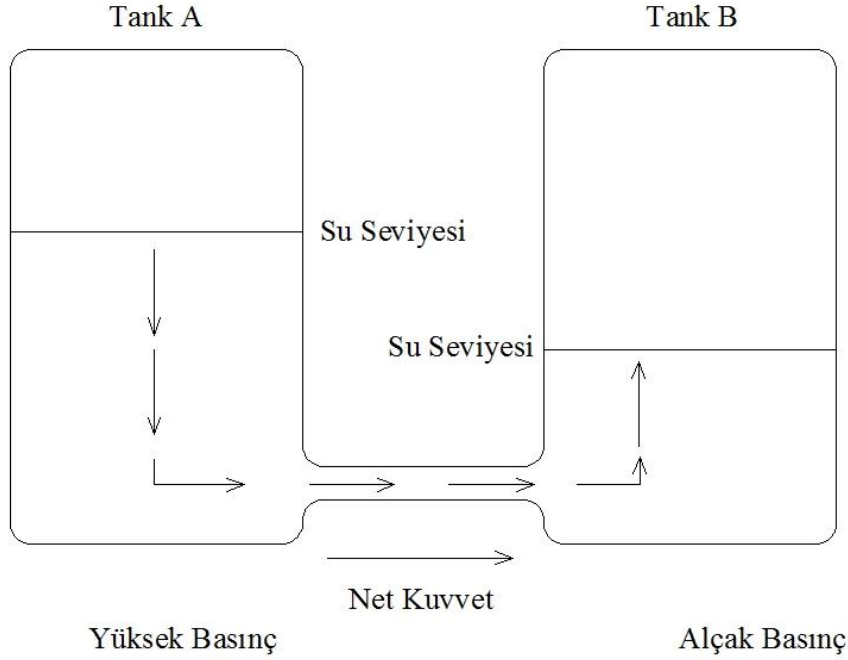
2.2 Rüzgarın Temel Oluşum Mekanizması ve Rüzgar Çeşitleri

Daha önce açıklandığı gibi rüzgar oluşumuna yeryüzündeki farklı sıcaklık dağılımı neden olur. Sıcaklık dağılımını ise, enlem, kara-deniz etkileşimi, yükseklik ve mevsimler etkilemektedir.

Okyanus ve deniz kıyısına sahip kara parçalarında sıcaklık farkı yüksek olduğu için, rüzgar potansiyeli de yüksektir.

Rüzgar en basit anlamda hava hareketi olduğu için, atmosferde bu hareketi hangi mekanizmanın başlattığı Şekil 2.1’de anlatılmaya çalışılmıştır. Şekil incelenecek olursa, A tankının 2/3’ü su ile dolu iken, B tankının 1/3’ü su ile doludur. Her bir tanktaki su basıncı, tankın içinde duran suyun ağırlığına eşit olduğundan, A tankının basıncı daha büyüktür. Basınç birim alana uygulanan kuvvet olduğuna göre, net kuvvet, A tankından B tankına doğru olacaktır. Bunun sonucunda ise A tankından B

tankına doğru bir su akışı başlayacaktır. Hava da akışkan olduğu için aynı mantık atmosfer için de geçerli olacaktır. Basıncıdaki yatay farklılıklardan dolayı atmosferik basınç havanın hareketine neden olacaktır [18].

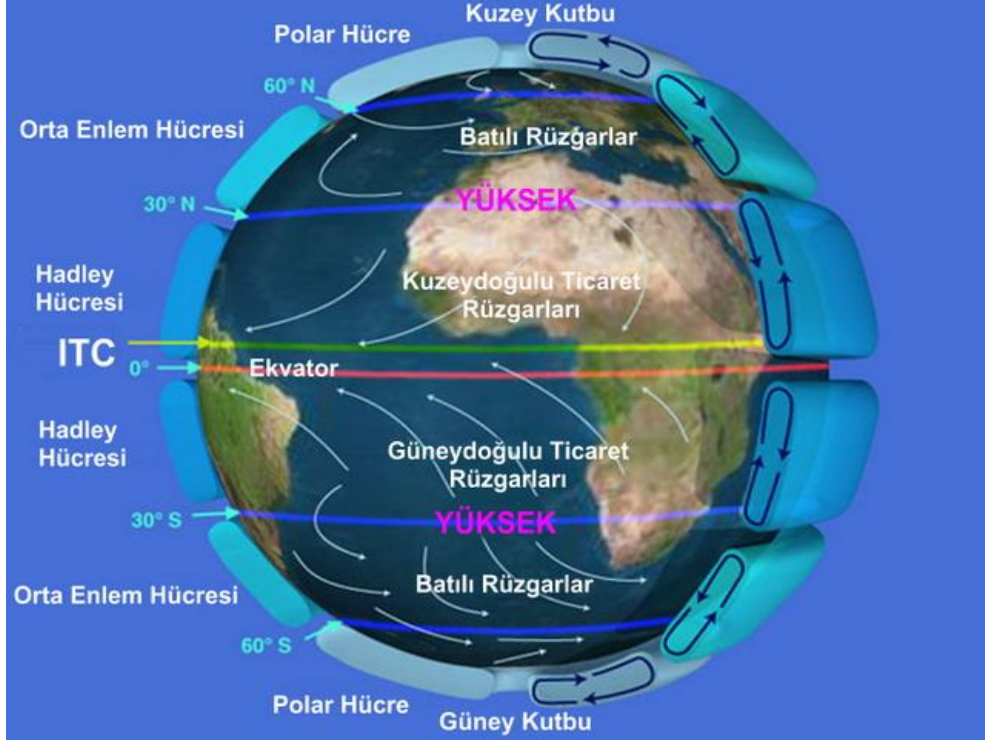


Şekil 2.1 : Hareketin Oluşum Mekanizması

Rüzgarlar genel olarak küresel rüzgarlar, mevsim rüzgarları, günlük rüzgarlar ve yerel rüzgarlar olmak üzere dört ana başlık altında incelenir [18].

2.2.1 Küresel rüzgarlar

Yeryüzünün ısınması sırasında oluşan farklılıklar atmosferin genel sirkülasyonunun ortaya çıkmasına neden olur. Yıllık ortalama dikkate alındığında, gelen güneş radyasyonu, giden yer radyasyonuna eşittir. Kutuplar ve ekvatorial bölge mercek altına alındığında, kutuplarda net bir kaybın, ekvatorial bölgede ise net bir kazancın olduğu görülmektedir. Bu dengesizlik sebebiyle sıcak hava kutuplara, soğuk hava ise ekvatorial bölgeye doğru hareket eder. Bu yüzden atmosferin genel sirkülasyonu büyük rüzgar sistemlerinin oluşmasında önemli rol oynar. Şekil 2.2’de atmosferin genel sirkülasyonu ve küresel rüzgarların yönleri gösterilmektedir [18,19].



Şekil 2.2 : Atmosferin genel sirkülasyonu ve küresel rüzgarlar

2.2.1.1 Ticaret rüzgarları (Alizeler)

Alize rüzgarları da denen ticaret rüzgarları kuzey ve güney yarıkürede subtropikal yüksek basınç kuşağı ile tropikler arasında bütün yıl boyunca ekvatora doğru esen rüzgarlardır. Kuzey yarıkürede kuzeydoğu yönünde esen ticaret rüzgarları, güney yarıkürede ise güneydoğulu yönlerden esmektedir. Özellikle okyanuslar üzerinde oldukça etkili olan ticaret rüzgarları yelkenli gemiler için çok uygun koşulları oluştururlar. Ticaret rüzgarlarının eskiden Avrupa'dan Hindistan'a ve Avustralya'ya gidişlerde kullanıldığı bilinmektedir. İsminin de burdan geldiği düşünülen ticaret rüzgarları günlük hava olaylarından çok etkilendiğinden her zaman ve her yerde düzenli olarak esmezler [18].

2.2.1.2 Batılı rüzgarlar

Batılı rüzgarlar, subtropikal yüksek basınç bölgelerinden (30° enlemi civarı) orta enlem alçak basınç bölgelerine (60° enlemi civarı) doğru esen, yön ve süreklilik bakımından oldukça değişken bir özellik gösteren rüzgarlardır. Orta enlem okyanuslarının doğu bölümlerinde ve kışın güçlü batı yönlü rüzgarlar halinde kendilerini gösterirler. Batıdan doğuya doğru hareket eden geçici siklon ve

antisiklonların etkisinden dolayı, batılı rüzgarların yönlerinde ve şiddetlerinde zaman zaman değişiklikler gözlemlenmektedir [18].

2.2.1.3 Kutup rüzgarları

Kutup rüzgarları, kutuplar veya civarında bulunan yüksek basınç merkezlerinden, genelde 60° enlemlerindeki alçak basınç kuşağına doğru esen, bazen 40° enlemlerine kadar indiği görülen kuru ve soğuk rüzgarlardır. Yeryüzündeki sürtünme ve sapmanın bir sonucu olarak kuzey yarımkürede kuzeydoğudan, güney yarımkürede ise güneydoğudan esmektedirler [18].

2.2.2 Mevsim rüzgarları (Musonlar)

Yaz boyunca denizlerden karalara; kış boyunca da karalardan denizlere esen ve muson rüzgarları olarak da isimlendirilen mevsim rüzgarları, esas itibariyle yeryüzündeki denizlerle karaların mevsimlere göre değişik şekilde ısınması sonucunda yüksek basınç merkezlerinin kışın karalarda yazın ise denizlerde bulunmasından ileri gelmektedirler. En fazla kuzeydoğu, kuzeybatı, güneydoğu ve güneybatı yönlerinde esen mevsim rüzgarları özellikle Hint Okyanusu, Meksika ve Gine Körfezi, Çin ve Avustralya arasındaki denizler ve Brezilya ile Şili arasında görülmektedir [18].

2.2.3 Günlük rüzgarlar

Gün içinde oluşan ve daha çok karalarla denizler ve dağlarla vadiler arasında kendilerini gösteren basınç farklılıkları, diğer rüzgar sistemlerine oranla çok daha kısa sürede kendini gösteren rüzgarları oluştururlar. Çünkü bu gibi yerler gün içerisinde farklı ısınıp farklı soğumaktadırlar. Kara ile deniz arasında meydana geliyorsa kara ve deniz meltemleri, dağ ile vadi arasında meydana geliyorsa dağ ve vadi meltemleri adını alan bu tür rüzgarlar oluşumları bakımından musonlara benzemektedirler. Musonlarla günlük rüzgarlar arasındaki en belirgin fark musonların mevsimlik değişmelerden meydana gelmesi sebebiyle ve daha geniş bir alanı etkileyebilmeleridir. Meltemler günlük değişimlerden meydana geldikleri için daha küçük alanı etkilerler. Hemen hemen her yerde esen meltemler kutuplarda günlük sıcaklık değişimleri az olduğu için görülmezler [18].

2.2.4 Yerel rüzgarlar

Bir bölgede belirli zamanlarda meydana gelen alçak ve yüksek basınç sahalarının etkisiyle oluşan, esiş yerleri ve zamanları genellikle belli olmayan rüzgarlara yerel rüzgarlar denir. İlk oluştukları yerlere göre sıcak ve soğuk karakterli olabilen yerel rüzgarlara, estikleri yerin topografik özellikleri özel karakterler kazandırır.

Güney Akdeniz'e veya Afrika'ya doğru hareket eden alçak basınç merkezlerinin önünde görülen sıcak, güney ve güneybatılı rüzgarların oluşturduğu sam yeli, bütün dağlık bölgelerde görülebilen, yüksek dağların yamaçlarından aşağıya doğru esen sıcak ve kuru rüzgarların oluşturduğu fön rüzgarları, Adriya Denizi, Dalmaçya ve İstirya kıyılarında esen kuvvetli, soğuk ve kuru bir rüzgar olan bora, Fransa'da kuzey-kuzeybatıdan esen soğuk, kuru ve şiddetli bir rüzgar olan mistral, Romanya'da aşağı Tuna ovalarında kuzeydoğudan esen soğuk ve şiddetli bir rüzgar olan krivetz ve ülkemizde Karadeniz ile Marmara havzalarında kuzeydoğudan esen soğuk ve şiddetli bir rüzgar olan poyraz başlıca yerel rüzgarlar olarak sayılabilir [18].

2.3 Rüzgar Potansiyelinin Belirlenmesi

Bir noktadaki rüzgar potansiyelinin belirlenebilmesi için değişik yöntemler kullanılır. Herhangi bir nokta için rüzgar gücü matematiksel olarak aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır [20]. (2.1)

$$P = \frac{1}{2} \rho u^3 \quad (2.1)$$

Denklemden, P rüzgar potansiyelini (W/m^2), ρ havanın yoğunluğunu (kg/m^3), u rüzgar hızını (m/s) göstermektedir.

Hesaplanan rüzgar gücünün enerjiye dönüştürülebilecek maksimum miktarı, bu değer 16/27'si kadardır [20]. Bu oran Betz Limiti olarak adlandırılır. Bu durumda elde edilebilecek maksimum rüzgar gücü,

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho u^3 \quad (2.2)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Herhangi bir yükseklikte ölçülen rüzgar hızı kullanılarak istenen başka bir yükseklikteki rüzgar hızı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir [20]. **(2.3)**

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^\alpha \quad (2.3)$$

Denklemden, H_1 rüzgar hızının ölçüldüğü yüksekliği (m), H_2 rüzgar hızının hesaplanmak istediği yüksekliği (m), U_1 H_1 yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızını (m/s), U_2 H_2 yüksekliği için hesaplanacak rüzgar hızını (m/s), α da yeryüzü pürüzlülüğüne bağlı katsayıyı (Hellman katsayısı) ifade etmektedir.

2.4 Weibull Dağılım Fonksiyonu

Rüzgar potansiyel analizlerinde kullanılan diğer bir yöntem de, rüzgar hızlarının göstermiş olduğu istatistiksel dağılımların analizi sonucu yapılan hesaplamalardır [21]. Yapılan araştırmalar rüzgar hız değerlerinin en başarılı olarak 2 parametrelili Weibull dağılımı ile modellenebileceğini göstermiştir [19,22].

Weibull dağılımı'nın karakterize edildiği 2 parametre boyutsuz şekil ve rüzgar şiddeti ile aynı birime sahip ölçek parametreleridir [23]. Aşağıdaki denklemde Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu görülmektedir. **(2.4)**

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (2.4)$$

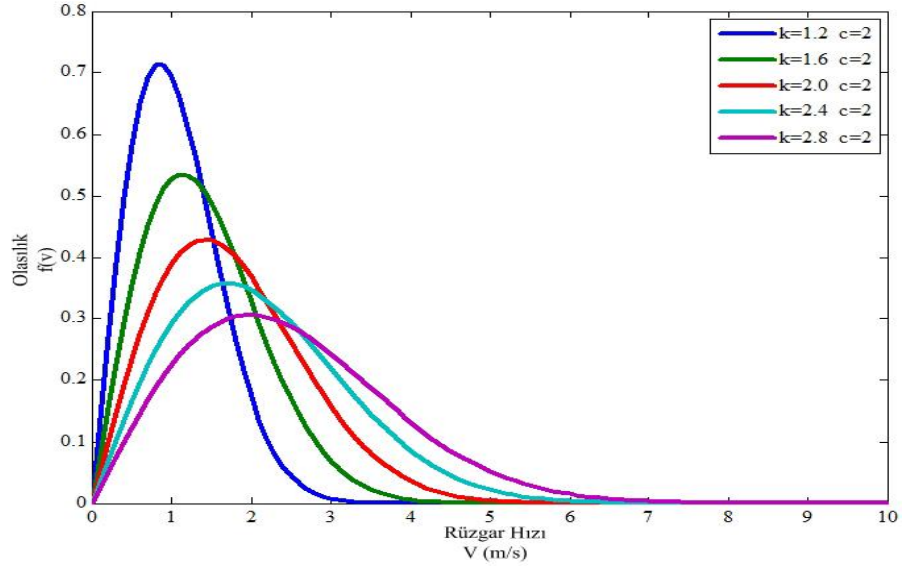
Burada $f(v)$ rüzgar şiddetinin olasılık yoğunluğunu, k ve c sırasıyla boyutsuz şekil ve rüzgar şiddeti ile aynı birime sahip ölçek parametreleridir [24].

Weibull dağılım fonksiyonunun c ölçek parametresi rüzgar ortalaması ile doğru orantılıdır. Bu durum bir rüzgar istasyonunun rüzgar karakteristiğinin belirlenmesinde ölçek parametresinin önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir. Weibull dağılım fonksiyonunun k şekil parametresi ise rüzgarın ortalaması ile doğru fakat standart sapması ile ters orantılıdır. O halde ortalama rüzgar şiddetinin ve standart sapmanın bilinmesi durumunda k ve c parametreleri bulunabilir [18].

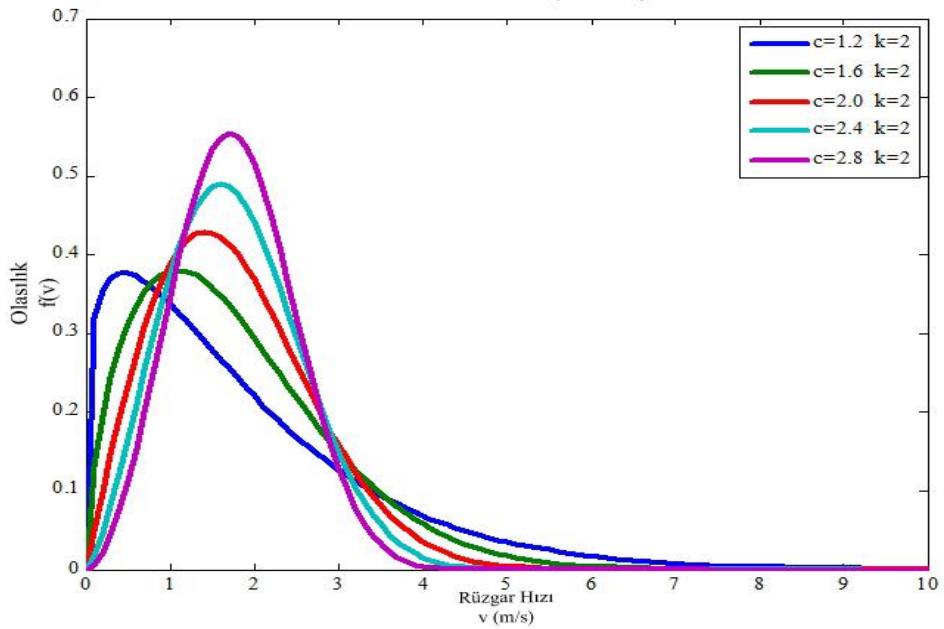
Ölçek parametresi c sabit tutularak; şekil parametresi küçültülürse Weibull dağılım fonksiyonu düşük hızlara doğru yaklaşır keskinleşir, şekil parametresi büyütülürse yüksek hızlara doğru genişler.

Şekil parametresi k sabit tutularak; ölçek parametresi küçültülürse dağılım fonksiyonu genişler ve tepe noktası düşer. Ölçek parametresi yükseltilirse dağılım daralır ve tepe noktası yükselir [19].

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te Weibull dağılım fonksiyonunun parametrelere göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.3 : Ölçek parametresi sabitken şekil parametresinin değişimi

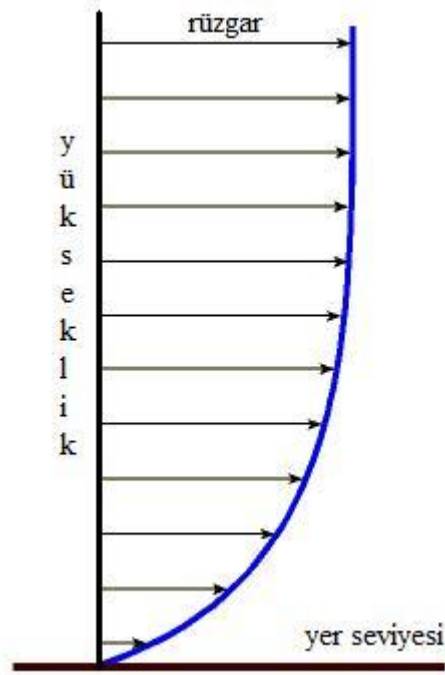


Şekil 2.4 : Şekil parametresi sabitken ölçek parametresinin değişimi

2.5 Rüzgar Enerjisini Etkileyen Faktörler

2.5.1 Yükseklik

Rüzgar enerjisi uygulamalarında 10 km civarında etki alanı olan ve yerden 40-100 m yükseklikleri arasında esen mikro ölçekli rüzgarlar dikkate alınır. Bu rüzgarlar yüzey koşullardan etkilenirler. Rüzgar profili yükseklikle değişim göstermektedir. Rüzgar hızının yükseklikle değişimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Rüzgar hızı başlangıçta artmakta daha sonra belli bir yükseklikten sonra sabitlenmektedir [19,23].



Şekil 2.5 : Rüzgar hızının yükseklikle değişimi

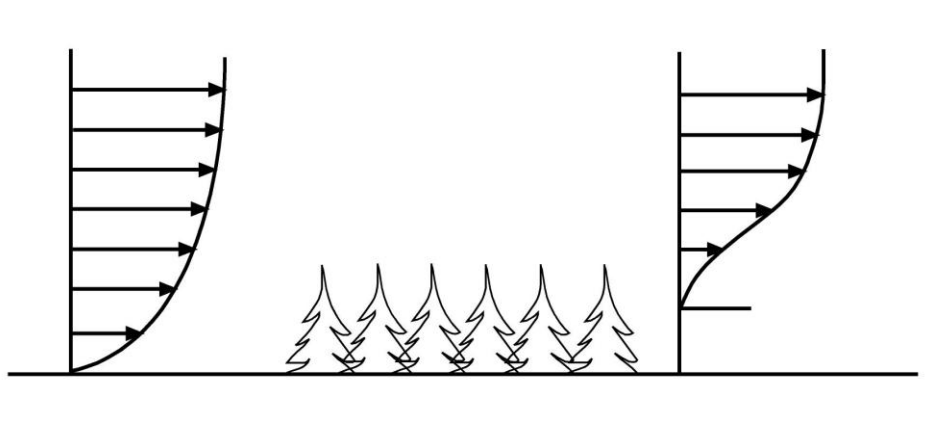
2.5.2 Pürüzlülük

Yeryüzünün bir çok yerinde yer şekilleri düzenli değildir ve bir çok yerde belirgin farklılıklar gösterir [25]. Bir bölgenin yüzey pürüzlülüğü, o bölge üzerindeki pürüzlülük elemanlarının dağılımına bağlıdır. Bitki örtüsü, yapılaşma ve doğal arazi yapıları tipik pürüzlülük elemanlarıdır [18].

Genel olarak, yeryüzü pürüzlülüğü ne kadar fazlaysa rüzgar hızının o kadar yavaşladığı kabul edilir. Pürüzlülük yaratacak alanlara örnek vermek gerekirse hava alanlarındaki beton pistler rüzgar hızını daha az yavaşlatırlarken, ormanlar ve büyük şehirler rüzgar hızını önemli derecede azaltırlar. Beton pistlerden daha düz olan su

yüzeyleri rüzgar üzerinde daha az etkiliyken, geniş çayır, çalılık ve çitler rüzgar hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [26].

Yüzey pürüzlülüğü, pürüzlü bir yüzeyden düz bir yüzeye geçişte değişiklik gösterir. Rüzgar şiddeti profili yükseklikle artış gösterirken, düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçişte (örneğin açık denizden ormanlık bir araziye geçiş) ise profil yükseklikle azalma gösterir. Şekil 2.6'da düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim gösterilmiştir [27].

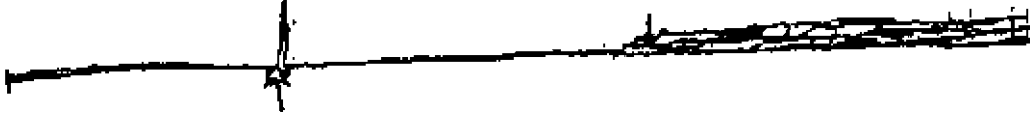


Şekil 2.6 : Düz bir yüzeyden pürüzlü bir yüzeye geçiş ve rüzgar profilindeki değişim. Rüzgar hızı profilini üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olan pürüzlülük, rüzgar enerjisi incelemelerine önemli bir parametredir. Rüzgar enerjisi ve rüzgar atlası çalışmalarında dört pürüzlülük sınıfı tanımlanır [28,29]. Pürüzlülük sınıflandırmalarında bir diğer büyüklük olan ve Z_0 ile ifade edilen pürüzlülük yüksekliği teorik olarak rüzgar hızının sıfıra indiği yükseklik olarak tanımlanmaktadır [26].

Bir pürüzlülük elemanının yüksekliği h olmak üzere, rüzgara karşı gelen dikey kesit alanı S ve arazi üzerine dağılmış ortalama yatay kesit alanı A_H ile ifade edildiğinde pürüzlülük elemanları ile pürüzlülük yüksekliği arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir [30].

$$Z_0 = 0.5 \frac{h.S}{A_H} \quad (2.5)$$

Su alanları, denizler, fiyordlar ve göller pürüzlülük sınıfının 0 olarak kabul edildiği bölgelerdir. Bu bölgelerde pürüzlülük yüksekliği Z_0 , 0.0002 m olarak tanımlanır. Şekil 2.7'da pürüzlülük sınıfının 0 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [29].



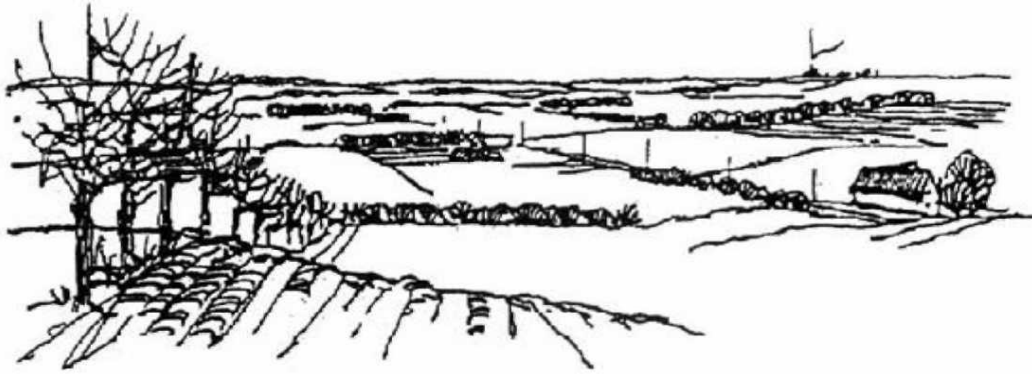
Şekil 2.7 : Pürüzlülük sınıfı 0 olan arazi örneği.

Pürüzlülük sınıfının 1 olarak tanımlandığı bölgeler açık alanlar içinde rüzgara etki edecek birkaç engelin, basit şekil, ağaç ve çalılıkların bulunduğu açıklıkları, düz alanları ve yumuşak engebeleri kapsar. Pürüzlülük sınıfı 1 olan bölgelerde pürüzlülük yüksekliği Z_0 0.03 m olarak kabul edilir. Şekil 2.8’de pürüzlülük sınıfının 1 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [29].



Şekil 2.8 : Pürüzlülük sınıfı 1 olan arazi örneği.

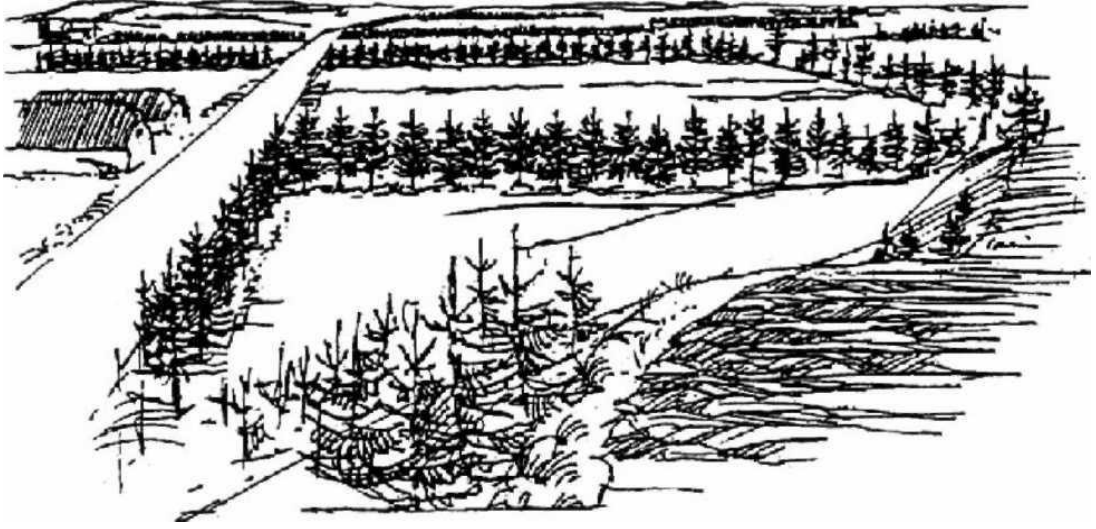
Pürüzlülük yüksekliği Z_0 ’ın 0.10 m olarak ifade edildiği, pürüzlülük sınıfı 2, rüzgara etki eden kırıncıların birbirinden ortalama 1000 m’den fazla uzaklıkta olduğu, binaların dağınık bir halde bulunduğu, çok sayıda ağaç ve binanın bulunduğu alanları karakterize eder. Şekil 2.9’da pürüzlülük sınıfının 2 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [29].



Şekil 2.9 : Pürüzlülük sınıfı 2 olan arazi örneği.

Şehir alanları, ormanlar ve ortalama birkaç yüz metre aralıklarla çok sayıda rüzgara etki edecek kırıncıların bulunduğu arazilerde pürüzlülük yüksekliği Z_0 0,40 m olarak

ifade edilir ve bu bölgeler pürüzlülük sınıfı 3'e girerler. Şekil 2.10'da pürüzlülük sınıfının 3 olduğu arazi örneği gösterilmiştir [29].

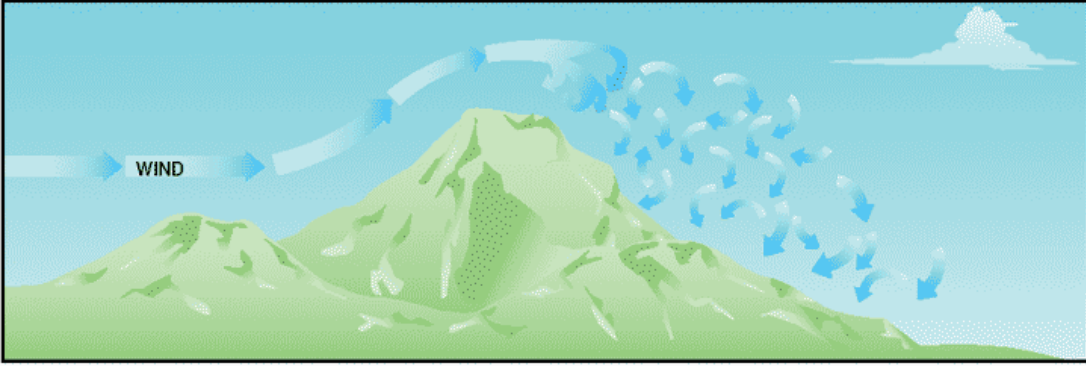


Şekil 2.10 : Pürüzlülük sınıfı 3 olan arazi örneği.

2.5.3 Türbülans

Genel olarak, aniden oluşan düzensiz hava hareketleri olarak tanımlanan türbülans, bir çok kez oldukça hızlı bir şekilde dönen mikro ölçekli hava akımı olarak karşılaşılan ve bir rüzgar türbüninden üretilecek enerji miktarını etkileyen bir büyüklüktür [26]. Türbülansın yoğunluğu rüzgar hızlarının standart sapmalarının ortalama rüzgar hızına oranı olarak ifade edilir [25]. Türbülans yoğunluğu artan yükseklikle azalmakta ve yüzey pürüzlülüğünden etkilenmektedir. Aynı büyüklükteki sapmalar için yüksek rüzgar hızlarında azalmaktadır [23].

Rüzgar türbinleri üzerinde yorulmalara da neden olan türbülans, türbin kanatları üzerinde zaman zaman yırtılma, sökölme gibi fiziksel etkiler meydana getirebilmektedir. Özellikle yer yüzüne yakın yerlerde oluşabilecek türbülans etkilerinden minimum şekilde etkilenmek adına rüzgar türbinleri yeterince yüksek yapılırlar [26]. Şekil 2.11'de dağlık bir alan ardında oluşan türbülans ve hava akımlarının hareket yönleri gösterilmektedir. Düzensiz bir dağ yüzeyi boyunca yükselen hava dağın ardında düzensiz bir form tutmakta ve modellenmesi oldukça zor olan bir akış izlemektedir.

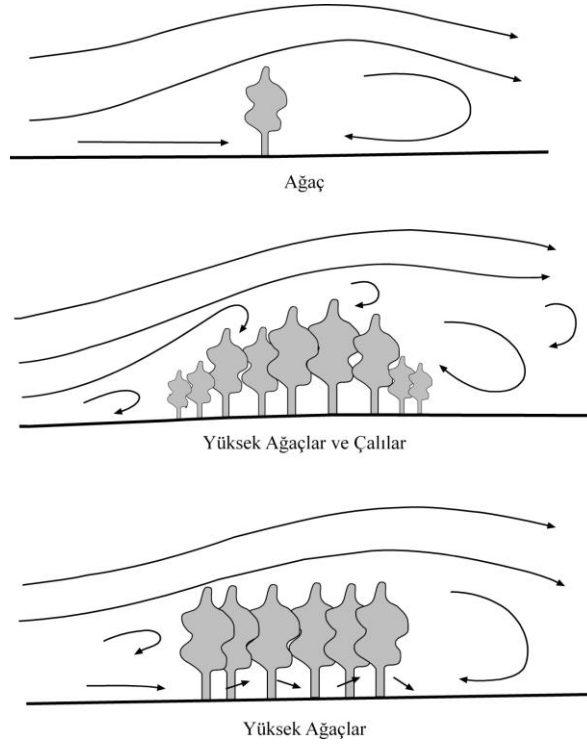


Şekil 2.11 : Türbülansın hava akışına etkisi.

2.5.4 Rüzgar Engelleri

Düz bir arazi üzerinde hava akışını etkileyen rüzgar engellerini, insan yapımı engeller ve doğal engeller olmak üzere iki başlık altında toplamak mümkündür. İnsan yapımı engeller evler, silolar v.b. yapılar iken, doğal engeller, rüzgar kırıcılar, ağaç ve bitki kümeleri olarak sayılabilir.

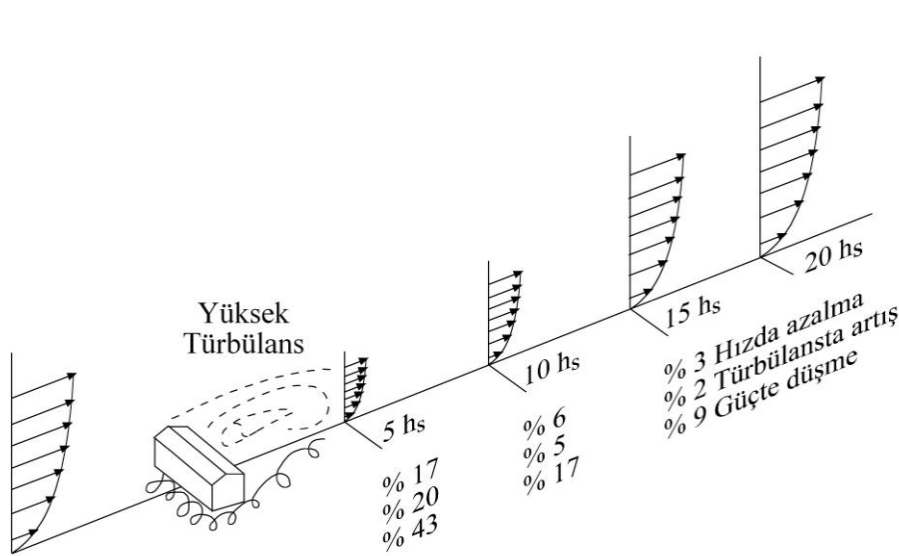
Doğal engeller insan yapımı blok engellerin aksine havanın içlerinden geçişine müsait yüzeylerdir. Şekil 2.12’de doğal engellere örnek teşkil eden ağaç ve çalılar ve akışa etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Doğal engellerin gösterimi.

Doğal engellere kıyasla boyutlarına göre rüzgar hızına ve elde edilecek enerjiye daha çok etki edebilecek insan yapımı engellerin türbin yerleşimi üzerinde oluşturacakları ters etkilerinden kurtulmak için, türbin konumlandırmasının rüzgar üstü bölgesinde, bina yüksekliğinin iki katından daha fazla mesafede; rüzgar altı bölgesinde minimum bina yüksekliğinin 10 (tavsiye olarak 20) katı mesafede; eğer türbin zorunlu olarak binanın rüzgar altı bölgesinde konumlandırılırsa bina yüksekliğinin en az iki katı yükseklikte konumlandırılması gerektiği yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir [27].

Bina arkasında oluşacak etki alanının aynı zamanda bina şekline ve rüzgara göre konumuna da bağlı olduğu düşünülürse belirlenen bu uzaklıklar için her zaman bir genelleme yapılamayacağını söylemek mümkündür. Şekil 2.13'te eğimli-çatıya sahip bir binanın etki alanı içerisinde güç ve türbülans değişimi gösterilmektedir. Bütün bu tahminler, aynı bina yüksekliği göz önünde tutularak yapılmıştır. Binanın rüzgar altı kısmında, güç kayıpları $15h_s$ 'lik mesafede oldukça azdır [31].

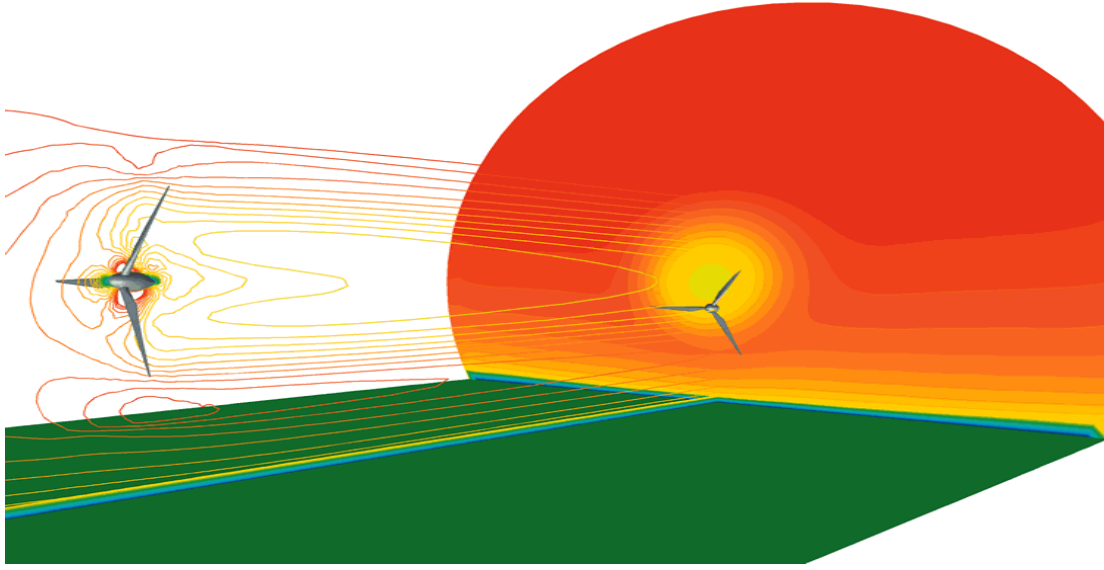


Şekil 2.13 : Bir yapı üzerindeki akış için şiddet ve güç azalmasının ve türbülans artışının tahmini.

2.5.5 Wake (iz) etkisi

Bir rüzgar türbini kanatlarından hava akımını geçirirken rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi dönüştüreceğinden, enerjinin korunumu ilkesi gereğince türbinden çıkan enerjinin daha düşük olması gerekir [32]. Rüzgar türbinleri akış yönünde enerjiyi dönüştürdükten sonra arkalarında bir iz bırakırlar ve bu iz rüzgar hızını

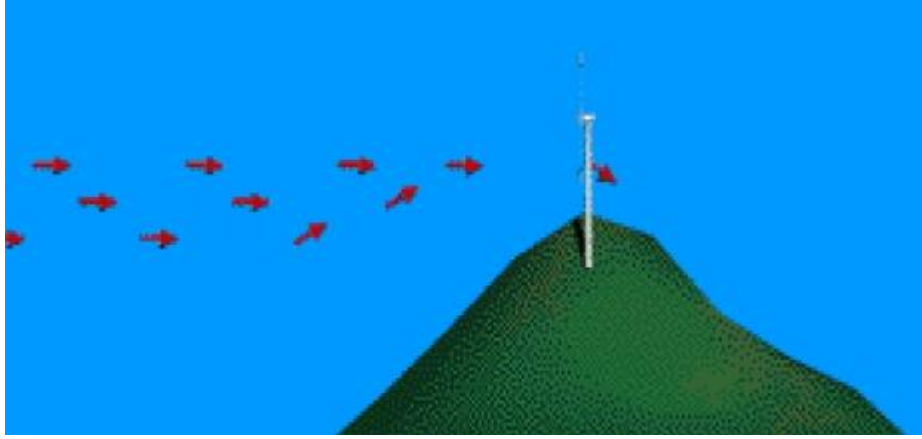
düşürür. Wake (iz) etkisi rüzgar çiftliği alanlarında, türbinlerin arkalarına daha yavaş bir rüzgar hızı aktarmaları nedeniyle enerji üretimine yapacakları etki olarak tanımlanmaktadır [33]. Türbinlerin birbirine yapacakları bu etkiyi minimize etmek amacıyla rüzgar çiftliği yerleşiminde türbinler arasında uygun mesafeler bırakılır. Genel olarak bir türbinin arkasındaki türbine etkisini azaltmak amacıyla, ikinci türbinin kanat çapının 6-10 katı kadar mesafe aralıklarıyla yerleştirilmesi gerektiği söylenebilir. Şekil 2.14’de bir rüzgar türbinin arkasında hız eğrilerinin değişimi ve oluşan wake (iz) etkisi gösterilmiştir [34].



Şekil 2.14 : Wake (iz) etkisi ve türbin arkasında oluşan hız eğrileri

2.5.6 Tepe etkisi

Rüzgar türbinlerinin zaman zaman tepe üstlerine veya tepelerin açık alana bakan yamaçlarına yerleştirildiği görülür. Özellikle hakim rüzgar yönünde türbin önünde herhangi bir engelin olması istenen bir durum değildir. Tepelik bölgeler etrafında geniş bir alana yayılmış olan yüksek basınç alanları hava akımının tepeye ulaşmadan yükselerek sıkışmaya başlamasına neden olur. Hava akımı tepenin sırtına eriştiğinde ise tepenin diğer yamacında oluşan düşük basınç alanına doğru genişleyerek hareketini devam ettirir. Tepe etkisi olarak tanımlanan bu olay kimi zaman rüzgar hızını arttırıcı etki gösterirken, basamaklı veya düzgün olmayan tepelik bölgelerde ise daha çok türbülans oluşacağından önemli bir dezavantajı beraberinde getirir. Şekil 2.15 tepe etkisinin oluşabileceği bir arazi örneğini göstermektedir [7].

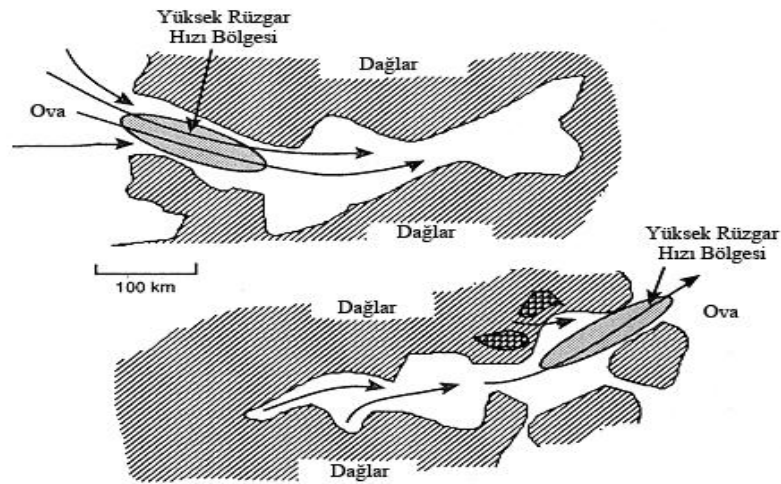


Şekil 2.15 : Tepe etkisi.

2.5.7 Tünel etkisi

Yüksek binalar arasından veya dağ geçitlerinden geçerken hava akımlarında bir takım etkilerin olduğu fark edilir. Hava akımlarının binaların veya dağların aralarından geçerken sıkışmalarından kaynaklanan bu etkiye tünel etkisi adı verilir. Rüzgar hızını da arttıran bu etki, arazi içerisinde uygun ve düzgün alanlarda rüzgar türbinlerinin konumlandırılması sırasında dikkate alınırsa enerji üretimi açısından fayda sağlar. Düzenli olmayan tünel etkisi yaratan alanlar ise daha çok türbülans yaratacağından dezavantaj yaratır ve türbinde yorulma, yırtılma, çatlama gibi fiziksel hasarlar oluşturur ve türbin ömrünü azaltır [7].

Şekil 2.16'da ovalardan dağlık bir bölgeye dar bir boğazdan giren ve dar boğazlardan ovalara çıkan rüzgarların tünel etkisi sonrası hızlanması gösterilmiştir [25].



Şekil 2.16 : Tünel etkisi.

3. RÜZGAR TÜRBİNLERİ

3.1 Giriş ve Tarihçe

Doğu medeniyetlerinde daha düşük seviyelerdeki suyun çıkarılması ve tahıl öğütme amacıyla kullanılan rüzgar türbinleri, Haçlı Seferleri sırasında Avrupa'ya geçmiş ve Hollanda, Almanya, Danimarka gibi ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır.

Danimarkalı bir meteorolojist olan aynı zamanda aerodinamik alanında da çalışmalarda bulunan Poul la Cour, 1897 yılında ürettiği 89 W gücündeki ilk türbin ile rüzgar enerjisini elektrik üretim amacıyla kullanmıştır. Şekil 3.1'de Poul la Cour'un elektrik üretmek amacıyla tasarladığı türbin gösterilmiştir [23].



Şekil 3.1 : Poul la Cour'un test türbinleri.

Poul la Cour'un fikirlerinden yola çıkan araştırmacılar bu tarihten sonra bir çok türbin geliştirmiş ve türbin teknolojisinin gelişimine katkı sağlamışlardır. Özellikle

1940-1950 yılları arasında 2 ve 3 kanadı bulunan türbinler üreten Danimarkalı F.L. Smidth adlı mühendislik firması ve Poul la Cour'un ilk öğrencilerinden olan ilk alternatif akımla çalışan rüzgar türbinini üreten Johannes Juul bu katkılarda en büyük paylara sahip olmuşlardır.

Bu gelişmeleri takiben 1956 yılında Danimarka'nın güneyinde işletmeye alınan 200 kW kurulu gücündeki, elektromekanik dönüş sistemi, asenkron jeneratör ve aerodinamik fren sistemine sahip Gedser rüzgar türbini, modern rüzgar türbinlerinin temellerini oluşturmuştur. Şekil 3.2'de Gedser rüzgar türbini gösterilmiştir [23].



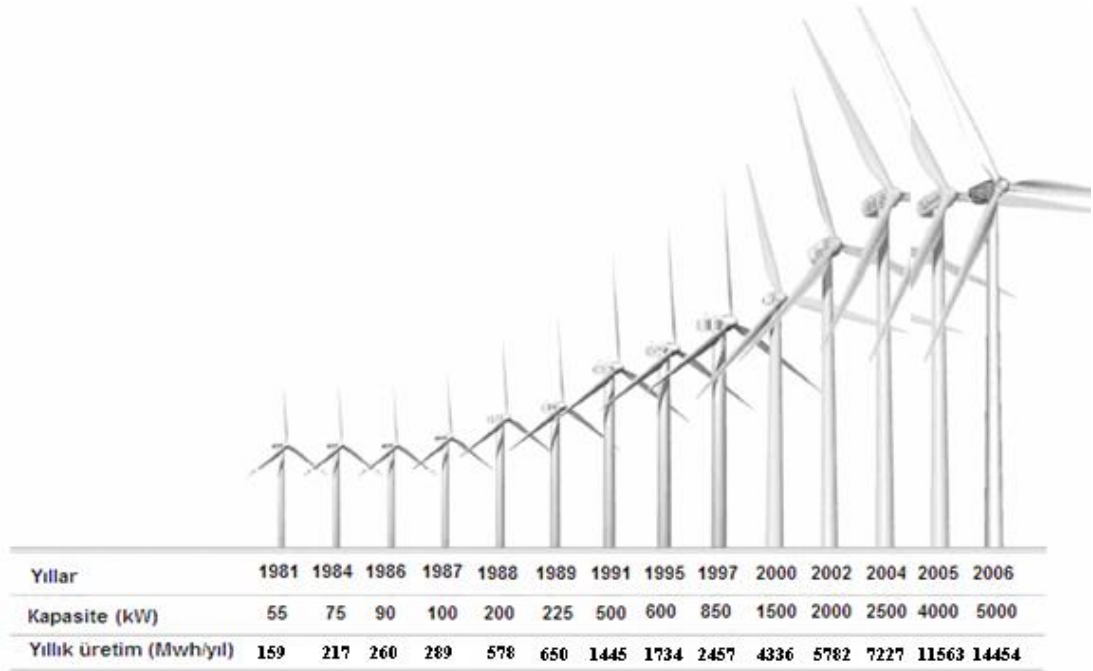
Şekil 3.2 : Gedser rüzgar türbini.

Danimarkalı Poul la Cour, Alman Albert Betz ve Ulrich Hütter ile Amerikalı Palmer Cosslet Putnam'ın yaptığı çalışmalarla 1960'lı yılların ortalarına kadar etkin bir biçimde kullanılan rüzgar türbinleri, fosil yakıt fiyatlarının düşmesiyle yerini buhar makinalarına bırakmıştır. 1970'lere kadar devam eden bu durum ortaya çıkan petrol

krizi ve 1980'li yıllardan itibaren artan çevre bilinci ile birlikte yeni enerji kaynaklarının aranmasına sebep olmuştur. 1995 yılına kadar devam eden gelişim süreci daha sonra çarpıcı bir değişim göstermiştir.

1995 yılına kadar kW'lar mertebesinde türbinlerin bulunduğu rüzgar enerjisi sektörü, 1995 yılından sonra MW'lar mertebesinde türbinlere geçiş yapmıştır. Artan kurulu güçlerle birlikte rüzgar türbinlerinin kanat çapları ve yükseklikleri de artmıştır. 1960'lı yıllarda 20 m civarında olan türbin yükseklikleri günümüzde 100 m ve üzerine çıkmıştır.

Şekil 3.3'te rüzgar türbinlerinin 1981-2006 seneleri arasındaki kurulu güç ve yıllık enerji üretimleri arasındaki gelişim gösterilmektedir. 1980'li yıllarda 55 kW kurulu güçle yılda 159 MW üretim kapasite sahip türbinler, 2006 yılı itibariyle 5 MW kurulu güç ve 14.454 MW üretim kapasitesine ulaşmışlardır [23].



Şekil 3.3 : Yıllara göre kurulu güç ve üretimin gelişimi.

3.2 . Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri genel olarak rotor eksenlerine göre, yatay ve dikey eksenli olmak üzere iki sınıfta incelenir. Rotor yapısına göre sınıflandırılan rüzgar türbinleri hızlarına, güçlerine, kanat sayılarına, şebekeye bağlantı durumlarına ve rüzgarı alış yönlerine göre alt sınıflara ayrılabilir.

3.2.1 Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Rotoru yere göre yatay eksende çalışan türbinler yatay eksenli türbinler olarak isimlendirilir. Yatay eksenli türbinlerinin rüzgardan maksimum yararlanabilmeleri için rotorlarının sürekli olarak rüzgar akış yönünde olmalıdır. Bu, modern türbinlerde yaw sistemi denen rüzgara yönelim kontrolüyle rotorun kule üzerinde dönmesi ile sağlanır. Bazı basit türbinlerde ise rüzgara yönelim için rotorun arkasına bir kılavuz kanat takılır.

Yatay eksenli türbinler teknolojik ve ticari olarak en yaygın kullanılan türbinlerdir ve 1, 2, 3 veya çok kanatlı olabilirler [35]. Günümüzde kullanılan modern türbinler 3 kanatlıdır ve bu türbinler Danimarka konsepti olarak bilinir [23].

Şekil 3.4'te günümüzde kullanılan 3 kanatlı yatay eksenli modern rüzgar türbinlerinden bir örnek gösterilmiştir [19].



Şekil 3.4 : Üç kanatlı yatay eksenli modern rüzgar türbini.

3.2.2 Dikey eksenli rüzgar türbinleri

Dikey eksenli rüzgar türbinlerinde dönme eksenini rüzgâr yönüne dik ve kanatları düşeydir. Bunların başlıcaları Darrieus ve Savonius tipi rüzgar türbinlerdir [2]. Şekil 3.5'te dikey eksenli rüzgar türbinlerinin en başarılısı olarak gösterilen ve Fransız mühendis Georges Darrieus tarafından 1931 yılında tasarlanan rüzgar türbini gösterilmiştir [19].

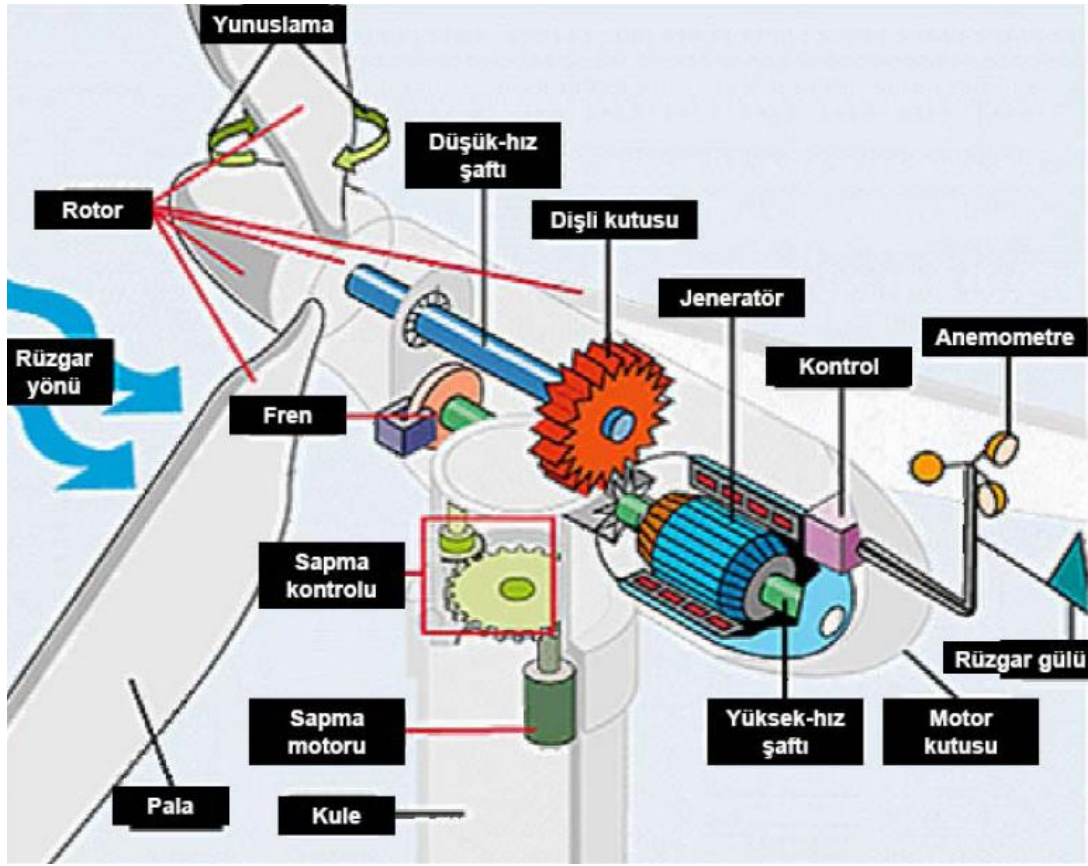


Şekil 3.5 : Darrieus tipi rüzgar türbini.

Dikey eksen türbinlerin yatay eksenli türbinlere göre bazı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Rüzgâr yönünden etkilenmemeleri dolayısıyla yönlendiriciye ihtiyaç duymamaları, elektromekanik aksamalarının yerde olması sebebiyle yatırım ve bakım masraflarının daha az olması bu türbinlerin avantajları arasında gösterilirken; kanat tasarımları nedeniyle verimlerinin yatay eksenli türbinlere göre daha düşük olması, kanatların yere yakınlığı sebebiyle düşük rüzgâr hız bölgelerinde çalışmaları ve dolayısıyla daha az enerji üretmeleri dezavantajları arasında sayılabilir [36].

3.3 Rüzgar Türbinlerinin Parçaları

Modern bir rüzgar türbininin temel parçaları, kanatlar (palalar), rotor, düşük ve yüksek hızlı miller, dişli kutusu, jeneratör, anemometre, kontrol birimi, düzenleyiciler, hatve mekanizması, rüzgar gülü, sapma mekanizması ve sapma motoru, disk freni kaporta ve kule olarak sayılabilir. Şekil 3.6'da modern bir rüzgar türbininin temel parçaları gösterilmektedir [36].



Şekil 3.6 : Modern bir rüzgar türbininin başlıca parçaları.

3.3.1 Kanatlar (Palalar)

Aerodinamik olarak şekillendirilmiş kanatlar, yüzeyleri üzerinde akan hava akımının oluşturduğu aerodinamik yüzey kuvvetinin dönme merkezine göre oluşturduğu momentle, türbinin dönmesini sağlayan parçalardır [36].

Kanatlarda malzeme olarak paslanmaya dayanıklı galvanizli sac, özel karbon ile karıştırılmış kompozit malzemeler veya ahşap veya kullanılır. Kanatlar plastikte güçlendirilmiş camdan (GRP, Glass Reinforced Plastic), tahtadan, tahta laminentten, plastikte güçlendirilmiş karbon fiberden (CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic), çelikten veya alüminyumdan yapılmaktadır. Dünyada yapılan kanatların çoğunda plastikte güçlendirilmiş cam kullanılmaktadır.

Yüksek kaldırma ve sürüklenme kuvveti, çok yüksek rüzgârlarda ani duruş veya yavaşlama karakteristiği, pürüzsüzlük, düşük gürültü karakteristiği bir kanat için kalite kriterleri olarak kabul edilebilir [2].

3.3.2 Rotor

Bir rüzgar türbininde rotor, kanatlar ve bunların bağlı oldukları çekirdekten oluşan yapı olarak tanımlanır [36]. Rüzgar türbinlerinin en önemli parçaları arasında gösterilen rotor, rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirip jeneratörün şaftına aktarır. Rüzgar, türbinleri daha çok uçak pervaneleri gibi çevirir. Arkaya doğru atmaya çalışmaz. Hava kanatın üstünden daha hızlı akar. Bunun sonucunda da basınç farkından dolayı hareket oluşur ve kanatlar kendilerine bağlı olan jeneratörü çevirirler. İki çeşit rotor vardır. Birincisi, kaldırma kuvvetinin uygulandığı ve ikincisi de sürüklenme kuvvetinin uygulandığı rotorlardır. Düşük hızlı sistemler, rüzgar hızından yavaş hızla dönen, dönme momentinin fazla olduğu, sürüklenme kuvveti ile rotoru çeviren sistemlerdir. Yüksek hızlarda çalışan sistemlerde ise hız, rüzgâr hızının bir kaç katına çıkmasına rağmen dönme momenti düşüktür [2,37].

3.3.3 Düşük ve yüksek hızlı miller

Rüzgar türbinlerinde, rotora bağlı olan ve 30-60 devir/dakika hız ile dönen mil düşük hızlı mil, jeneratöre bağlı olan ve 1200 - 1500 devir/dakika hız ile dönen mil ise yüksek hızlı mil olarak tanımlanır [36].

3.3.4 Dişli kutusu

Düşük hızlı mil ile yüksek hızlı mil arasındaki bağlantıyı sağlayan dişli kutusu, rüzgar türbinlerinin ağır ve pahalı bir parçasıdır [36].

3.3.5 Jeneratör

Rüzgar türbinlerinde genellikle, alternatif akım üretiminde kullanılan bir indüksiyon jeneratörü kullanılır [36].

3.3.6 Anemometre

Anemometreler, türbinlerde rüzgar hızını ölçerek kontrol birimine ileten parçalardır [36].

3.3.7 Kontrol birimi

Rüzgar türbinlerinde kontrol birimleri, rüzgar hızı yeteri kadar yüksek olduğunda türbinin harekete geçmesi, aşırı yüksek hızlarda türbinin frenlenmesi, türbinin

rüzgara yönelmesi ile ilgili kontrolleri yapan ve gerekli komutları verme görevini üstlenen cihazlardır [36].

3.3.8 Regülatörler (düzenleyiciler)

Regülatörler rüzgar türbinlerinin bazılarında dönme hızını sabit tutmak veya aşırı rüzgar hızlarında aksenal kuvveti azaltmak için kullanılan parçalardır [36].

3.3.9 Hatve mekanizması

Hatve mekanizması, kanatlarının açılma konumları değişebilen türbinlerde, kanat açılarının aerodinamik verimin maksimum olacağı veya hızın sabit tutulacağı şekilde ayarlanması, ayrıca düşük rüzgar hızlarında türbinin harekete geçmesi sırasında yüksek başlangıç momenti elde etmek için kullanılır [36].

3.3.10 Rüzgar gülü

Rüzgar gülü rüzgarın yönünü ve sapma açısını ölçerek kontrol birimine ileten düz levha şeklinde bir araçtır [36].

3.3.11 Sapma mekanizması ve sapma motoru

Sapma mekanizması ve sapma motoru, rüzgardan daha fazla enerji alınabilmesi için rüzgar gülünden gelen yön bilgisi doğrultusunda türbin eksenini rüzgar yönüne paralel hale getirir.

Sapma mekanizması ve sapma motoruna eş olarak bazı yavaş ve küçük türbinlerde basit bir kuyruk levhası kullanılır [36].

3.3.12 Disk fren

Bazı rüzgar türbinlerinde kanat açısının değiştirilmesiyle elde çeşitli aerodinamik frenleme sistemlerine ek olarak, acil durumlarda türbinin durdurulması amacı ile bir de disk fren bulunabilir [36].

3.3.13 Kaporta (Nacelle)

Kaporta düşük hızlı mil, yüksek hızlı mil, dişli kutusu, jeneratör, sapma motoru ve ünitesi, disk fren, kontrol cihazları vs. için koruma görevi yapan aerodinamik olarak havanın akışını kolaylaştıran kapalı yapı olarak tanımlanabilir [36].

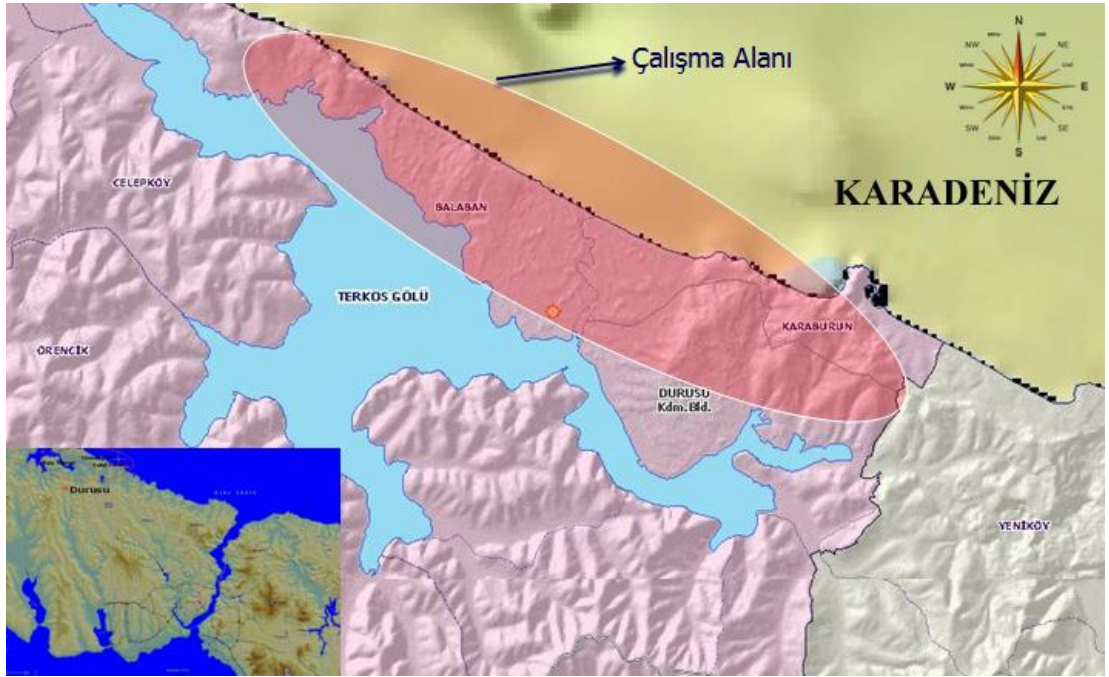
3.3.14 Kule

Tez çalışmasının daha önceki bölümlerinde de değinildiği gibi rüzgar hızı yer yüzeyinden yüksekere çıktıkça logaritmik bir artış gösterir. Rüzgar türbinleri, yer yüzeyinde oluşan pürüzlülük ve sınır tabaka etkisinden kurtarmak amacıyla mümkün olduğunca yukarı yerleştirilirler. Çelik boru, çelik kafes gibi malzemelerden üretilen kuleler, türbini, kaporta ve içindikileri yer yüzeyinden belli bir mesafe yukarıda tutma görevini üstlenmişlerdir [36,37].

4. RÜZGAR VERİLERİNİN ANALİZİ, ENERJİ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ ve MİKROKONUŞLANDIRMA

4.1 Çalışmanın Yeri ve Bölgenin Genel Özellikleri

Tez çalışmasına konu olan bölge, İstanbul İli Karadeniz kıyısında, şehir merkezinin yaklaşık 35 km. kuzeybatısında, Çatalca İlçesi Terkos (Durusu) Mevkii, Balabanburun ve Karaburun köyleri civarındadır. Bu alan İSKİ (İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi) tarafından yönetilen ve İstanbul'un su ihtiyacının ciddi bir kısmını karşılayan Terkos su havzasının kuzeyidir. Şekil 4.1'de bölgenin örnek bir haritası gösterilmiştir.

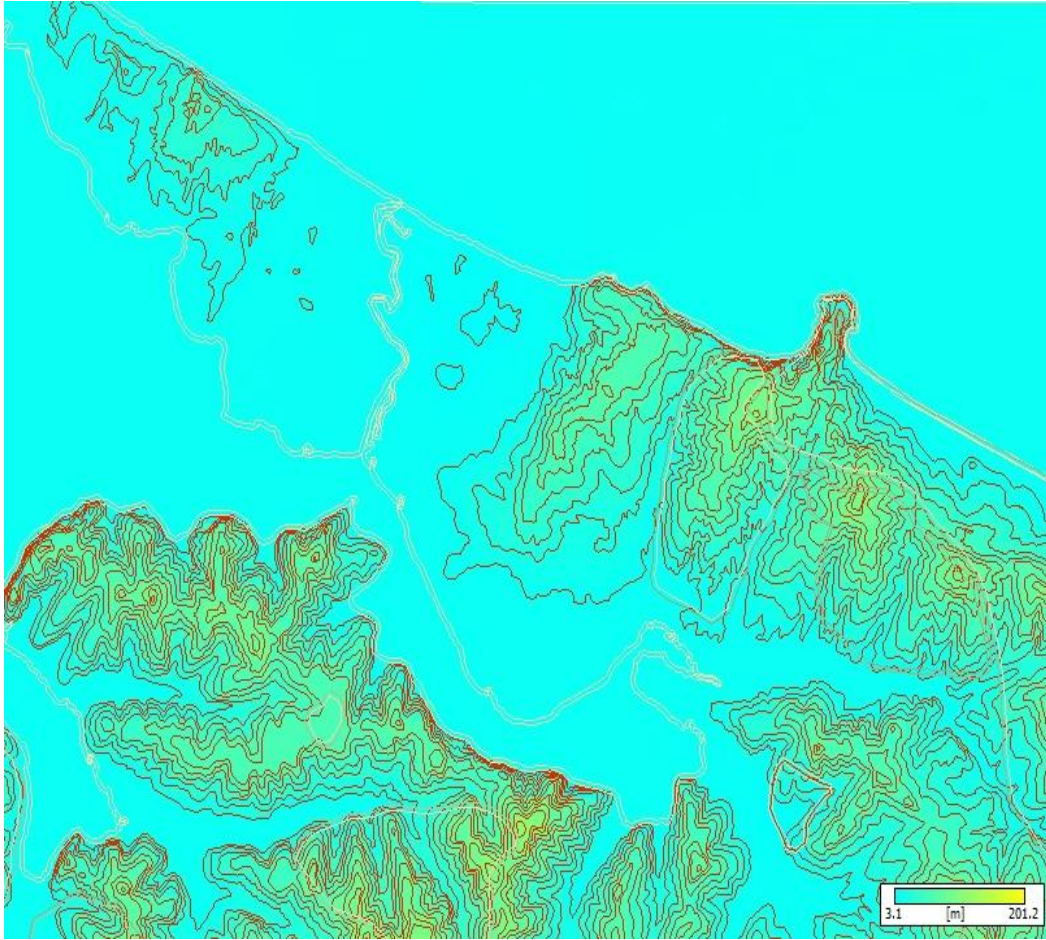


Şekil 4.1 : Teze konu olan proje alanı.

Bölgede İSKİ'ye ait pompaların harcadığı ciddi bir enerji tüketiminin olması ve çalışmanın ileride gerçekleştirilebilecek deniz suyunun arıtılması gibi çalışmaların da yapılabileceği bir alanı içine alması çalışmanın önemini bir kat daha arttırmaktadır [38].

Arazinin genel özellikleri incelendiğinde, yükseltinin sahil şeridinden itibaren ilk iki kilometrede yavaşça 50 m'lere kadar yükseldiği görülmektedir. Terkos Gölü'nün güneyinde iç kesimlerdeki ormanlık alanlarda yükseklik 90-110 m'lere ulaşır.

Çalışılan bölge genelde su havzasının kuzeyindeki kıyı şeridinde kalmasına rağmen yükseklik 6-95 m. aralığında gözlemlenmiştir. Bölgedeki arazi yapısı pürüzlülük açısından genelde çok karmaşık değildir. Bu arazi yapısı proje sahasında, yüzey pürüzlülüğünün orman alanlarına kıyasla oldukça düşük olması sonucunu doğurmuştur. Şekil 4.2'de proje alanının yükseklik haritası gösterilmiştir [39].



Şekil 4.2 : Proje alanı yükseklik haritası.

4.2 WAsP Paket Programı

Çalışmanın giriş bölümünde de belirtildiği gibi, rüzgar verilerinin analizi ve enerji üretim potansiyelinin belirlenmesi sırasında WAsP paket program kullanılmıştır.

WAsP, rüzgar hız verilerinin 2 parametrelili Weibull dağılımına uyduğu varsayımıyla analiz yapan, Danimarka Riso Ulusal Meteoroloji Laboratuvarı'nda geliştirilmiş bir

bilgisayar programıdır [21]. Programda, farklı pürüzlülük şartlarının etkileri, yakın bina ve diğer engellerin etkileri, tepeler ve karmaşık araziler tarafından bozulan rüzgar değişimleri göz önüne alınarak, rüzgar türbinlerinin hassas konum belirleme çalışmaları sırasında meteorolojik datalarda oluşabilecek hatalar minimize edilmeye çalışılır [40].

4.2.1 WAsP programının kullandığı temel bilgiler

WAsP program dört değişik Temel bilgiyi alt modellerinde değerlendirerek bazı analizler gerçekleştirir. Saatlik rüzgar verileri, bölgeye ait pürüzlülük bilgileri, yakın çevredeki engel bilgileri ve bölgenin topoğrafya bilgileri programın kullandığı temel bilgilerdir. Rüzgar çiftliği yerleşimleri için, programa güç eğrisi, itki katsayısı eğrisi, türbin göbek yüksekliği ve türbin rotor çapı gibi bilgilerin de girilmesi gerekmektedir [18].

4.2.2 WAsP programının genel amaçları

Programın genel amaçlarını; ham datanın analizi, rüzgar atlasının oluşturulması, rüzgar iklim değerlendirilmesi ve rüzgar güç potansiyelinin değerlendirilmesi olmak üzere 4 başlık altında toplamak mümkündür [40].

4.2.2.1 Ham datanın analizi

WAsP, rüzgar yön ve hız değerlerini içeren ham meteorolojik verileri düzenleyerek zaman serisi analizini yapar. Yapılan analizlerle Weibull parametreleri de hesaplanır [18].

4.2.2.2 Rüzgar atlasının oluşturulması

Rüzgar hız histogramlarını rüzgar atlas dizisine dönüştürebilir. Histogramlar veri analizi yoluyla çıkarılabileceği gibi doğrudan standart klimatolojik tablolardan da yapılabilir [18].

4.2.2.3 Rüzgar iklim değerlendirilmesi

WAsP programı tarafından oluşturulan rüzgar atlası veya veri dizisi ya da güvenilen başka bir kaynaktan edinilen veri dizileri kullanılarak, herhangi bir bölgede rüzgar iklimi değerlendirmesi yapılabilmektedir. Rüzgar iklimi, Weibull parametrelerinde ve rüzgarın bölgesel dağılımında değerlendirilmektedir [18].

4.2.2.4 Rüzgar güç potansiyelinin değerlendirilmesi

WAsP programı, rüzgardan elde edilecek toplam enerjiyi de hesaplamaktadır. Program ayrıca bir rüzgar türbininden elde edilecek yıllık ortalama enerjiyi ve söz konusu türbinin güç eğrisini de sağlayabilmektedir.

4.2.3 WAsP programının kullandığı alt modeller

WAsP program rüzgar potansiyelini belirlerken bazı alt modeller kullanmaktadır. Bu alt modeller engel perdeleme, orografik ve pürüzlülük değişim modelleridir.

4.2.3.1 Engel perdeleme modeli

Tez çalışmasının daha önceki bölümlerinde de değinildiği gibi bir bölgede bulunan engeller, rüzgar akışı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Özellikle bina, ağaç, kayalık gibi engeller rüzgar yön ve şiddetine küçümsenmeyecek derecede etki ederler.

Rüzgar ölçümü yapan bir anemometre yakınında bulunan engeller, rüzgar hızında azalmaya, yönünde de değişime sebep olurlar. Bu etkiye perdeleme etkisi adı verilmektedir. Bir engelin oluşturacağı perdeleme etkisi engel ile ölçüm alınan nokta arasındaki mesafeye, engelin yüksekliğine, engelin uzunluğuna, hesaplama yüksekliğine ve engelin geçirgenliğine bağlıdır. Geçirgenlikteki artış ve engel uzunluğunun azalması perdeleme etkisini zayıflatmaktadır.

Çizelge 4.1'de engel türüne göre geçirgenlik değerleri gösterilmektedir. Yaygın bir kabul olarak binalar için geçirgenlik değeri 0, ağaçlar için 0.5 olarak alınır [21].

Çizelge 4.1 : Engel türlerine göre geçirgenlik değerleri.

Engel Türleri	Geçirgenlik (p)
Katı cisim (duvar, ev)	0
Çok yoğun	≤ 0.35
Yoğun	0.35-0.50
Açık	≥ 0.50

4.2.3.2 Orografik model

WAsP'ın kullandığı bu modelin başlıca amacı, yüzey şekillerinin rüzgar profiline yaptığı etkiyi belirlemektir. Orografik model yatay düzlemde oldukça geniş bir alanda hesaplamaya olanak sağlamaktadır.

4.2.3.3 Pürüzlülük değişim modeli

WAsP pürüzlülük değişim modelinde, bir alanın pürüzlülüğünü değerlendirirken alan üzerinde pürüzlülüğe neden olan objelerin konumlarını ve boyutlarını dikkate alır. Pürüzlülük, pürüzlülük uzunluğu ile belirlenen bir büyüklüktür. Pürüzlülük yaratan bir objenin arazi üzerine dağılmış olan yatay kesit alanının, rüzgara karşı gelen dikey kesit alanından büyük olduğu durumlarda daha iyi bir değerlendirme yapılabildiği ve potansiyel hesaplamalarının daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

4.2.4 WAsP programının temel aldığı pürüzlülük sınıflandırması

WAsP programı, 0., 1., 2. ve 3. sınıf olmak üzere 4 farklı pürüzlülük sınıfını temel almaktadır. Hesaplama yapılmak istenen bölgenin uygun olduğu pürüzlülük sınıfına ait değerler alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Çalışma yapılan herhangi bir bölgenin, yapılacak daha kapsamlı çalışmalar ve daha detaylı incelemeler ile WAsP'ın temel aldığı pürüzlülük sınıflarına uymadığı belirlendiğinde arada değerler de alınabilmektedir. Çizelge 4.2'de WAsP'ın temel aldığı pürüzlülük sınıflarına ait pürüzlülük uzunlukları ve örnek arazi yapıları verilmiştir [23].

Çizelge 4.2 : Bölgelere göre pürüzlülük sınıflandırması.

Pürüzlülük sınıfı	Arazi yapısı	Değeri (m)
0. sınıf	Deniz, göl, su kütleleri vb	0.0002
1. sınıf	Açık hafif engebeli araziler	0.03
2. sınıf	Hafif çalılık ve tarım arazisi	0.10
3. sınıf	Orman, yerleşim merkezi	0.40

4.3 Çalışmada Kullanılan Rüzgar Verileri ve Ölçüm İstasyonu

Tez çalışmasında kullanılan rüzgar verileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştirak şirketlerinden biri olan İstanbul Enerji A.Ş. kayıtlarından alınmıştır. 2007 yılı Kasım ayından, 2009 yılı Nisan ayına kadarki süreci içine alan 30 aylık dönemde alınan 28 aylık ölçümler proje sahasının doğu sınırında kalan 52 m. yüksekliğe sahip

anemometreden kaydedilmiştir. 2009 yılı Nisan ve Mayıs aylarında ölçüm direğinde yapılan bakım çalışmaları sebebiyle ölçüm alınamamıştır.

Deniz seviyesinden 28 m yükseklikte bulunan ölçüm istasyonunun yakın çevresinde her hangi bir engel veya pürüzlülük yaratacak bir yapı bulunmamaktadır. Kalibrasyonu akredite kuruluşlar tarafından yapılan anemometrede herhangi bir hata değeri yoktur. Şekil 4.3’de rüzgar ölçüm istasyonunun proje sahası üzerindeki yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Rüzgar ölçüm istasyonunun yeri.

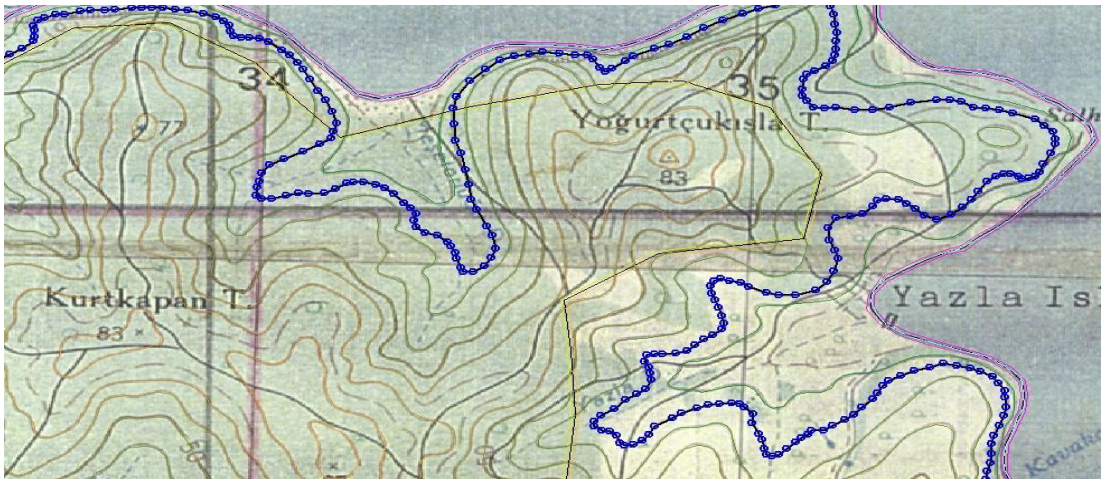
4.4 Haritaların Sayısallaştırılması

WAsP programının rüzgar akışını modellemesi için bölgeye ait yüzey şekillerinin programda tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlama 3 boyutlu ölçüleri bulunan hazır haritaların programa aktarılması yoluyla yapılabildiği gibi genelde, Şekil 4.4.’te çalışma bölgesine ait örneği görülen 1 : 25.000 ölçekli haritaların sayısallaştırılarak, üstlerine pürüzlülük ve engel bilgilerinin işlenmesi ile elde edilir.



Şekil 4.4 : Bölgeye ait 1:25.000 ölçekli harita

Tez çalışmasında, bölgenin 1: 25.000 ölçekli haritaları, 10'ar metre aralıklarla çizilmiş eşyüksekti eğrilerinin Şekil 4.5'te görüldüğü gibi teker teker işlenerek sayısallaştırılması yoluyla WASP programına aktarılmıştır. Haritaların sayısallaştırılmasında WASP programı altında çalışan harita düzenleyicisi kullanılmıştır.



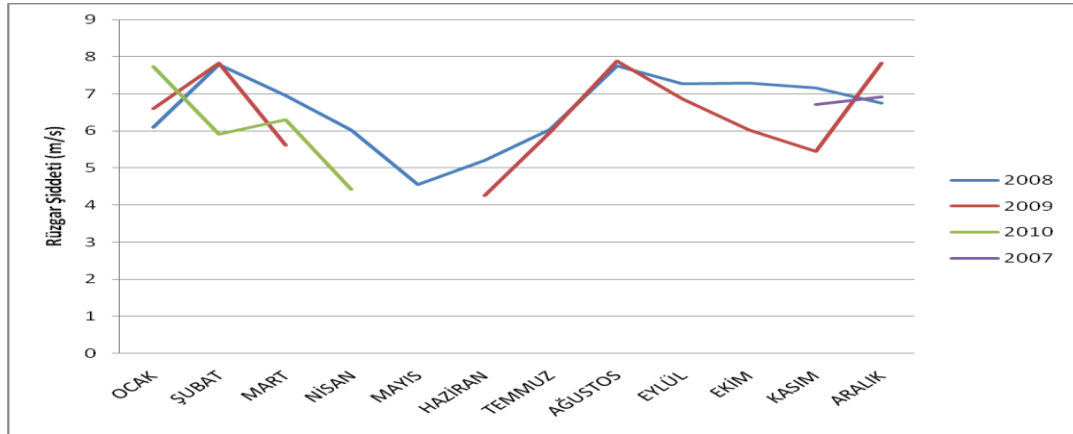
Şekil 4.5 : Eşyüksekti eğrilerinin harita üzerine işlenmesi.

Harita üzerine bütün eş yüksekti eğrilerinin işlenmesiyle eni, boyu ve yüksekliği olan 3 boyutlu bir alan modeli elde edilir. Şekil 4.6'da bölgenin modellenen 3 boyutlu haritasının bir çizim programı yardımıyla alınan ekran görüntüsü yer almaktadır.

4.5 Rüzgar Verilerinin Analizi

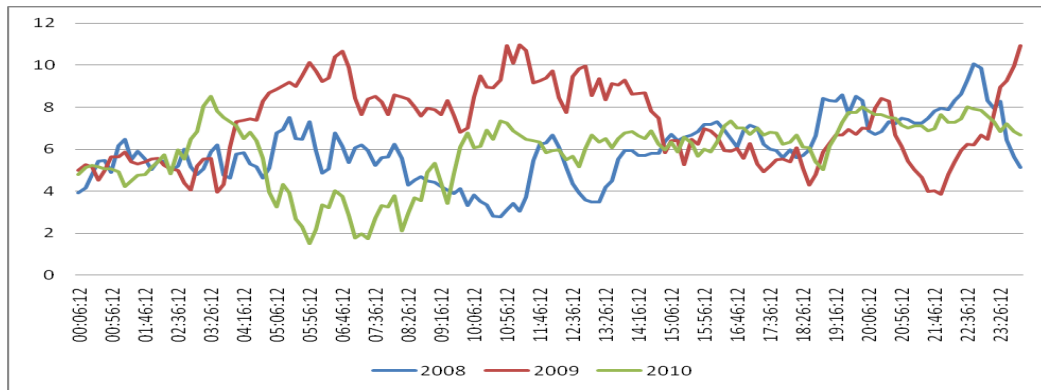
Haritanın sayısallaştırılması ve üzerine pürüzlülük ve engel bilgilerinin işlenmesi sonrasında WASP programı, rüzgar akışını modelleyerek arazinin hangi bölgesinde ne kadar rüzgar şiddetinin görüleceğini rapor haline getirir.

Şekil 4.8’de bölgede 52 m. yükseklikten alınan ölçümlerin aylık ortalamaları gösterilmektedir. Bölgede 52 m.’de yapılan ölçümler sonucunda rüzgar şiddeti ortalaması 6.44 m/s olarak tespit edilmiştir. Sonbahar ve kış aylarında genelde 7 m/s ve civarında ölçülen rüzgar şiddetinin, Mayıs ayında 5 m/s’ lere kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.8 : 52 m. yükseklikte ölçülen aylık ortalama rüzgar şiddetleri.

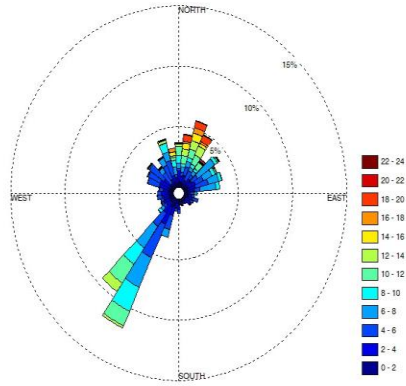
Şekil 4.9’da gösterilen 52 m. yükseklikte alınan 7 Şubat 2008, 2009 ve 2010 yıllarına ait veriler incelendiğinde, günün bazı saatlerinde üç senenin verileri arasında örtüşmelerin olduğu görülmektedir.



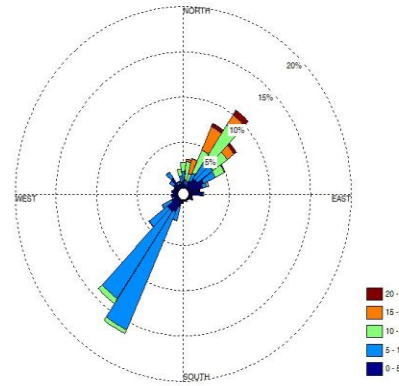
Şekil 4.9 : 7 Şubat 2008-2009-2010 senelerinde günlük rüzgar hızı değişimi.

2008 yılına ait kayıpsız ve tam olarak alınan 12 aylık veri MATLAB programı yardımıyla analiz edilerek bölgenin aylık rüzgar gülleri oluşturulmuştur. Alınan verilerin analiziyle birlikte bölgenin birinci hakim rüzgar yönünün kuzeydoğu olduğu ancak güneybatı yönünden esen rüzgarların da öne çıktığı ve bölgenin bu yönden esen rüzgarlardan da fazlasıyla etkilendiği görülmüştür.

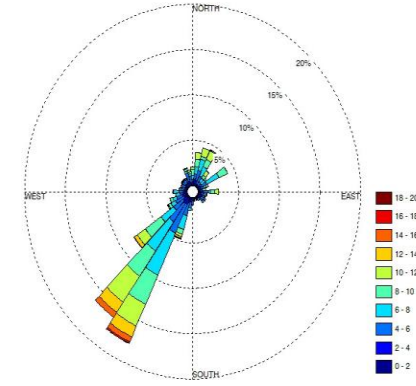
Şekil 4.10 (a)'da gösterilen 2008 Ocak ayı için güneybatı yönünün hakim olduğu ancak kuzeydoğu yönünden esen rüzgarların daha büyük hızlarda olduğu, Şekil 4.10 (b)'de gösterilen 2008 Şubat ayı için aynı şekilde güneybatılı rüzgarların hakim olduğu ancak kuzeyli ve kuzeydoğulu rüzgarların hız olarak daha büyük olduğu, Şekil 4.10 (c)'de gösterilen 2008 Mart ayı için güneybatılı rüzgarların hakim olduğu ve hız olarak da diğer yönlerden daha büyük olduğu, Şekil 4.10 (d)'de gösterilen 2008 Nisan ayı için güneybatılı rüzgarların yine hakim olduğu ancak rüzgar hızlarının kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinde birbirine yakın olduğu, Şekil 4.10 (e)'de gösterilen 2008 Mayıs ayı için rüzgar yönlerinin güneybatı ile kuzey ve doğu yönleri arasında yayıldığı ancak kuzeydoğulu rüzgarların hız olarak diğerlerinden bir miktar büyük olduğu, Şekil 4.10 (f)'de gösterilen 2008 Haziran ayı için rüzgar yönü olarak kuzeydoğu yönünün hakim olduğu ve kuzeydoğulu yönlerde hızlarında diğer yönlerden büyük olduğu, Şekil 4.10 (g)'de gösterilen 2008 ayı Temmuz ayı için rüzgar yönü olarak kuzeydoğu yönünün hakim olduğu ve ancak en yüksek hızda rüzgarların kuzeyden estiği, Şekil 4.10 (h)'de gösterilen 2008 Ağustos ayı için rüzgar yönü olarak kuzeydoğu yönünün hakim olduğu ve kuzeydoğulu yönlerde hızlarında diğer yönlerden büyük olduğu, Şekil 4.10 (i)'de gösterilen 2008 ayı Eylül ayı için rüzgar yönü olarak kuzeydoğu yönünün hakim olduğu en yüksek hızda rüzgarların ise kuzeyden estiği, Şekil 4.10 (j)'de gösterilen 2008 Ekim ayı için güneybatı ve kuzeydoğu yönlerinin yine hakim yönü oluşturduğu, rüzgar hızlarının kuzeydoğu yönünde daha büyük olduğu, Şekil 4.10 (k)'de gösterilen 2008 Kasım ayı için rüzgar yönlerinin güneydoğu ile kuzey ve doğu yönleri arasında yayıldığı ancak güneybatılı rüzgarların hız olarak diğerlerinden bir miktar büyük olduğu, Şekil 4.10 (l)'de gösterilen 2008 Aralık ayı için kuzey ve güneybatı yönlerinin hakim olduğu ancak hızların kuzey yönünde daha büyük olduğu görülmektedir.



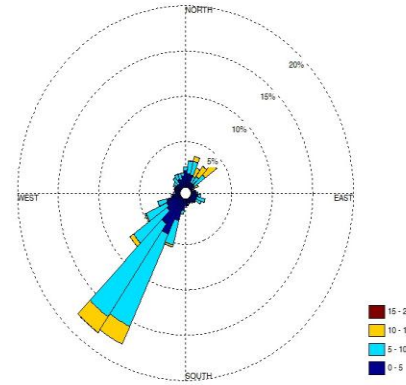
(a) Ocak



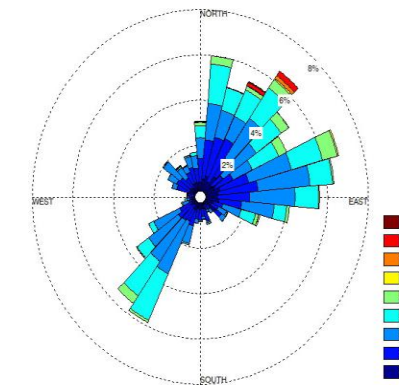
(b) Şubat



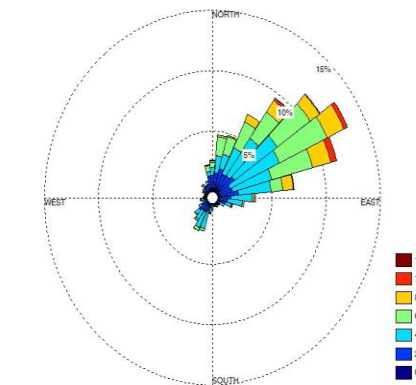
(c) Mart



(d) Nisan

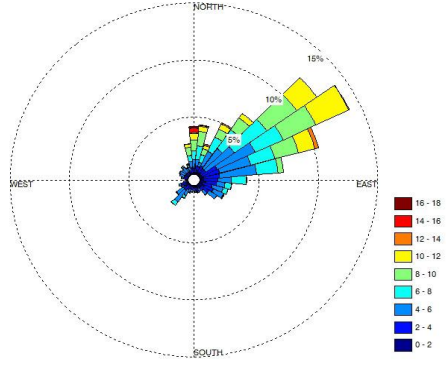


(e) Mayıs

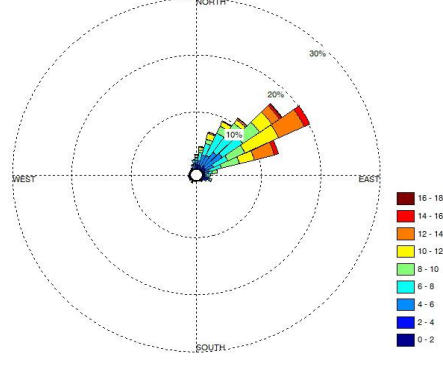


(f) Haziran

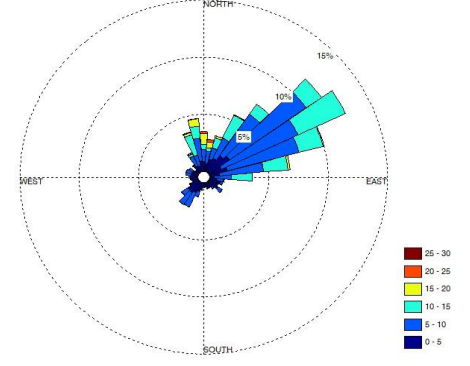
Şekil 4.10 : 2008 senesi aylık rüzgar gülleri (Ocak-Haziran)



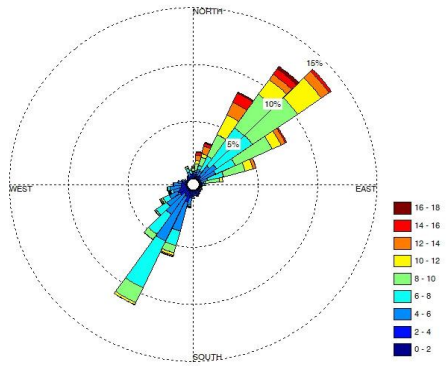
(g) Temmuz



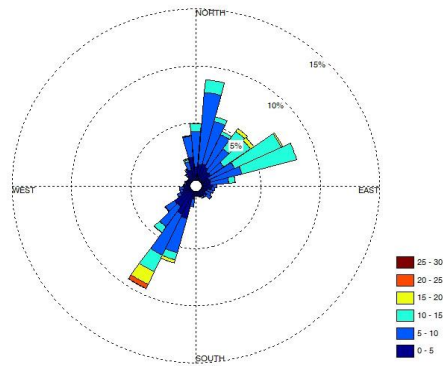
(h) Ağustos



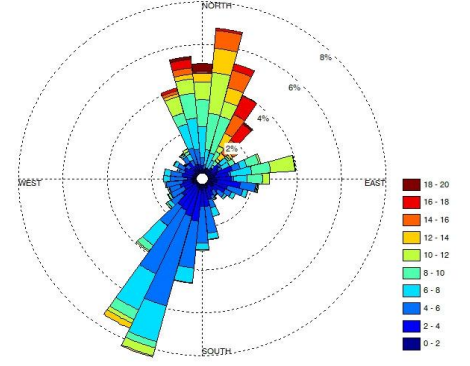
(i) Eylül



(j) Ekim



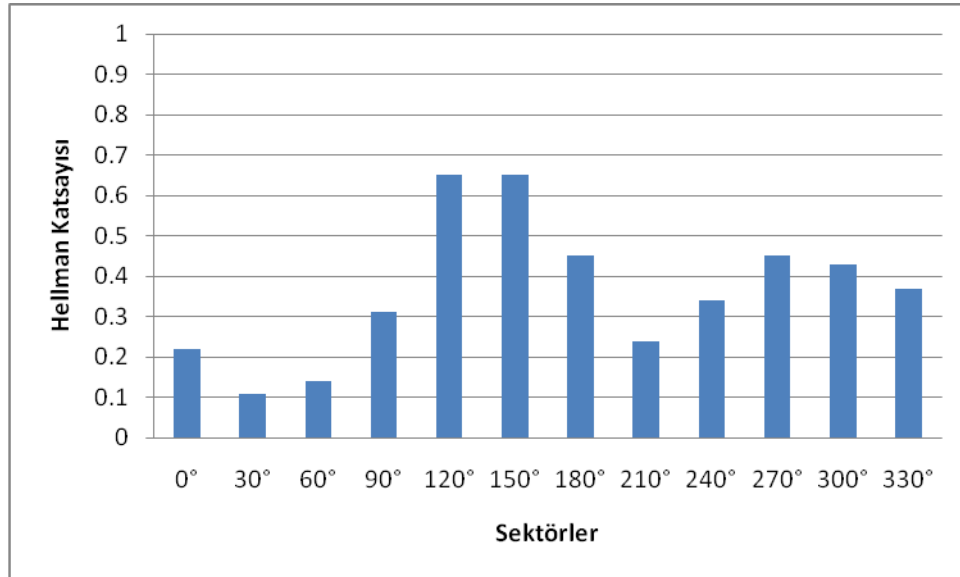
(k) Kasım



(l) Aralık

Şekil 4.10 (Devam) : 2008 senesi aylık rüzgar gülleri (Temmuz-Aralık)

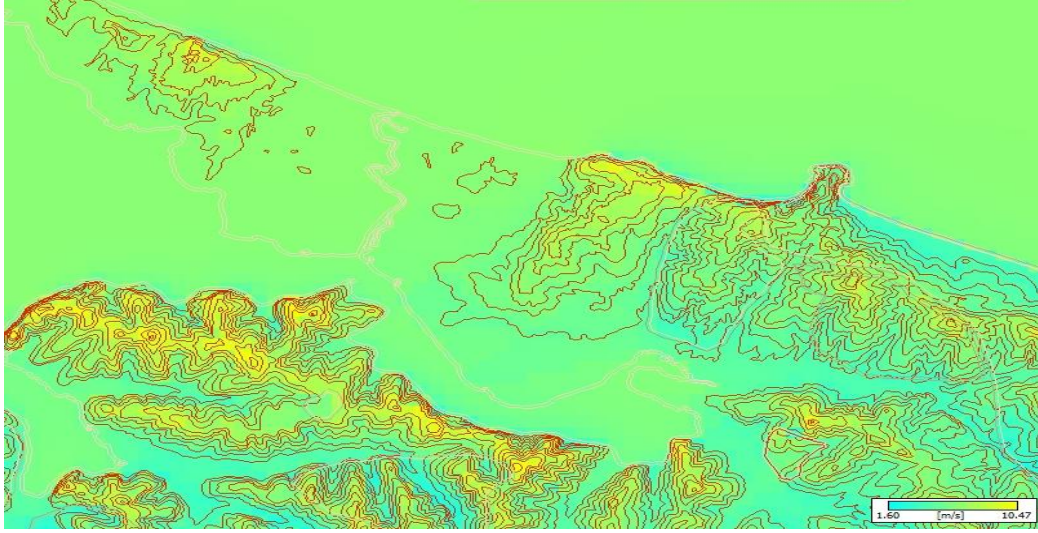
Ölçüm istasyonunda 30 m. ve 52 m. yükseklikte bulunan iki adet anemometreden alınan veriler 2.3 formülü yardımıyla analiz edilerek, türbin göbek yüksekliğinde rüzgar ölçümü alınmadığında, ölçüm alınan yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının göbek yüksekliğine taşınmasında önemli bir kaysayı olan ve ölçüm istasyonu civarındaki yeryüzü pürüzlülüğüne bağlı olarak değişen Hellman katsayısı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda Hellman katsayısı ortalaması 00 sektöründe alınan 19.401 adet verinin analiziyle 0.22, 300 sektöründe alınan 16.623 adet verinin analiziyle 0.11, 600 sektöründe alınan 11.139 adet verinin analiziyle 0.14, 900 sektöründe alınan 4.107 adet verinin analiziyle 0.31, 1200 sektöründe alınan 1.381 adet verinin analiziyle 0.65, 1500 sektöründe alınan 1.190 adet verinin analiziyle 0.65, 1800 sektöründe alınan 9.648 adet verinin analiziyle 0.45, 2100 sektöründe alınan 12.063 adet verinin analiziyle 0.24, 2400 sektöründe alınan 2.256 adet verinin analiziyle 0.34, 2700 sektöründe alınan 1.754 adet verinin analiziyle 0.45, 3000 sektöründe alınan 2.524 adet verinin analiziyle 0.43, 3300 sektöründe alınan 6.484 adet verinin analiziyle 0.37 olarak tespit edilmiştir. Bütün sektörler için toplamda 88.570 adet verinin analiziyle Hellman katsayısı ortalaması 0.29 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.11'de sektörlere göre Hellman katsayısının değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Sektörlere göre Hellman katsayısının değişimi.

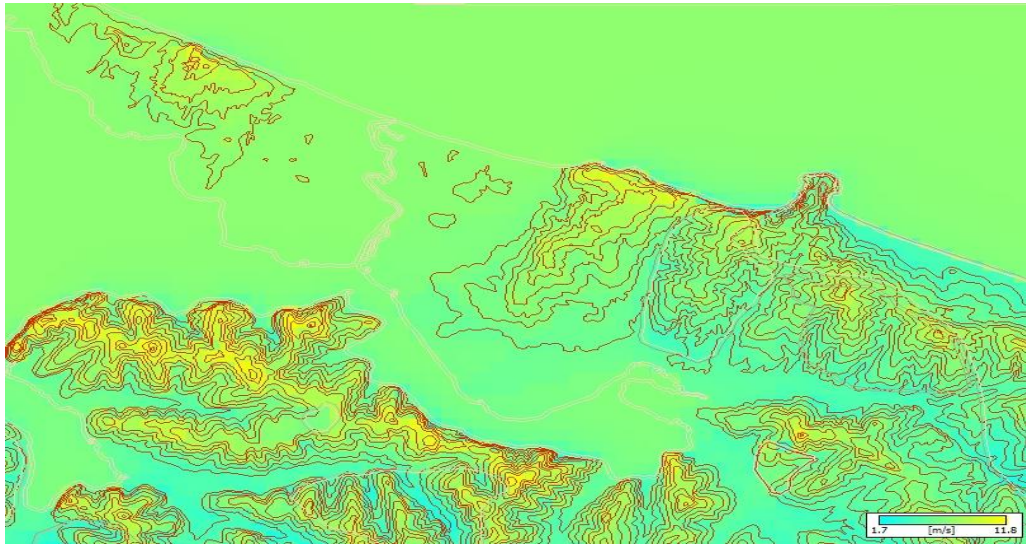
WAsP programına aktarılan veriler programda analiz edildikten sonra Şekil 4.11'deki ortalama rüzgar şiddeti haritası elde edilmiştir. Elde edilen bu rüzgar

şiddeti haritasından yararlanılarak rüzgar şiddetinin yüksek olduğu noktalara rüzgar türbini yerleştirilmiştir. Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi bölgede deniz seviyesinden yükseldikçe rüzgar şiddeti yer yer 10 m/s’nin üzerinde çıkmaktadır. Özellikle çalışma alanının güneyinde yer alan tepelerde rüzgar şiddetinin genelde 10 m/s’nin üzerinde olduğu görülmektedir. Renk skalasında sarı olarak gösterilen bölgelerde rüzgar şiddeti ortalamasının kayda değer olduğu ve bu bölgelere rüzgar türbini kurulabileceği söylenebilir.



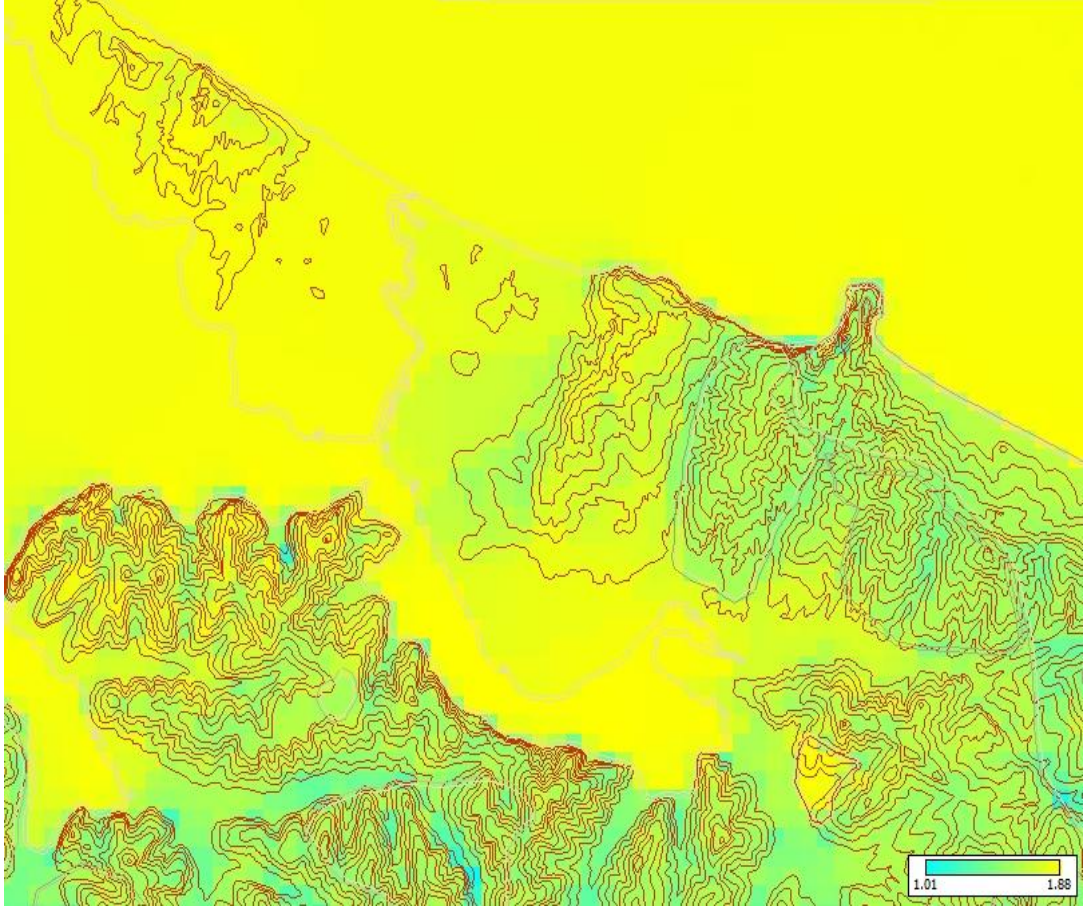
Şekil 4.12 : Bölgede hesaplanan ortalama rüzgar şiddeti haritası.

Rüzgar şiddetlerinin yüksek olduğu bölgelerde, paralel olarak Weibull dağılım fonksiyonunun c ölçek parametresi de yüksektir. Şekil 4.13’de WAsP programından elde edilen Weibull c ölçek parametresi dağılım haritası verilmiştir.



Şekil 4.13 : Weibull c ölçek parametresi dağılım haritası.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde de değinilen ve rüzgar şiddetinin hesaplanmasında etkisi olan ve rüzgarın ortalaması ile doğru fakat standart sapması ile ters orantılı olan Weibull dağılım fonksiyonunun k şekil parametresi dağılım haritası da WAsP programından elde edilmiştir. Şekil 4.14'te Weibull k şekil parametresinin bölgedeki dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.14 : Weibull k şekil parametresi dağılım haritası.

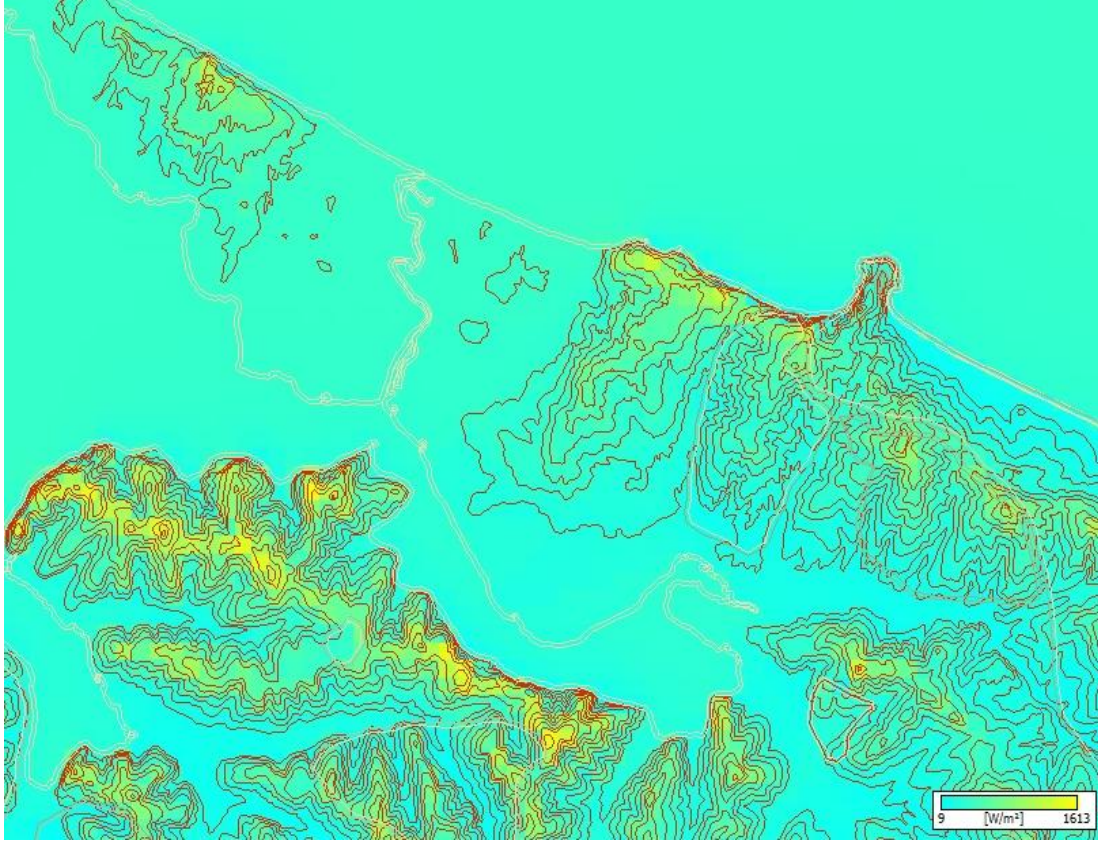
WAsP programında yapılan analizler sonucunda bölgede ortalama güç yoğunluğu 343 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.3'te WAsP programından alınan bölgeye ait ortalama rüzgar şiddeti ve ortalama güç yoğunluğu değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Bölgenin rüzgar şiddeti ve ortalama güç yoğunluğu

	Ölçülen	Hesaplanan	Farklılık
Ortalama Rüzgar Şiddeti [m/s]	6.53	6.44	1.37%
Ortalama Güç Yoğunluğu [W/m^2]	342.26	343	0.21%

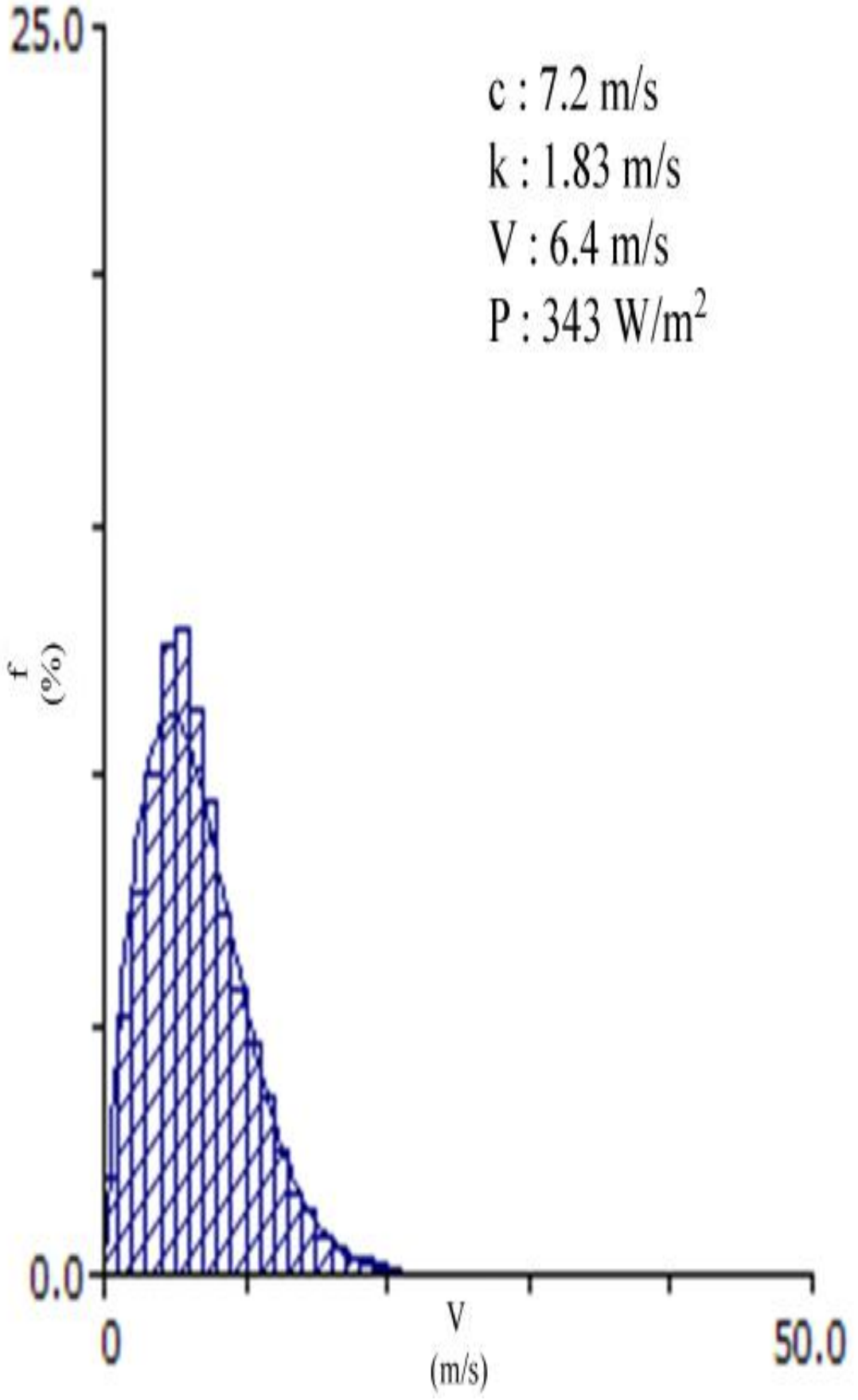
WAsP programının hesapladığı bölgeye ait ortalama güç yoğunluğu 343 W/m^2 olarak görülse de, yine programdan alınan bölgenin güç yoğunluğu haritası, ortalama güç yoğunluğu yüksek olan dolayısıyla rüzgar türbini yerleştirilebilecek noktaların

daha iyi saptanabilmesini sağlamaktadır. Şekil 4.15'te gösterilen bölgeye ait güç yoğunluğu haritasında özellikle çalışma alanının kuzeyi boyunca Karadeniz'e bakan kıyı kesimlerinde ve güneyde kalan yüksek tepelerde genelde 1000 W/m² civarında ortalama güç yoğunluğu olduğu hatta bu değerin yer yer 1500 W/m²'lere ulaştığı söylenebilir.



Şekil 4.15 : Bölgenin güç yoğunluğu haritası.

WAsP programından alınan bütün sektörler için frekans dağılımı şekil 4.16'da gösterilmektedir. Programda yapılan hesaplamalar sonucunda bütün sektörler için c ölçek parametresi 7.2 m/s, k şekil parametresi 1.83, ortalama rüzgar hızı 6.44 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 343 W/m² olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.16 : Bölgenin rüzgar hızı frekans dağılımı.

Sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve frekans yoğunluğunun değişimi incelendiğinde her sektör hakkında daha fazla yorum yapılabilir. Sektörlere göre yapılacak bu değerlendirme hangi sektörden daha fazla enerji üretilebileceğine de ışık tutabilir. Çizelge 4.4'te bölgenin sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve frekans yoğunluğu değişimi gösterilmiştir. Ölçek parametresi c'nin m/s, şekil parametresi k'nın boyutsuz ortalama hızı V'nin m/s, ortalama güç yoğunluğu P'nin W/m² ve frekans yoğunluğu f'nin % olarak verildiği bu çizelge incelendiğinde ilk üç sektör olan 0⁰, 30⁰ ve 60⁰ sektörlerinin en dikkat çekici sektörler olduğu görülebilir. 30⁰ sektöründe ölçek parametresinin 8.7 m/s, şekil parametresinin 1.79, ortalama hızın 7.77 m/s, güç yoğunluğunun 617 W/m² görülmektedir. Güney-batılı yönlerde tekabül eden ve İstanbul ilinin önemli rüzgarlarından biri olan lodosun esiş yönü olan 60⁰ sektörünün frekans yoğunluğuna bakıldığında %20.8 ile ilk sırada olduğu ve en önemli sektör olduğunu düşünmek mümkündür. Ancak bu sektörün ortalama rüzgar hızının ilk üç sektöre göre az olması bu sektörün güç yoğunluğunu önemli ölçüde düşürmektedir. Ortalama güç yoğunluğundaki bu artış rüzgar hızının üretilecek enerjideki önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.4 : Sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve frekans yoğunluğu değişimi.

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Tüm
c	8.6	8.7	8.6	5.9	4.6	3.7	5.0	7.4	5.5	4.2	4.4	6.5	7.2
k	1.97	1.79	2.58	2.17	2.70	2.27	2.25	2.22	2.10	2.23	2.03	1.67	1.83
V	7.59	7.77	7.63	5.25	4.12	3.24	4.42	6.55	4.89	3.71	3.94	5.84	6.44
P	521	617	419	156	64	35	91	298	130	54	70	287	343
f	10.9	15.5	20.8	7.7	3.7	1.7	3.8	19.5	5.5	2.6	2.7	5.6	100

Bölgede ortalama rüzgar şiddetinin yanısıra rüzgar hızlarının esme yönü, şiddeti ve sıklıklarına göre bölgeyi incelemek de yapılacak veri analizine özellik kazandıracaktır. Çizelge 4.5'te bölgede rüzgar esme yönü, sayısı ve şiddetleri bir arada gösterilmiştir. Sektörlere göre rüzgar esme yönü, sayısı ve şiddetleri incelendiğinde yine 0⁰, 30⁰ ve 60⁰ sektörleri ile 210⁰ sektörü dikkat çekmektedir. En fazla esme sayısı 0⁰ sektöründe 7.0 m/s'li hızlarda, 30⁰ sektöründe en fazla esme sayısı 8.0 m/s'li hızlarda, 60⁰ sektöründe 7.0 m/s'li hızlarda, 210⁰ sektöründe ise 7.0 m/s'li hızlarda gerçekleşmiştir. Bu dört sektörde hızlar genelde 6.0 m/s, 7.0 m/s ve 8.0 m/s'li hızlarda yoğunlaşmıştır. Ayrıca diğer sektörlerin aksine 8.0 m/s'nin üzerindeki hızlarda da kayda değer esme sayıları görülmüştür. Bölgede en fazla esme

sayısı 218 kere ile 150° sektöründe 4.0 m/s’li hızlarda ve 180° sektöründe 5.0 m/s’li hızlarda gerçekleşmiştir. En büyük rüzgar şiddeti ise 30° sektöründe 23 m/s olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.5 : Rüzgar esme yönü, sayısı ve şiddetleri.

V	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Tüm
1.0	16	13	10	20	47	79	41	7	27	56	46	25	19
2.0	44	36	28	72	120	190	90	23	66	118	115	71	51
3.0	63	47	47	108	137	209	136	41	109	209	190	102	76
4.0	87	62	57	136	185	218	177	79	163	211	205	116	100
5.0	86	86	79	160	211	168	218	140	193	177	199	138	126
6.0	95	107	107	162	180	98	162	154	163	135	141	127	130
7.0	100	109	119	126	79	27	75	155	96	54	52	119	113
8.0	92	113	116	82	24	9	47	129	77	24	21	68	95
9.0	74	75	111	56	12	1	23	91	45	9	7	56	72
10.0	71	72	94	34	4	1	15	59	28	3	8	43	58
11.0	66	59	80	20	3	0	9	41	18	2	6	34	46
12.0	61	46	58	12	0	0	5	32	8	1	4	28	36
13.0	44	36	42	5	0	0	2	18	5	0	3	18	25
14.0	28	31	22	3	0	0	0	11	2	0	1	21	16
15.0	20	29	14	3	0	0	0	8	0	0	1	16	13
16.0	17	20	8	1	0	0	0	4	0	0	0	8	8
17.0	14	17	4	0	0	0	0	3	0	0	0	5	6
18.0	8	12	2	0	0	0	0	1	0	0	0	2	3
19.0	8	14	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
20.0	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
21.0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
22.0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Daha önce de değinildiği gibi WAsP programı, 0., 1., 2. ve 3. sınıf olmak üzere 4 farklı pürüzlülük sınıfını temel almaktadır. Programda bu dört pürüzlülük sınıfına ait pürüzlülük uzunluklarına göre 10 m., 25 m., 50 m., 100 m. ve 200 m. de hesaplamalar yapılarak bir rüzgar atlası raporu hazırlanır. Günümüzde rüzgar santrallerinde kullanılan türbinlerin göbek yükseklikleri genelde 100 m. civarındadır. 100 m. göbek yüksekliği için 0.00 m pürüzlülük uzunluğunda c ölçek parametresi 9.4 m/s, k şekil parametresi 1.90, ortalama rüzgar şiddeti 8.35 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 716 W/m² olarak, 0.03 m pürüzlülük uzunluğunda c ölçek parametresi 8.3 m/s, k şekil parametresi 2.01, ortalama rüzgar şiddeti 7.39 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 471 W/m² olarak, 0.10 m pürüzlülük uzunluğunda c ölçek parametresi 7.7 m/s, k şekil parametresi 2.03, ortalama rüzgar şiddeti 6.78 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 360 W/m² olarak, 0.40 m pürüzlülük uzunluğunda ise c ölçek parametresi 6.7 m/s, k şekil parametresi 2.03, ortalama rüzgar şiddeti 5.94 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 241 W/m² olarak hesaplanmıştır. 100 m. yükseklik için 0.00 m.

pürüzlülük uzunluğunda 8.35 m/s olan ortalama rüzgar şiddeti, 0.40 m. pürüzlülük uzunluğunda 5.94 m/s'ye düşmüştür. Ortalama rüzgar şiddetindeki bu düşüş beklendiği gibi ortalama güç yoğunluğuna daha fazla yansımış, 0.00 m. pürüzlülük uzunluğunda 716 W/m² iken 0.40 m. pürüzlülük uzunluğunda 436 W/m² ye düşmüştür. Bu düşüş ortalama rüzgar şiddetinin ortalama güç yoğunluğundaki önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir. Çizelge 4.6'da farklı yükseklik ve pürüzlülük uzunluklarına göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 : Farklı yükseklik ve pürüzlülük uzunluklarına göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi.

Yükseklik	Parametre	0.00 m	0.03 m	0.10 m	0.40 m
10.0 m	Weibull c [m/s]	7.4	5.1	4.5	3.5
	Weibull k	1.85	1.61	1.62	1.63
	Ortalama Hız [m/s]	6.59	4.58	3.99	3.14
	Güç Yoğ. [W/m ²]	362	145	95	46
25.0 m	Weibull c [m/s]	8.1	6.1	5.5	4.6
	Weibull k	1.90	1.71	1.71	1.71
	Ortalama Hız [m/s]	7.20	5.46	4.91	4.12
	Güç Yoğ. [W/m ²]	462	227	165	98
50.0 m	Weibull c [m/s]	8.7	7.1	6.5	5.6
	Weibull k	1.95	1.87	1.85	1.82
	Ortalama Hız [m/s]	7.72	6.28	5.73	4.95
	Güç Yoğ. [W/m ²]	554	310	238	157
100.0 m	Weibull c [m/s]	9.4	8.3	7.7	6.7
	Weibull k	1.90	2.01	2.03	2.03
	Ortalama Hız [m/s]	8.35	7.39	6.78	5.94
	Güç Yoğ. [W/m ²]	716	471	360	241
200.0 m	Weibull c [m/s]	10.3	10.2	9.3	8.1
	Weibull k	1.83	1.96	1.97	2.00
	Ortalama Hız [m/s]	9.17	9.07	8.27	7.20
	Güç Yoğ. [W/m ²]	990	893	671	436

Değişik pürüzlülük uzunluklarında farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğu değişiminin incelenmesi sektörlerin daha sağlıklı analiz edilmesini sağlayabilir. Çizelge 4.7'de 0.00 m pürüzlülük uzunluğunda farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde 100 m. yükseklikte ilk üç sektör olan 00, 300 ve 600 sektörlerinin en dikkat çekici sektörler olduğu görülebilir. 00 sektöründe c ölçek parametresi 10.6 m/s, k şekil parametresi 1.93, ortalama rüzgar şiddeti 9.37 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 998 W/m², 300 sektöründe c ölçek parametresi 11.0 m/s, k şekil parametresi 1.87, ortalama rüzgar şiddeti 9.73 m/s ve ortalama güç yoğunluğu

1157 W/m², 600 sektöründe c ölçek parametresi 11.1 m/s, k şekil parametresi 2.37, ortalama rüzgar şiddeti 9.85 m/s ve ortalama güç yoğunluğu 962 W/m² olarak hesaplanmıştır. Bu üç sektörün dışında 900 ve 2100 sektörü de dikkat çekici sektörler olarak gösterilebilir.

Çizelge 4.7 : 0.00 m pürüzlülük uzunluğunda farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi.

H	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	°	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
10.0	c	8.4	8.8	8.8	7.3	6.8	4.7	4.9	7.2	6.4	5.0	4.7	6.6
	k	1.88	1.82	2.31	2.03	2.40	1.71	1.99	2.12	1.99	1.92	1.75	1.54
	V	7.45	7.79	7.77	6.45	6.04	4.23	4.37	6.37	5.69	4.40	4.20	5.90
	P	517	612	482	311	220	105	98	287	216	104	101	328
25.0	c	9.2	9.6	9.6	8.0	7.5	5.2	5.4	7.9	7.0	5.4	5.2	7.2
	k	1.92	1.85	2.37	2.09	2.48	1.76	2.05	2.18	2.05	1.99	1.81	1.59
	V	8.14	8.49	8.50	7.07	6.62	4.63	4.79	6.97	6.23	4.82	4.60	6.46
	P	656	777	617	396	282	133	125	366	275	132	127	412
50.0	c	9.8	10.2	10.3	8.6	8.0	5.6	5.8	8.5	7.6	5.8	5.6	7.7
	k	1.98	1.90	2.44	2.14	2.54	1.81	2.11	2.24	2.11	2.04	1.85	1.63
	V	8.71	9.07	9.12	7.59	7.11	4.97	5.14	7.49	6.69	5.18	4.94	6.94
	P	781	919	745	479	343	160	151	443	333	160	153	492
100.0	c	10.6	11.0	11.1	9.3	8.7	6.1	6.3	9.2	8.2	6.3	6.0	8.4
	k	1.93	1.87	2.37	2.08	2.46	1.75	2.04	2.17	2.04	1.97	1.79	1.58
	V	9.37	9.73	9.85	8.23	7.71	5.39	5.57	8.12	7.25	5.61	5.36	7.51
	P	998	1157	962	629	447	212	199	580	437	210	202	653
200.0	c	11.5	11.9	12.2	10.3	9.6	6.7	6.9	10.1	9.0	7.0	6.6	9.2
	k	1.85	1.81	2.26	1.97	2.33	1.66	1.93	2.05	1.93	1.87	1.70	1.51
	V	10.22	10.55	10.83	9.10	8.52	5.96	6.16	8.98	8.02	6.21	5.93	8.29
	P	1354	1531	1331	896	630	306	284	825	624	300	292	943

WAsP programının hesaplama yaptığı son pürüzlülük uzunluğu olan 0.40 m. için hesaplamalar incelendiğinde yine 00, 300, 600 ve 2100 sektörleri dikkat çekmektedir. Çizelge 4.8’de de gösterilen 0.40 m pürüzlülük uzunluğunda farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi incelendiğinde 00 sektöründe c ölçek parametresinin 7.6 m/s, k şekil parametresinin 2.04, ortalama rüzgar şiddetinin 6.78 m/s ve ortalama güç yoğunluğunun 358 W/m², 300 sektöründe c ölçek parametresinin 7.8 m/s, k şekil parametresinin 2.05, ortalama rüzgar şiddetinin 6.89 m/s ve ortalama güç yoğunluğunun 374 W/m², 600 sektöründe c ölçek parametresinin 7.7 m/s, k şekil parametresinin 2.60, ortalama rüzgar şiddetinin 6.82 m/s ve ortalama güç yoğunluğunun 298 W/m² olarak hesaplandığı görülmektedir. Çizelge 4.7’de gösterilen 0.00 m. ve çizelge 4.8’de gösterilen 0.40 m. pürüzlülük uzunluğuna ait bu değerler karşılaştırıldığında pürüzlülük uzunluğunun ortalama rüzgar şiddeti ve dolayısıyla rüzgardan elde edilecek güç yoğunluğuna olan etkisi bir kez daha

görülmektedir. 100 m. yükseklikte, 0.00 m. ve 0.40 m. pürüzlülük uzunluğu karşılaştırıldığında 00 sektöründe ortalama rüzgar şiddetinin 9.37 m/s'den 6.78 m/s'ye, ortalama güç yoğunluğunun 998 W/m²'den 358 W/m²'ye, 300 sektöründe ortalama rüzgar şiddetinin 9.73 m/s'den 6.89 m/s'ye, ortalama güç yoğunluğunun 1157 W/m²'den 374 W/m²'ye, 600 sektöründe ortalama rüzgar şiddetinin 9.85 m/s'den 6.82 m/s'ye, ortalama güç yoğunluğunun 962 W/m²'den 298 W/m²'ye düştüğü göze çarpmaktadır.

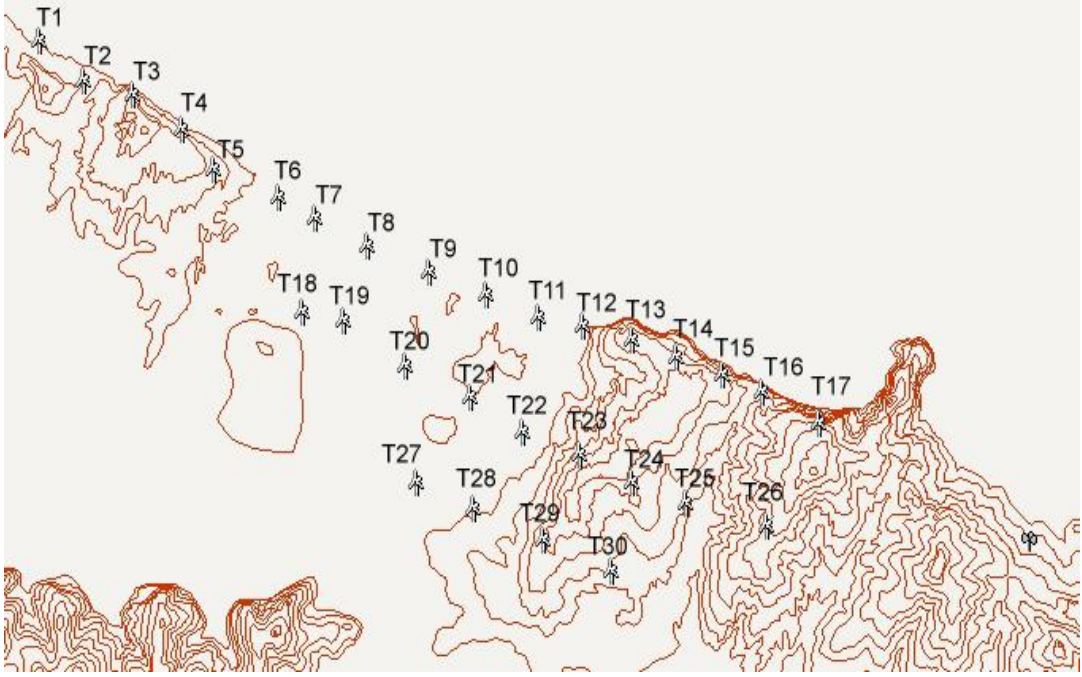
Çizelge 4.8 : 0.40 m pürüzlülük uzunluğunda farklı yükseklikler için sektörlere göre ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız ve güç yoğunluğunun değişimi.

H	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	°	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
10.0	c	4.1	4.2	4.0	3.1	3.1	2.0	2.9	3.4	2.7	2.2	2.5	3.5
	k	1.67	1.69	1.98	1.70	2.02	1.62	1.62	1.83	1.66	1.65	1.30	1.47
	V	3.66	3.73	3.56	2.76	2.77	1.81	2.61	3.04	2.41	1.94	2.31	3.13
	P	70	73	53	30	25	9	27	36	20	11	26	53
25.0	c	5.4	5.5	5.3	4.1	4.1	2.7	3.9	4.5	3.6	2.9	3.3	4.6
	k	1.74	1.76	2.10	1.80	2.14	1.71	1.72	1.94	1.76	1.75	1.37	1.54
	V	4.78	4.87	4.68	3.64	3.64	2.38	3.44	4.00	3.18	2.56	3.04	4.11
	P	149	156	114	63	53	19	56	77	43	23	54	111
50.0	c	6.4	6.5	6.4	5.0	5.0	3.2	4.7	5.5	4.3	3.5	4.1	5.5
	k	1.84	1.86	2.28	1.96	2.33	1.86	1.87	2.11	1.91	1.90	1.49	1.66
	V	5.71	5.81	5.65	4.39	4.40	2.87	4.15	4.83	3.83	3.09	3.67	4.95
	P	237	248	187	101	87	30	90	125	69	36	83	175
100.0	c	7.6	7.8	7.7	6.0	6.0	3.9	5.7	6.6	5.2	4.2	5.0	6.7
	k	2.04	2.05	2.60	2.23	2.65	2.12	2.12	2.40	2.17	2.16	1.69	1.88
	V	6.78	6.89	6.82	5.30	5.31	3.47	5.01	5.83	4.63	3.73	4.43	5.94
	P	358	374	298	157	139	46	139	198	107	56	123	261
200.0	c	9.1	9.3	9.4	7.3	7.3	4.8	6.9	8.0	6.4	5.1	6.0	8.1
	k	2.01	2.03	2.51	2.15	2.55	2.04	2.04	2.31	2.09	2.08	1.63	1.82
	V	8.09	8.21	8.33	6.47	6.48	4.23	6.12	7.12	5.65	4.56	5.41	7.19
	P	616	638	558	296	259	87	262	370	202	106	234	482

4.6 Mikrokonuşlandırma ve türbin seçimi

Tez çalışmasında bölgede 45 MW kurulu gücü aşmayacak şekilde bir rüzgar santralini oluşturulması düşünülmüş, bu amaçla en iyi mikrokonuşlandırmanın yapılması ve en verimli türbinin seçilmesi amacıyla karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında WAsP programının kütüphanesinde bulunan Danimarkalı türbin üreticisi VESTAS firmasına ait 1.5 MW'lık V63 model türbin kullanılarak bir mikrokonuşlandırma yapılmıştır. 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı bu mikrokonuşlandırma çalışmasında türbinler hakim rüzgar yönünde üç sıra halinde yerleştirilmiştir. Şekil 4.17'de 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması gösterilmiştir.



Şekil 4.17 : 30 adet türbinin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması.

Bu şekilde 3 sıra şeklinde yapılan 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı 45 MW kurulu gücündeki bu mikrokonuslandırma çalışması sonrasında bölgede kurulacak rüzgar enerjisi santralinden yıllık brüt 123.531 GWh, net 115.126 GWh elektrik üretileceği hesaplanmıştır. Rüzgar türbinlerinin birbirlerine olan etkisi sonucunda %6.80'lik bir kayıp oluşacağı anlaşılmıştır. Çizelge 4.9'da 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için yıllık üretim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için yıllık üretim değerleri.

Parametre	Toplam	Ortalama	Minimum	Maksimum
Net Yıllık Üretim [GWh]	115.126	3.838	2.030	5.544
Brüt Yıllık Üretim [GWh]	123.531	4.118	2.278	5.641
Wake (İz) kaybı [%]	6.80	-	-	-

Mikrokonuslandırma çalışması sonrasında türbinlerin birbirine olan etkileri çizelge 4.10'da gösterilmiş, özellikle üçüncü sıraya konuşlandırılmış türbinlerde oluşan kayıpların dikkat çekici düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Mikrokonuslandırma sırasında her ne kadar türbinlerin birbirinden etkilenmemesi için aralarında yeterli mesafe bırakılsa da rotor çapı 63 m. olan bu türbinlerin birbirine yapacakları etkiyi sıfıra indirmek neredeyse imkansızdır. Ancak özellikle hakim rüzgar yönünde konuşlandırılan türbin sayısının azaltılmasıyla bölgeden elde edilebilecek enerji

miktarını arttırmak mümkündür. Bu düşünceden hareketle mikrokonaşlandırma çalışmasının ve türbin sayısının, 45 MW'lık düşünülen kurulu gücü aşmayacak şekilde revize edilmesi yoluna gidilmiştir.

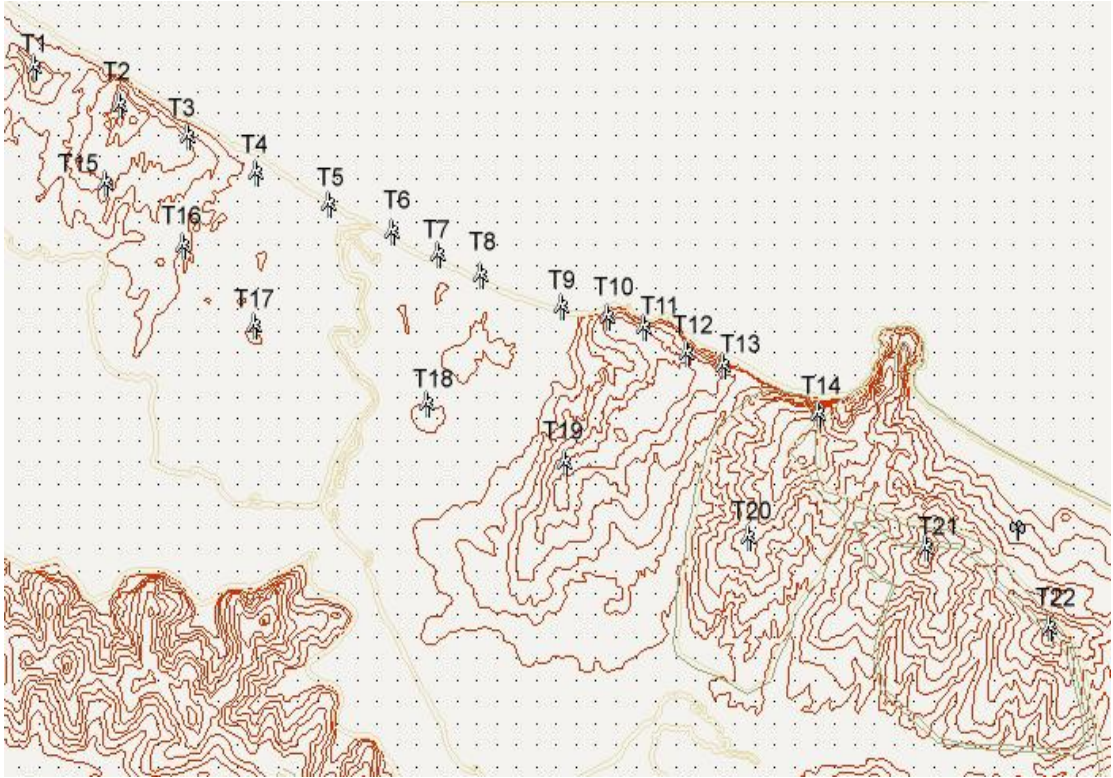
Çizelge 4.10 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonaşlandırma çalışması için her bir türbine ait üretim ve kayıp değerleri

Türbin Numarası	Kullanılan Türbin	Yükseklik [m]	Göbek Yüksekliği [m]	Net Yıllık Üretim [GWh]	Wake (İz) kaybı [%]
Türbin 1	Vestas V63	19	80	5.000	1.22
Türbin 2	Vestas V63	14	80	4.848	1.59
Türbin 3	Vestas V63	6	80	4.622	2.73
Türbin 4	Vestas V63	10	80	4.637	5.44
Türbin 5	Vestas V63	52	80	5.196	2.78
Türbin 6	Vestas V63	9	80	4.049	10.07
Türbin 7	Vestas V63	8	80	4.641	3.10
Türbin 8	Vestas V63	10	80	4.091	9.08
Türbin 9	Vestas V63	44	80	4.238	7.91
Türbin 10	Vestas V63	63	80	4.170	2.16
Türbin 11	Vestas V63	22	80	4.119	5.73
Türbin 12	Vestas V63	41	80	5.544	1.73
Türbin 13	Vestas V63	21	80	3.741	4.00
Türbin 14	Vestas V63	31	80	4.631	2.04
Türbin 15	Vestas V63	10	80	2.905	5.98
Türbin 16	Vestas V63	9	80	2.859	7.32
Türbin 17	Vestas V63	8	80	2.793	8.81
Türbin 18	Vestas V63	6	80	2.774	7.68
Türbin 19	Vestas V63	7	80	2.800	10.78
Türbin 20	Vestas V63	50	80	5.034	7.07
Türbin 21	Vestas V63	58	80	5.234	6.28
Türbin 22	Vestas V63	83	80	4.343	1.68
Türbin 23	Vestas V63	44	80	4.274	6.13
Türbin 24	Vestas V63	9	80	2.433	20.65
Türbin 25	Vestas V63	6	80	2.452	18.84
Türbin 26	Vestas V63	53	80	3.781	11.50
Türbin 27	Vestas V63	7	80	2.538	14.97
Türbin 28	Vestas V63	51	80	3.075	12.27
Türbin 29	Vestas V63	27	80	2.030	10.88
Türbin 30	Vestas V63	9	80	2.275	17.91

Çizelge 4.10'dan da görüleceği gibi 24 numaralı türbinde %20.65, 25 numaralı türbinde %18.84, 27 numaralı türbinde %14.97, 30 numaralı türbinde %17.91 olarak hesaplanan wake (iz) kaybı, mikrokonaşlandırma çalışmasının ve türbin sayısının gözden geçirilmesinde ve revize edilmesinde en önemli nedeni oluşturmuştur. Yapılan mikrokonaşlandırma çalışmasında kullanılacak türbin sayısı, toplam kurulu güç ve türbin gücü gibi değerler ile iki mikrokonaşlandırma çalışmasının yıllık net enerji üretim değerlerinin göz önünde bulundurulmasıyla birim kurulu güce karşılık

üretilecek enerji değeri bulunarak karşılaştırma yapılmış ve hangi türbin tipinin daha verimli olduğunun bulunması amaçlanmıştır.

Yapılan yeni mikrokonuslandırma çalışmasında yine WAsP programının kütüphanesinde bulunan VESTAS firmasına ait 2.0 MW'lık V80 model rüzgar türbinleri kullanılmış, türbinlerin birbirine olan etkilerinin azaltılması amacıyla mikrokonuslandırma çalışması hakim rüzgar yönünde iki sıra olarak gerçekleştirilmiştir. VESTAS V80 rüzgar türbinlerinden 22 adet kullanılmış ve toplam kurulu güç 44 MW'la sınırlandırılarak, tez çalışmasının başından itibaren düşünülen 45 MW'lık kurulu güç sınırı aşılmamıştır. Şekil 4.18'de 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması gösterilmiştir.



Şekil 4.18 : 22 adet türbinin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması.

Her biri 2.0 MW gücündeki 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı toplamda 44 MW'lık bu mikrokonuslandırma çalışması sonrasında bölgede kurulacak rüzgar enerjisi santralinden yıllık brüt 154.856 GWh, net 142.813 GWh elektrik üretileceği hesaplanmıştır. Rüzgar türbinlerinin birbirlerine olan etkisi sonucunda %7.78'lik bir kayıp oluşacağı anlaşılmıştır. Çizelge 4.11'de 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için yıllık üretim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.11 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yıllık üretim değerleri.

Parametre	Toplam	Ortalama	Minimum	Maksimum
Net Yıllık Üretim [GWh]	142.813	6.491	5.708	7.334
Brüt Yıllık Üretim [GWh]	154.856	7.039	6.088	7.743
Wake (İz) kaybı [%]	7.78	-	-	-

VESTAS V80 rüzgar türbinlerinin rotor çapı 80 m.'dir. Bu sebeple türbinler arasındaki etkileşim ve kayıpların 63 m. rotor çaplı VESTAS V63'e göre daha çok olacağı düşünülebilir. Ancak türbin rotor çapının büyümesiyle süpürme alanının büyümesi, dolayısıyla rüzgardan elde edilecek enerjinin artacak olması sebebiyle tez çalışmasında iki türbinin birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değeriyle karşılaştırılması uygun görülmüştür. Çizelge 4.12'de 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için her bir türbine ait üretim ve kayıp değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için her bir türbine ait üretim ve kayıp değerleri

Türbin Numarası	Kullanılan Türbin	Yükseklik [m]	Göbek Yüksekliği [m]	Net Yıllık Üretim [GWh]	Wake (İz) kaybı [%]
Türbin 1	Vestas V80	16	80	6.807	2.88
Türbin 2	Vestas V80	49	80	7.165	7.47
Türbin 3	Vestas V80	30	80	6.790	7.18
Türbin 4	Vestas V80	10	80	6.236	8.01
Türbin 5	Vestas V80	9	80	6.183	8.79
Türbin 6	Vestas V80	8	80	6.176	8.37
Türbin 7	Vestas V80	6	80	6.172	8.41
Türbin 8	Vestas V80	6	80	6.162	8.15
Türbin 9	Vestas V80	9	80	6.164	9.38
Türbin 10	Vestas V80	50	80	6.833	10.63
Türbin 11	Vestas V80	51	80	7.028	8.07
Türbin 12	Vestas V80	60	80	7.037	8.53
Türbin 13	Vestas V80	47	80	7.024	4.17
Türbin 14	Vestas V80	82	80	6.774	4.26
Türbin 15	Vestas V80	22	80	6.050	13.81
Türbin 16	Vestas V80	10	80	5.926	12.85
Türbin 17	Vestas V80	10	80	6.013	11.01
Türbin 18	Vestas V80	5	80	5.832	11.67
Türbin 19	Vestas V80	60	80	6.097	10.36
Türbin 20	Vestas V80	60	80	5.708	6.24
Türbin 21	Vestas V80	95	80	7.334	1.53
Türbin 22	Vestas V80	91	80	7.302	0.45

Çizelge 4.12'den de görüleceği gibi, hakim rüzgar yönünde üç sıra olarak yerleştirilen ve her biri 1.5 MW gücünde olan 63 m. rotor çaplı VESTAS V63 rüzgar türbinlerinin kullanıldığı ilk mikrokonuşlandırma çalışmasında 24 numaralı türbinde %20.65 olarak gerçekleşen en büyük wake (iz) kaybı, hakim rüzgar yönünde iki sıra olarak yerleştirilen ve her biri 2.0 MW gücünde olan 80 m. rotor çaplı VESTAS V80 rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla ikinci sıranın en batısında yer alan 15 numaralı türbinde %13.81'e gerilemiştir. Rotor çapının 63 m.'den 80 m.'ye büyümesine rağmen maksimum kayıp değerinin düşmesi, hakim rüzgar yönünde yerleştirilen rüzgar türbin sırasının üçten ikiye düşmesinin bir sonucu olarak gösterilebilir.

VESTAS V80 için yapılan mikrokonuşlandırma çalışması ve hesaplamalardan sonra iki türbinin karşılaştırılması amacıyla, 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbinin kullanıldığı 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralinden üretilen yıllık net enerji miktarı olan 115.126 GWh değeri, toplam kurulu güç miktarı olan 45 MW'a bölünerek söz konusu tesis için birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değeri 2.558 olarak, benzer şekilde 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı 44 MW'lık çalışma için de yıllık net enerji miktarı olan 142.813 GWh değeri, toplam kurulu güç miktarı olan 44 MW'a bölünerek birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değeri 3.245 olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu iki değer karşılaştırması sonucunda kurulu güce karşılık üretilen enerji değeri 3.245 olan VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanılmasının daha avantajlı olduğu görülmüştür. Çizelge 4.13'te VESTAS V80 ve VESTAS V63 rüzgar türbinlerinin birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri açısından karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 4.13 : VESTAS V80 ve VESTAS V63 rüzgar türbinlerinin birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri açısından karşılaştırılması.

Türbin Tipi	Net Yıllık Üretim [GWh]	Türbin Adedi	Kurulu Güç [MW]	Birim Kurulu Güce Karşılık Üretilen Enerji
VESTAS V63 [1.5 MW]	115.126	30	45	2.558
VESTAS V80 [2.0 MW]	142.813	22	44	3.245

Mikrokonuşlandırma ve türbin seçimi çalışmasının son aşamasında ise farklı mikrokonuşlandırmalar arasında bir karşılaştırma yapmak amacıyla Şekil 4.17'de gösterilen ve 22 adet türbinin kullandığı mikrokonuşlandırma çalışmasında VESTAS V63 ve VESTAS V80 rüzgar türbinleri kullanılarak, bir önceki

karşılaştırmada olduğu gibi yine toplam kurulu güç ve türbin gücü gibi değerler ile iki mikrokonuşlandırma çalışmasının yıllık net enerji üretim değerlerinin göz önünde bulundurulmasıyla birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değeri hesaplanmıştır. Çizelge 4.14'te 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı 44 MW'lık ve VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı 33 MW'lık mikrokonuşlandırma çalışması için yıllık üretim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.14 : 22 adet VESTAS V80 ve VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için yıllık üretim değerleri.

Parametre	Toplam	Ortalama	Minimum	Maksimum
Net Yıllık Üretim VESTAS V80[GWh]	142.813	6.491	5.708	7.334
Net Yıllık Üretim VESTAS V63[GWh]	100.971	4.590	3.929	5.131
Brüt Yıllık Üretim VESTAS V80 [GWh]	154.856	7.039	6.088	7.743
Brüt Yıllık Üretim VESTAS V63 [GWh]	107.308	4.878	4.136	5.423
Wake (iz) kaybı VESTAS V80[%]	7.78	-	-	-
Wake (iz) kaybı VESTAS V63[%]	5.91	-	-	-

Her iki türbin tipinden 22 adet türbinin kullanıldığı bu mikrokonuşlandırma çalışmasında 44 MW'lık VESTAS V80 türbinlerin kullanıldığı tesis için yıllık net enerji üretimi 142.813 GWh, 33 MW'lık VESTAS V63 türbinlerin kullanıldığı tesis için ise 100.971 GWh olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.15'te toplam kurulu güç ve türbin gücü gibi değerler ile iki mikrokonuşlandırma çalışmasının yıllık net enerji üretim değerlerinin göz önünde bulundurulmasıyla hesaplanan birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri gösterilmiştir. Yapılan hesaplamalarda birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değeri VESTAS V63 için 3.059 ve VESTAS V80 için 3.245 olarak tespit edilmiş ve aynı mikrokonuşlandırma çalışması için de VESTAS V80 rüzgar türbininin daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.15 : Aynı mikrokonuşlandırmada VESTAS V80 ve VESTAS V63 için birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri karşılaştırması.

Türbin Tipi	Net Yıllık Üretim [GWh]	Türbin Adedi	Kurulu Güç [MW]	Birim Kurulu Güce Karşılık Üretilen Enerji
VESTAS V63 [1.5 MW]	100.971	22	33	3.059
VESTAS V80 [2.0 MW]	142.813	22	44	3.245

4.7 Sektör analizleri

Tez çalışmasında hesaplamaları yapılan rüzgar enerjisi santrali için VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanılmasına karar verildikten sonra, mikrokonuşlandırma

çalışması yapılan bu santralin sektörlere göre yıllık enerji üretim değerleri, rüzgar şiddetleri, wake (iz) kayıpları, weibull parametrelerini incelemek yerinde olacaktır. Çizelge 4.11’de de gösterildiği gibi her biri 2.0 MW gücünde olan 22 adet türbinin kullanıldığı bu rüzgar enerjisi santralinden yıllık brüt 154.856 GWh, net 142.813 GWh elektrik üretileceği hesaplanmıştır.

52 m.’de kaydedilen veriler WASP program yardımıyla türbinlerin göbek yüksekliği olan 80 m.’ye taşınmıştır. 80 m. yükseklikte rüzgar şiddeti genelde 8 m/s’nin üzerinde hesaplanmıştır. En yüksek rüzgar şiddeti 8.83 m/s ile türbin 2 ve türbin 12’de, en düşük rüzgar şiddeti ise 7.52 m/s ile türbin 20’de, c ölçek parametresi en yüksek 2 numaralı türbinde 10.0 m/s, en düşük 8.5 m/s türbin 20’de, k şekil parametresi en yüksek 1.99 ile türbin 20’de, en düşük 1.84 ile türbin 14’te, ortalama güç yoğunluğu en yüksek 862 W/m² ile türbin 12’de, en düşük 501 W/m² ile türbin 20’de, wake (iz) kaybı ise en yüksek %12.4 ile türbin 21 ve türbin 22’de, en düşük olarak %6 ile türbin 1’de hesaplanmıştır. Çizelge 4.16’da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve wake (iz) kaybı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama hız, güç yoğunluğu ve wake(iz) kaybı değerleri.

Türbin Numarası	Yükseklik [m]	c [m/s]	k	V [m/s]	P [W/m ²]	Wake (İz) kaybı [%]
Türbin 1	80	9.3	1.91	8.23	685	6.0
Türbin 2	80	10.0	1.91	8.83	844	6.8
Türbin 3	80	9.6	1.90	8.48	751	6.7
Türbin 4	80	9.1	1.91	8.05	639	6.9
Türbin 5	80	9.1	1.92	8.04	635	7.1
Türbin 6	80	9.0	1.91	8.01	632	7.9
Türbin 7	80	9.0	1.90	8.02	634	8.1
Türbin 8	80	9.0	1.89	8.00	635	8.0
Türbin 9	80	9.1	1.88	8.08	660	8.5
Türbin 10	80	9.9	1.88	8.77	840	8.8
Türbin 11	80	9.9	1.88	8.78	845	8.8
Türbin 12	80	10.0	1.88	8.83	862	9.3
Türbin 13	80	9.6	1.85	8.54	790	9.2
Türbin 14	80	9.4	1.84	8.39	755	10.2
Türbin 15	80	9.3	1.93	8.22	675	7.5
Türbin 16	80	9.1	1.92	8.06	638	8.2
Türbin 17	80	9.0	1.92	8.02	629	9.3
Türbin 18	80	8.9	1.90	7.93	613	10.2
Türbin 19	80	9.1	1.92	8.11	652	11.7
Türbin 20	80	8.5	1.99	7.52	501	12.2
Türbin 21	80	9.6	1.96	8.55	749	12.4
Türbin 22	80	9.6	1.94	8.48	738	12.4

4.7.1 Sektör 1 (0°) analizi

Yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.17'den de görüleceği gibi, Sektör 1 (0°) için, c ölçek parametresinin 9.6 m/s ile 12 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değer 12.0 m/s ile türbin 14'te, en düşük değer ise 9.6 m/s ile türbin 20'de hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.92 ile 2.03 arasında değiştiği, en yüksek değer 2.03 ile türbin 20'de, en düşük değer ise 1.92 ile türbin 13'de hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 10.64 m/s ile 8.81 m/s arasında değiştiği, en yüksek değer 10.64 m/s ile türbin 14'te, en düşük değer ise 8.81 m/s ile türbin 9 ve türbin 16'da hesaplandığı, üretilen enerjinin 579.892 MWh ile 980.592 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 980.592 MWh ile türbin 14'te, en düşük üretim değerinin ise 579.892 MWh ile türbin 16'da hesaplandığı görülmüştür. 22 türbin içinde verimi %100 olmayan 6 adet türbin bulunmaktadır ve bu 6 türbin de mikrokonuslandırma çalışmasında ikinci sıraya yerleştirilen türbinlerdir. En düşük verim % 80.85 ile en düşük üretim değerine sahip türbin 16'da hesaplanmıştır. Rüzgar hızı ortalaması ve c ölçek parametresinin en yüksek değerde olduğu türbin 14'te üretimin de en yüksek olması bu parametrelerin enerji üretimine olan etkisini bir kez daha göstermektedir.

Çizelge 4.17 : Sektör 1 (0°)'de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	10.4	1.94	9.49	9.20	778.592	778.592	100.00
Türbin 2	11.1	1.94	9.43	9.84	835.636	835.636	100.00
Türbin 3	10.9	1.94	9.69	9.63	838.924	838.924	100.00
Türbin 4	10.2	1.94	9.58	9.07	773.364	773.364	100.00
Türbin 5	10.2	1.95	9.48	9.01	759.903	759.903	100.00
Türbin 6	10.1	1.94	9.53	8.99	761.735	761.735	100.00
Türbin 7	10.1	1.94	9.50	8.96	756.204	756.204	100.00
Türbin 8	10.1	1.94	9.53	8.92	753.195	753.195	100.00
Türbin 9	9.9	1.92	9.31	8.81	723.082	723.082	100.00
Türbin 10	10.6	1.93	9.08	9.39	763.546	763.546	100.00
Türbin 11	10.7	1.93	9.04	9.48	768.471	768.471	100.00
Türbin 12	11.2	1.93	9.59	9.96	859.434	859.434	100.00
Türbin 13	11.0	1.92	9.80	9.74	855.166	855.166	100.00
Türbin 14	12.0	1.93	10.31	10.64	980.592	980.592	100.00
Türbin 15	10.2	1.95	9.20	9.08	744.253	622.979	83.71
Türbin 16	9.9	1.95	9.21	8.81	717.228	579.892	80.85
Türbin 17	10.0	1.95	9.33	8.89	735.197	641.898	87.31
Türbin 18	10.1	1.94	9.64	8.92	761.609	624.779	82.03
Türbin 19	11.2	1.94	10.04	9.89	894.511	778.358	87.01
Türbin 20	9.6	2.03	10.31	8.49	766.988	697.679	90.96
Türbin 21	10.6	2.01	10.00	9.39	849.979	849.979	100.00
Türbin 22	10.7	1.99	10.37	9.51	893.982	893.982	100.00
Toplam	-	-	-	-	17571.592	16897.390	96.16

4.7.2 Sektör 2 (30°) analizi

Çizelge 4.18’de sonuçları verilen, Sektör 2 (30o) için yapılan hesaplamalar sonucunda, c ölçek parametresinin 9.5 m/s ile 12.1 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 12.1 m/s ile türbin 14’te, en düşük değerin ise 9.5 m/s ile türbin 20’de hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.88 ile 1.91 arasında değiştiği, en yüksek değerin 1.91 ile türbin 13 ve türbin 22’de, en düşük değerin ise 1.88 ile sahadaki 16 türbinde hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 10.77 m/s ile 8.44 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 10.77 m/s ile türbin 14’te, en düşük değerin ise 8.44 m/s ile türbin 20’de hesaplandığı, üretilen enerjinin 883.192 MWh ile 1440.826 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 1440.826 MWh ile türbin 22’te, en düşük üretim değerinin ise 883.192 MWh ile türbin 16’da hesaplandığı görülmüştür. Sektör 1 (0o)’de olduğu gibi bu sektörde de 22 türbin içinde verimi %100 olmayan 6 adet türbin bulunmaktadır ve bu 6 türbin yine mikrokonuslandırma çalışmasında ikinci sıraya yerleştirilen türbinlerdir. Toplam verimi %97.09 olarak hesaplanan Sektör 2 (30o) için en düşük verim % 85.41 ile en düşük üretim değerine sahip türbin 16’da hesaplanmıştır.

Çizelge 4.18 : Sektör 2 (30°)’de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddeti, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	11.0	1.88	14.05	9.72	1216.879	1216.879	100.00
Türbin 2	11.7	1.88	13.79	10.36	1268.008	1268.008	100.00
Türbin 3	11.3	1.89	14.26	10.05	1278.749	1278.749	100.00
Türbin 4	10.7	1.88	13.94	9.47	1174.607	1174.607	100.00
Türbin 5	10.6	1.88	13.63	9.39	1136.120	1136.120	100.00
Türbin 6	10.6	1.88	13.71	9.38	1142.373	1142.373	100.00
Türbin 7	10.6	1.88	13.83	9.42	1157.183	1157.183	100.00
Türbin 8	10.6	1.88	14.08	9.45	1181.987	1181.987	100.00
Türbin 9	10.9	1.88	14.64	9.67	1259.602	1259.602	100.00
Türbin 10	11.7	1.88	14.19	10.35	1303.334	1303.334	100.00
Türbin 11	11.7	1.88	13.97	10.38	1286.099	1286.099	100.00
Türbin 12	11.9	1.89	14.41	10.58	1350.659	1350.659	100.00
Türbin 13	11.8	1.91	15.42	10.43	1435.027	1435.027	100.00
Türbin 14	12.1	1.90	14.56	10.77	1386.739	1386.739	100.00
Türbin 15	10.6	1.88	13.18	9.44	1105.884	963.217	87.10
Türbin 16	10.5	1.88	13.51	9.35	1121.185	1039.338	92.70
Türbin 17	10.5	1.88	13.50	9.32	1115.670	988.051	88.56
Türbin 18	10.5	1.88	14.09	9.35	1170.493	1021.111	87.24
Türbin 19	11.0	1.88	12.87	9.77	1119.207	955.906	85.41
Türbin 20	9.5	1.88	13.75	8.44	1003.252	883.192	88.03
Türbin 21	11.2	1.89	14.97	9.92	1324.651	1324.651	100.00
Türbin 22	11.3	1.91	16.01	10.04	1440.826	1440.826	100.00
Toplam	-	-	-	-	26978.535	26193.658	97.09

4.7.3 Sektör 3 (60°) analizi

Sektör 3 (60°) için yapılan ve Çizelge 4.19’da sonuçları gösterilen hesaplamalara göre, Sektör 3 (60°) için, c ölçek parametresinin 9.5 m/s ile 12.1 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değer 12.1 m/s ile türbin 12’de, en düşük değer ise 9.5 m/s ile türbin 19’da hesaplandığı, k şekil parametresinin 2.35 ile 2.57 arasında değiştiği, en yüksek değer 2.57 ile türbin 19’de, en düşük değer ise 2.35 ile türbin 10’da hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 8.46 m/s ile 10.67 m/s arasında değiştiği, en yüksek değer 10.67 m/s ile türbin 10’da, en düşük değer ise 8.46 m/s ile türbin 19’da hesaplandığı, üretilen enerjinin 1190.167 MWh ile 2083.901 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 2083.901 MWh ile türbin 11’de, en düşük üretim değerinin ise 1190.167 MWh ile türbin 19’da hesaplandığı görülmüştür. Toplam verimi %96.21 olarak hesaplanan Sektör 3 (60°) için en düşük verim % 83.22 ile en düşük üretim değerine sahip türbin 19’da hesaplanırken, sektörden toplam 38076.805 MWh enerji üretileceği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19 : Sektör 3 (60°)’te her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	11.0	2.38	19.14	9.74	1772.922	1772.922	100.00
Türbin 2	11.8	2.38	19.19	10.48	1940.100	1940.100	100.00
Türbin 3	11.2	2.38	18.73	9.94	1780.240	1780.240	100.00
Türbin 4	10.7	2.38	18.91	9.49	1692.148	1692.148	100.00
Türbin 5	10.7	2.39	19.02	9.52	1710.132	1710.132	100.00
Türbin 6	10.7	2.39	19.11	9.50	1714.573	1714.573	100.00
Türbin 7	10.7	2.38	19.22	9.52	1727.195	1727.195	100.00
Türbin 8	10.8	2.38	19.58	9.56	1769.458	1769.458	100.00
Türbin 9	11.0	2.37	20.18	9.72	1861.866	1831.233	98.35
Türbin 10	12.0	2.35	20.45	10.67	2100.431	2042.666	97.25
Türbin 11	12.1	2.36	20.18	10.72	2083.901	2083.901	100.00
Türbin 12	11.9	2.38	19.26	10.53	1955.732	1918.078	98.07
Türbin 13	11.3	2.36	18.92	10.06	1820.072	1820.072	100.00
Türbin 14	10.6	2.55	19.31	9.40	1723.078	1723.078	100.00
Türbin 15	11.0	2.37	18.77	9.75	1740.900	1422.756	81.73
Türbin 16	10.9	2.37	19.43	9.65	1778.724	1479.400	83.17
Türbin 17	10.8	2.38	19.11	9.54	1722.772	1470.717	85.37
Türbin 18	10.6	2.38	19.22	9.38	1694.338	1430.561	84.43
Türbin 19	9.5	2.57	18.94	8.46	1430.063	1190.167	83.22
Türbin 20	10.0	2.56	19.37	8.88	1584.744	1584.744	100.00
Türbin 21	11.5	2.53	20.61	10.24	2058.229	2058.229	100.00
Türbin 22	11.2	2.52	19.83	9.97	1914.434	1914.434	100.00
Toplam	-	-	-	-	39576.052	38076.805	96.21

4.7.4 Sektör 4 (90°) analizi

Yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.20'den de görüleceği gibi, Sektör 4 (90°) için, c ölçek parametresinin 8.3 m/s ile 9.8 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değer 9.8 m/s ile türbin 2 ve türbin 11'de, en düşük değer ise 8.3 m/s ile türbin 22'de hesaplandığı, k şekil parametresinin 2.10 ile 2.16 arasında değiştiği, en yüksek değer 2.16 ile türbin 19'da, en düşük değer ise 2.10 ile çalışma alanındaki 1 adet türbinde hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 7.76 m/s ile 11.52 m/s arasında değiştiği, en yüksek değer 11.52 m/s ile türbin 17'de, en düşük değer ise 7.76 m/s ile türbin 9'da hesaplandığı, üretilen enerjinin 348.194 MWh ile 769.167 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 769.167 MWh ile türbin 11'de, en düşük üretim değerinin ise 348.194 MWh ile türbin 9'da hesaplandığı görülmüştür. Sektörde toplam verim %82.44, toplam enerji üretimi ise 13167.672 MWh olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.20 : Sektör 4 (90°)'te her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	9.0	2.10	11.06	7.99	752.012	730.604	97.15
Türbin 2	9.8	2.10	11.22	8.67	865.491	760.799	87.90
Türbin 3	9.2	2.10	10.96	8.16	770.025	671.000	87.14
Türbin 4	8.9	2.10	11.14	7.84	733.505	636.771	86.81
Türbin 5	9.0	2.10	11.34	7.94	763.006	641.442	84.07
Türbin 6	8.9	2.10	11.37	7.92	761.241	586.766	77.08
Türbin 7	8.9	2.10	11.28	7.88	749.536	552.271	73.68
Türbin 8	8.9	2.10	11.32	7.86	748.725	607.566	81.15
Türbin 9	8.8	2.10	10.87	7.76	703.560	348.194	49.49
Türbin 10	9.7	2.10	11.20	8.63	858.032	528.069	61.54
Türbin 11	9.8	2.10	11.22	8.72	872.775	769.167	88.13
Türbin 12	9.7	2.10	10.98	8.56	832.374	577.539	69.38
Türbin 13	9.0	2.10	10.44	7.96	704.369	689.080	97.83
Türbin 14	8.1	2.12	8.75	7.14	485.050	485.050	100.00
Türbin 15	9.5	2.11	11.98	8.40	881.856	664.811	75.39
Türbin 16	9.1	2.10	11.48	8.05	789.762	595.804	75.44
Türbin 17	9.0	2.10	11.52	8.01	786.141	649.403	82.61
Türbin 18	8.7	2.10	11.24	7.74	724.407	620.071	85.60
Türbin 19	8.1	2.16	10.18	7.20	572.672	511.692	89.35
Türbin 20	8.1	2.13	9.77	7.21	551.187	474.088	86.01
Türbin 21	8.7	2.13	8.89	7.71	568.448	568.448	100.00
Türbin 22	8.3	2.13	8.49	7.36	499.038	499.038	100.00
Toplam	-	-	-	-	15973.214	13167.672	82.44

4.7.5 Sektör 5 (120°) analizi

Çizelge 4.21’de sonuçları verilen, Sektör 5 (120°) için yapılan hesaplamalar sonucunda, c ölçek parametresinin 7.0 m/s ile 9.0 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 9.0 m/s ile türbin 2’de, en düşük değerin ise 7.0 m/s ile türbin 9’da hesaplandığı, k şekil parametresinin 2.46 ile 2.72 arasında değiştiği, en yüksek değerin 2.72 ile türbin 8, türbin 9, türbin 12 ve türbin 13’de, en düşük değerin ise 2.46 ile türbin 15’de hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 6.27 m/s ile 8.02 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 8.02 m/s ile türbin 2’de, en düşük değerin ise 6.27 m/s ile türbin 9’da hesaplandığı, üretilen enerjinin 40.595 MWh ile 262.613 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 262.613 MWh ile türbin 19’da, en düşük üretim değerinin ise 40.595 MWh ile türbin 11’de hesaplandığı görülmüştür. Toplam verimi %58.93 olarak hesaplanan Sektör 5 (120°) için, %26.21 verime sahip türbin 6, %24.31 verime sahip türbin 10 ve %21.33 verime sahip türbin 11’ın en düşük verimli türbinler olarak dikkat çekmektedir. Bu verimlerden hareketle türbinlerin yakın çevresinde Sektör 5 (120°) rüzgarları için bozucu etki yaratacak pürüzlülük elemanlarının bulunabileceği söylenebilir.

Çizelge 4.21 : Sektör 5 (120°)’te her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddeti, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	8.3	2.49	4.82	7.38	281.246	120.932	43.00
Türbin 2	9.0	2.49	4.89	8.02	335.354	156.997	46.82
Türbin 3	8.6	2.49	4.82	7.63	300.558	148.719	49.48
Türbin 4	8.3	2.49	4.90	7.32	280.355	122.014	43.52
Türbin 5	8.4	2.48	4.97	7.41	291.886	110.822	37.97
Türbin 6	8.3	2.48	4.98	7.38	290.559	76.150	26.21
Türbin 7	8.2	2.49	4.93	7.31	281.555	105.026	37.30
Türbin 8	7.3	2.72	3.88	6.51	166.426	83.279	50.04
Türbin 9	7.0	2.72	3.70	6.27	143.188	52.421	36.61
Türbin 10	7.7	2.67	3.72	6.85	181.215	44.047	24.31
Türbin 11	7.9	2.67	3.74	6.98	190.365	40.595	21.33
Türbin 12	8.0	2.72	3.83	7.12	203.608	80.149	39.36
Türbin 13	7.4	2.72	3.64	6.59	160.165	99.210	61.94
Türbin 14	8.7	2.65	4.24	7.72	269.482	248.193	92.10
Türbin 15	8.7	2.46	5.06	7.74	324.621	210.645	64.89
Türbin 16	8.3	2.47	4.89	7.35	282.436	220.339	78.01
Türbin 17	8.3	2.47	4.96	7.40	290.629	249.613	85.89
Türbin 18	7.2	2.74	3.87	6.45	161.310	120.411	74.65
Türbin 19	8.5	2.61	4.81	7.57	294.109	262.613	89.29
Türbin 20	8.3	2.66	4.20	7.39	243.243	236.117	97.07
Türbin 21	8.7	2.70	3.81	7.72	242.021	196.952	81.38
Türbin 22	8.3	2.71	3.68	7.40	213.420	213.420	100.00
Toplam	-	-	-	-	5427.747	3198.663	58.93

4.7.6 Sektör 6 (150°) analizi

Çizelge 4.22’de sonuçları verilen, Sektör 6 (150o) için yapılan hesaplamalar sonucunda, c ölçek parametresinin 3.9 m/s ile 6.3 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değer 6.3 m/s ile türbin 2 ve türbin 3’te, en düşük değer ise 3.9 m/s ile türbin 9’da hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.77 ile 2.04 arasında değiştiği, en yüksek değer 2.04 ile türbin 6’da, en düşük değer ise 1.77 ile türbin 2, türbin 5, türbin 16 ve türbin 17’de hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 3.46 m/s ile 5.60 m/s arasında değiştiği, en yüksek değer 5.60 m/s ile türbin 2’de, en düşük değer ise 3.46 m/s ile türbin 9’da hesaplandığı, üretilen enerjinin 11.279 MWh ile 70.729 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 70.729 MWh ile türbin 3’te, en düşük üretim değerinin ise 11.279 MWh ile türbin 8’de hesaplandığı görülmüştür. Sektör 6 (150o) için toplam verim hesaplamalar sonucunda %86.97 olarak bulunsada, toplamda 873.867 MWh gibi bir enerji üretiminin olması bölgenin bu sektörden kuvvetli rüzgarlar almadığı yorumunun yapılmasına olanak sağlar.

Çizelge 4.22 : Sektör 6 (150°)’da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	5.9	1.78	2.36	5.24	69.505	49.108	70.65
Türbin 2	6.3	1.77	2.34	5.60	80.985	60.409	74.59
Türbin 3	6.3	1.79	2.46	5.57	83.825	70.729	84.38
Türbin 4	5.9	1.78	2.41	5.21	70.252	64.803	92.24
Türbin 5	5.8	1.77	2.38	5.17	68.082	56.623	83.17
Türbin 6	4.1	2.04	1.95	3.66	17.294	11.958	69.15
Türbin 7	4.1	2.03	1.93	3.62	16.579	12.466	75.19
Türbin 8	4.1	2.03	1.92	3.60	16.074	11.279	70.17
Türbin 9	3.9	2.03	1.82	3.46	13.169	11.516	87.45
Türbin 10	4.2	2.03	1.80	3.76	17.645	13.979	79.23
Türbin 11	4.4	2.03	1.80	3.86	19.516	12.553	64.32
Türbin 12	4.7	1.97	1.94	4.16	27.686	19.938	72.01
Türbin 13	4.7	1.92	2.02	4.19	30.286	28.683	94.71
Türbin 14	5.6	1.91	2.22	4.99	55.432	48.656	87.78
Türbin 15	6.0	1.78	2.42	5.33	74.298	68.889	92.72
Türbin 16	5.7	1.77	2.31	5.06	62.516	50.573	80.90
Türbin 17	5.8	1.77	2.36	5.13	66.134	66.134	100.00
Türbin 18	5.7	1.78	2.40	5.08	65.630	65.630	100.00
Türbin 19	5.1	1.95	2.30	4.50	42.070	42.070	100.00
Türbin 20	4.8	2.00	2.10	4.27	32.132	32.132	100.00
Türbin 21	5.0	1.99	1.86	4.44	32.193	32.193	100.00
Türbin 22	5.4	1.92	1.99	4.76	43.546	43.546	100.00
Toplam	-	-	-	-	1004.848	873.867	86.97

4.7.7 Sektör 7 (180°) analizi

Sektör 7 (180°) için yapılan ve Çizelge 4.23’de sonuçları gösterilen hesaplamalara göre, Sektör 7 (180°) için, c ölçek parametresinin 5.8 m/s ile 7.3 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 7.3 m/s ile türbin 19’da, en düşük değerin ise 5.8 m/s ile türbin 11’de hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.97 ile 2.09 arasında değiştiği, en yüksek değerin 2.09 ile türbin 11, türbin 12 ve türbin 21’de, en düşük değerin ise 1.97 ile türbin 19’da hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 5.15 m/s ile 6.49 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 6.49 m/s ile türbin 19’da, en düşük değerin ise 5.15 m/s ile türbin 11’de hesaplandığı, üretilen enerjinin 66.093 MWh ile 202.377 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 202.377 MWh ile türbin 19’da, en düşük üretim değerinin ise 66.093 MWh ile türbin 9’da hesaplandığı görülmüştür. Toplam verimi %92.00 olarak hesaplanan Sektör 7 (180°) için en düşük verim % 63.86 ile en türbin 3’te hesaplanırken, sektörden toplam 2325.22 MWh enerji üretileceği tespit edilmiştir. Sektör 7 (180°)’nin güneyli rüzgarları ifade etmesi sebebiyle mikrokonuşlandırma çalışmasında ikinci sıraya yerleştirilen türbinlerin %100 verimle çalıştığı, ilk sıradaki bazı türbin verimlerinin ise düştüğü görülmektedir. Bölgenin bu sektörden de kuvvetli rüzgarı almadığı söylenebilir.

Çizelge 4.23 : Sektör 7 (180°)’de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	6.2	2.05	3.39	5.47	103.523	103.523	100.00
Türbin 2	6.6	2.06	3.36	5.85	121.055	83.148	68.69
Türbin 3	6.5	2.05	3.46	5.73	118.831	75.888	63.86
Türbin 4	6.1	2.06	3.41	5.39	100.208	74.967	74.81
Türbin 5	6.0	2.06	3.37	5.34	96.704	96.704	100.00
Türbin 6	6.0	2.06	3.39	5.34	96.747	83.307	86.11
Türbin 7	6.0	2.06	3.38	5.31	95.527	70.311	73.60
Türbin 8	6.0	2.05	3.39	5.28	94.431	93.630	99.15
Türbin 9	5.9	2.03	3.31	5.20	89.156	66.093	74.13
Türbin 10	6.3	2.04	3.22	5.56	102.806	93.748	91.19
Türbin 11	5.8	2.09	3.88	5.15	99.770	99.770	100.00
Türbin 12	6.1	2.09	4.05	5.43	120.100	116.183	96.74
Türbin 13	6.0	2.08	4.06	5.31	113.777	93.307	82.01
Türbin 14	7.0	2.05	4.61	6.19	189.790	189.790	100.00
Türbin 15	6.1	2.06	3.27	5.39	95.767	95.767	100.00
Türbin 16	5.9	2.06	3.27	5.23	88.620	88.620	100.00
Türbin 17	6.0	2.06	3.32	5.28	91.891	91.891	100.00
Türbin 18	6.0	2.06	3.43	5.30	96.544	96.544	100.00
Türbin 19	7.3	1.97	4.38	6.49	202.377	202.377	100.00
Türbin 20	6.2	2.05	4.23	5.51	131.749	131.749	100.00
Türbin 21	6.6	2.09	3.77	5.83	134.063	134.063	100.00
Türbin 22	6.7	2.08	3.89	5.92	143.843	143.843	100.00
Toplam	-	-	-	-	2527.282	2325.222	92.00

4.7.8 Sektör 8 (210^o) analizi

Çizelge 4.24’de sonuçları verilen, Sektör 8 (210o) için yapılan hesaplamalar sonucunda, c ölçek parametresinin 8.2 m/s ile 9.9 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değer 9.9 m/s ile türbin 12’de, en düşük değerin ise 8.2 m/s ile türbin 20’de hesaplandığı, k şekil parametresinin 2.17 ile 2.26 arasında değiştiği, en yüksek değerin 2.26 ile türbin 20’de, en düşük değerin ise 2.17 ile türbin 10, türbin 11 ve türbin 13’de hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 7.27 m/s ile 8.77 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 8.77 m/s ile türbin 12’de, en düşük değerin ise 7.27 m/s ile türbin 20’de hesaplandığı, üretilen enerjinin 817.771 MWh ile 1354.145 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 1354.145 MWh ile türbin 21’de, en düşük üretim değerinin ise 817.771 MWh ile türbin 5’de hesaplandığı görülmüştür. Sektör 8 (210o) için toplam verim %95.20 olarak hesaplanmıştır. Gerek ortalama rüzgar hızları gerekse enerji üretim değerleri açısından bakıldığında Sektör 8 (210o)’in bölge için önem taşıdığını söylemek mümkündür.

Çizelge 4.24 : Sektör 8 (210^o)’de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	9.1	2.19	15.22	8.07	1054.776	1054.776	100.00
Türbin 2	9.7	2.19	15.07	8.61	1158.190	956.260	82.56
Türbin 3	9.4	2.19	15.34	8.35	1122.702	1108.112	98.70
Türbin 4	8.9	2.19	15.19	7.87	1007.987	915.868	90.86
Türbin 5	8.8	2.19	15.00	7.81	980.990	817.771	83.36
Türbin 6	8.8	2.19	15.08	7.80	985.422	985.422	100.00
Türbin 7	8.8	2.19	15.15	7.83	995.357	983.526	98.81
Türbin 8	8.9	2.19	15.32	7.85	1011.942	826.626	81.69
Türbin 9	9.1	2.18	15.56	8.03	1067.493	1067.493	100.00
Türbin 10	9.7	2.17	14.99	8.60	1147.685	1044.885	91.04
Türbin 11	9.7	2.17	14.88	8.60	1138.786	995.342	87.40
Türbin 12	9.9	2.18	15.47	8.77	1222.102	1198.258	98.05
Türbin 13	9.7	2.17	15.94	8.63	1227.617	1227.617	100.00
Türbin 14	9.0	2.25	18.06	7.96	1221.469	1010.931	82.76
Türbin 15	8.9	2.19	14.53	7.86	960.517	960.517	100.00
Türbin 16	8.8	2.19	14.65	7.77	950.227	950.227	100.00
Türbin 17	8.7	2.19	14.78	7.75	953.715	953.715	100.00
Türbin 18	8.8	2.19	15.34	7.77	995.789	995.789	100.00
Türbin 19	9.2	2.19	14.20	8.13	994.862	994.862	100.00
Türbin 20	8.2	2.26	17.11	7.27	975.305	975.305	100.00
Türbin 21	9.6	2.24	17.90	8.51	1354.145	1354.145	100.00
Türbin 22	9.7	2.24	18.37	8.55	1400.463	1400.463	100.00
Toplam	-	-	-	-	23927.538	22777.907	95.20

4.7.9 Sektör 9 (240°) analizi

Sektör 9 (240°) için yapılan ve Çizelge 4.25’de sonuçları gösterilen hesaplamalara göre, c ölçek parametresinin 6.8 m/s ile 9.0 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 9.0 m/s ile türbin 11’de, en düşük değerin ise 6.8 m/s ile türbin 20’de hesaplandığı, k şekil parametresinin 2.04 ile 2.07 arasında değiştiği, en yüksek değerin 2.07 ile türbin 14, türbin 15 ve türbin 20’de, en düşük değerin ise 2.04 ile türbin 13’te hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 6.06 m/s ile 7.94 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 7.94 m/s ile türbin 11’de, en düşük değerin ise 6.06 m/s ile türbin 20’de hesaplandığı, üretilen enerjinin 241.477 MWh ile 606.145 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 606.145 MWh ile türbin 11’de, en düşük üretim değerinin ise 241.477 MWh ile türbin 14’de hesaplandığı görülmüştür. Toplam verimi %93.38 olarak hesaplanan Sektör 9 (240°) için en düşük verim % 73.09 ile türbin 3’de hesaplanırken, sektörden toplam 9778.807 MWh enerji üretileceği tespit edilmiştir. Bu değerler ışığında bakıldığında, Sektör 8 (210°) kadar olmasa da bu sektörün de çalışma alanının enerji üretim potansiyeli açısından önemli olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.25 : Sektör 9 (240°)’da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	8.1	2.06	8.81	7.17	493.078	493.078	100.00
Türbin 2	8.7	2.06	8.89	7.71	568.711	568.711	100.00
Türbin 3	8.3	2.06	8.62	7.31	501.308	366.383	73.09
Türbin 4	7.9	2.06	8.73	6.98	463.937	378.231	81.53
Türbin 5	7.9	2.06	8.86	7.01	474.714	435.641	91.77
Türbin 6	7.9	2.06	8.89	6.99	474.457	403.603	85.07
Türbin 7	7.9	2.06	8.90	7.00	476.217	432.597	90.84
Türbin 8	7.9	2.06	9.07	7.04	490.101	478.066	97.54
Türbin 9	8.1	2.05	9.21	7.16	514.763	438.607	85.21
Türbin 10	8.9	2.06	9.73	7.91	649.389	593.847	91.45
Türbin 11	9.0	2.06	9.64	7.94	648.364	606.145	93.49
Türbin 12	8.7	2.05	8.84	7.74	569.679	507.770	89.13
Türbin 13	8.4	2.04	8.60	7.41	512.237	443.697	86.62
Türbin 14	7.0	2.07	5.94	6.19	244.383	241.477	98.81
Türbin 15	8.1	2.07	9.01	7.22	511.105	511.105	100.00
Türbin 16	8.1	2.06	9.31	7.14	517.793	517.793	100.00
Türbin 17	8.0	2.06	9.04	7.05	489.565	489.565	100.00
Türbin 18	7.8	2.06	8.87	6.90	461.267	461.267	100.00
Türbin 19	8.2	2.06	8.37	7.30	485.098	485.098	100.00
Türbin 20	6.8	2.07	6.27	6.06	245.971	245.971	100.00
Türbin 21	8.0	2.06	6.74	7.06	366.637	366.637	100.00
Türbin 22	7.6	2.06	6.32	6.74	313.517	313.517	100.00
Toplam	-	-	-	-	10472.290	9778.807	93.38

4.7.10 Sektör 10 (270°) analizi

Yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.26'dan da görüleceği gibi, Sektör 10 (270°) için, c ölçek parametresinin 5.4 m/s ile 7.0 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 7.0 m/s ile türbin 19'da, en düşük değerin ise 5.4 m/s ile türbin 14'te hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.97 ile 2.12 arasında değiştiği, en yüksek değerin 2.12 ile türbin 14'te, en düşük değerin ise 1.97 ile türbin 15 ve türbin 19'da hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 4.78 m/s ile 6.21 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 6.21 m/s ile türbin 19'da, en düşük değerin ise 4.78 m/s ile türbin 14'te hesaplandığı, üretilen enerjinin 40.137 MWh ile 173.536 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 173.536 MWh ile türbin 19'da, en düşük üretim değerinin ise 40.137 MWh ile türbin 9'da hesaplandığı görülmüştür. Sektörde toplam verim %77.07, toplam enerji üretimi ise 1886.375 MWh olarak hesaplanmıştır. Sektör 10 (270°)'da ortalama rüzgar hızları genelde 5.5 m/s'nin altında kaldığından enerji üretim değerinin düşük olduğu yorumu yapılabilir.

Çizelge 4.26 : Sektör 10 (270°)'da her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	6.2	1.99	3.57	5.45	109.625	109.625	100.00
Türbin 2	6.7	1.99	3.61	5.91	135.373	131.783	97.35
Türbin 3	6.3	1.99	3.50	5.57	113.366	87.908	77.54
Türbin 4	6.0	1.99	3.57	5.35	104.541	65.754	62.90
Türbin 5	6.1	1.99	3.63	5.42	109.985	72.619	66.03
Türbin 6	6.1	1.99	3.64	5.40	109.459	74.065	67.66
Türbin 7	6.1	1.99	3.63	5.38	107.689	70.011	65.01
Türbin 8	6.1	1.99	3.66	5.37	108.275	62.461	57.69
Türbin 9	6.0	1.98	3.60	5.30	103.232	76.096	73.71
Türbin 10	6.6	1.98	3.73	5.89	138.598	66.854	48.24
Türbin 11	6.7	1.98	3.72	5.95	141.732	46.241	32.63
Türbin 12	6.6	1.99	3.55	5.85	129.700	90.942	70.12
Türbin 13	6.1	1.99	3.39	5.43	103.369	40.137	38.83
Türbin 14	5.4	2.12	2.79	4.78	57.435	42.492	73.98
Türbin 15	6.5	1.97	3.93	5.79	140.689	140.689	100.00
Türbin 16	6.2	1.99	3.72	5.49	116.400	116.400	100.00
Türbin 17	6.2	1.99	3.72	5.48	115.932	115.932	100.00
Türbin 18	6.0	1.99	3.61	5.28	102.517	99.414	96.97
Türbin 19	7.0	1.97	4.17	6.21	175.178	173.536	99.06
Türbin 20	5.6	2.08	3.14	4.92	71.521	69.048	96.54
Türbin 21	6.0	2.09	3.00	5.33	85.105	69.192	81.30
Türbin 22	5.7	2.09	2.82	5.03	68.009	65.175	95.83
Toplam	-	-	-	-	2447.731	1886.375	77.07

4.7.11 Sektör 11 (300^o) analizi

Çizelge 4.27’de sonuçları verilen, Sektör 11 (300o) için yapılan hesaplamalar sonucunda, c ölçek parametresinin 5.6 m/s ile 6.7 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 6.7 m/s ile türbin 19’da, en düşük değerin ise 5.6 m/s ile türbin 18’de hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.73 ile 1.82 arasında değiştiği, en yüksek değerin 1.82 ile türbin 22, en düşük değerin ise 1.73 ile türbin 10 ve türbin 11’de, hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 4.83 m/s ile 6.00 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 6.00 m/s ile türbin 19’da, en düşük değerin ise 4.83 m/s ile türbin 9’da hesaplandığı, üretilen enerjinin 13.480 MWh ile 102.885 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 102.885 MWh ile türbin 19’de, en düşük üretim değerinin ise 13.480 MWh ile türbin 13’te hesaplandığı görülmüştür. Sektör 8 (210o) için toplam verim %57.12 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre yıllık 1949.199 MWh’lik potansiyeli bulunan bu sector için verimin de düşük olması, beraberinde enerji üretim değerinin de düşük olması sonucunu doğurmuştur.

Çizelge 4.27 : Sektör 11 (300^o)’de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	5.8	1.81	2.86	5.14	79.583	79.583	100.00
Türbin 2	6.3	1.80	2.92	5.59	99.917	68.531	68.59
Türbin 3	6.0	1.81	2.86	5.31	86.300	43.080	49.92
Türbin 4	5.7	1.81	2.91	5.09	79.037	38.441	48.64
Türbin 5	5.8	1.80	2.97	5.18	84.625	42.506	50.23
Türbin 6	5.8	1.80	2.98	5.16	83.833	34.482	41.13
Türbin 7	5.7	1.81	2.94	5.10	80.100	20.516	25.61
Türbin 8	5.7	1.80	2.94	5.06	78.882	17.315	21.95
Türbin 9	5.4	1.81	2.77	4.83	65.700	32.610	49.64
Türbin 10	6.1	1.73	2.93	5.47	96.905	52.727	54.41
Türbin 11	6.2	1.73	2.95	5.57	101.264	36.615	36.16
Türbin 12	6.2	1.81	2.84	5.49	92.949	16.953	18.24
Türbin 13	5.7	1.81	2.70	5.07	72.578	13.480	18.57
Türbin 14	5.8	1.81	2.98	5.16	83.834	39.113	46.66
Türbin 15	6.2	1.74	3.15	5.54	106.971	106.121	99.21
Türbin 16	5.9	1.74	3.04	5.26	91.215	61.659	67.60
Türbin 17	5.9	1.76	3.03	5.24	89.825	70.965	79.00
Türbin 18	5.6	1.81	2.93	5.01	76.405	54.186	70.92
Türbin 19	6.7	1.81	3.39	6.00	135.441	102.885	75.96
Türbin 20	6.0	1.76	3.26	5.31	99.674	71.396	71.63
Türbin 21	6.1	1.80	2.85	5.41	90.175	64.684	71.73
Türbin 22	5.8	1.82	2.69	5.12	73.985	45.445	61.42
Toplam	-	-	-	-	1949.199	1113.295	57.12

4.7.12 Sektör 12 (330°) analizi

Sektör 12 (330°) için yapılan ve Çizelge 4.28’de sonuçları gösterilen hesaplamalara göre, c ölçek parametresinin 7.5 m/s ile 9.6 m/s arasında değişim gösterdiği, en yüksek değerin 9.6 m/s ile türbin 19’da, en düşük değerin ise 7.5 m/s ile türbin 9’da hesaplandığı, k şekil parametresinin 1.59 ile 1.73 arasında değiştiği, en yüksek değerin 1.73 ile türbin 20’de, en düşük değerin ise 1.59 ile türbin 13’te hesaplandığı, rüzgar şiddeti ortalamasının 6.76 m/s ile 8.56 m/s arasında değiştiği, en yüksek değerin 8.56 m/s ile türbin 19’da, en düşük değerin ise 6.76 m/s ilce türbin 9’da hesaplandığı, üretilen enerjinin 224.659 MWh ile 396.945 MWh arasında değiştiği, en yüksek üretim değerinin 396.945 MWh ile türbin 19’da, en düşük üretim değerinin ise 224.659 MWh ile türbin 17’de hesaplandığı görülmüştür. Toplam verimi %93.19 olarak hesaplanan Sektör 12 (330°) için en düşük verim % 75.17 ile türbin 17’de hesaplanırken, sektörden toplam 6523.235 MWh enerji üretileceği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.28 : Sektör 12 (330°)’de her bir türbin için ölçek parametresi, şekil parametresi, ortalama şiddet, üretim ve verim değerleri.

Türbin Numarası	c [m/s]	k	Frek. [%]	V [m/s]	MWh (potansiyel)	MWh (üretilen)	Verim [%]
Türbin 1	8.1	1.60	5.24	7.23	297.650	297.650	100.00
Türbin 2	8.7	1.60	5.28	7.80	334.456	334.456	100.00
Türbin 3	8.4	1.60	5.30	7.54	320.283	319.959	99.90
Türbin 4	8.0	1.60	5.33	7.18	299.158	299.158	100.00
Türbin 5	8.0	1.60	5.36	7.21	302.821	302.821	100.00
Türbin 6	8.0	1.60	5.37	7.19	302.614	301.830	99.74
Türbin 7	7.9	1.60	5.32	7.12	295.510	284.496	96.27
Türbin 8	7.9	1.60	5.31	7.04	289.757	277.554	95.79
Türbin 9	7.5	1.60	5.04	6.76	257.498	257.498	100.00
Türbin 10	8.1	1.60	4.97	7.29	286.354	285.647	99.75
Türbin 11	8.3	1.60	4.99	7.40	293.498	282.691	96.32
Türbin 12	8.7	1.60	5.23	7.76	329.018	301.083	91.51
Türbin 13	8.2	1.59	5.08	7.34	294.986	278.213	94.31
Türbin 14	8.4	1.70	6.24	7.50	378.018	378.018	100.00
Türbin 15	8.4	1.62	5.51	7.52	332.606	282.353	84.89
Türbin 16	7.9	1.60	5.20	7.05	283.828	226.078	79.65
Türbin 17	8.0	1.60	5.33	7.16	298.880	224.659	75.17
Türbin 18	7.9	1.60	5.36	7.05	292.789	242.448	82.81
Türbin 19	9.6	1.64	6.36	8.56	455.596	396.945	87.13
Türbin 20	8.3	1.73	6.50	7.36	382.301	306.617	80.20
Türbin 21	8.4	1.70	5.61	7.54	341.877	314.436	91.97
Türbin 22	8.3	1.69	5.54	7.44	330.163	328.624	99.53
Toplam	-	-	-	-	6999.662	6523.235	93.19

4.8 Bölgenin kapasite faktörü

Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemede en önemli parametrelerden biri olan kapasite faktörü, bir rüzgar enerjisi santralının ürettiği enerjinin nominal güçte üretmesi gereken enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır [41].(4.1)

$$C_F = \frac{E_T}{T.P_R} \quad (4.1)$$

Denklemden CF kapasite faktörünü, ET üretilen toplam enerjiyi, PR nominal güç değerini T ise zamanı ifade etmektedir.

Mikrokonuşlandırma ve türbin seçimi çalışmaları sırasında kullanılan bütün türbin ve oluşturulan tüm mikrokonuşlandırmalar için kapasite faktörü hesaplanmıştır. Mikrokonuşlandırma çalışmalarının ilk aşamasında oluşturulan 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini için yıllık hesaplanan üretim miktarı, türbinlerden üretilebilecek maksimum üretim miktarı ve kapasite faktörü çizelge 4.29'da gösterilmiştir. 30 adet 1.5 MW'lık türbin nominal güçte 8760 saat çalışması durumunda yılda maksimum 394.200 GWh enerji üretebilir. WASP programında yapılan hesaplamalar sonucunda 30 adet 1.5 MW'lık türbin ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralının yılda 115.126 GWh enerji üreteceği ve kapasite faktörünün %29.20 olarak gerçekleşeceği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.29 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü.

Türbin Modeli	Türbin Sayısı	Kurulu Güç [MW]	Yıllık Hesaplanan Üretim Miktarı [GWh]	Nominal Güçte Üretilabilecek Enerji [GWh]	Kapasite Faktörü [%]
VESTAS V63	30	45	115.126	394.200	29.20

Mikrokonuşlandırma çalışmalarından ikincisi olan ve 22 adet 2.0 MW'lık VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar santralının yılda 142.813 GWh enerji üreteceği hesaplanmıştır. Teorik olarak 22 adet 2.0 MW'lık türbin nominal güçte 8760 saat çalışması durumunda yılda maksimum 385.440 GWh enerji üretebilir. 4.1 formülüne göre yapılan hesaplamayla 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite

faktörü %37.05 olarak bulunmuştur. 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini için yıllık hesaplanan üretim miktarı, türbinlerden üretilebilecek maksimum üretim miktarı ve kapasite faktörü çizelge 4.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.30 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü.

Türbin Modeli	Türbin Sayısı	Kurulu Güç [MW]	Yıllık Hesaplanan Üretim Miktarı [GWh]	Nominal Güçte Üretilabilecek Enerji [GWh]	Kapasite Faktörü [%]
VESTAS V80	22	44	142.813	385.440	37.05

Son mikrokonuşlandırma çalışmasında kullanılan 22 adet 1.5 MW'lık VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan 33 MW kurulu gücündeki rüzgar santralinin yılda 100.971 GWh enerji üreteceği hesaplanmıştır. 22 adet 1.5 MW'lık türbin nominal güçte 8760 saat çalışması durumunda yılda maksimum 289.080 GWh enerji üretebilir. 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü %34.92 olarak bulunmuştur. 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini için yıllık hesaplanan üretim miktarı, türbinlerden üretilebilecek maksimum üretim miktarı ve kapasite faktörü çizelge 4.31'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için bölgenin kapasite faktörü.

Türbin Modeli	Türbin Sayısı	Kurulu Güç [MW]	Yıllık Hesaplanan Üretim Miktarı [GWh]	Nominal Güçte Üretilebilecek Enerji [GWh]	Kapasite Faktörü [%]
VESTAS V63	22	33	100.917	289.080	34.92

5. MALİYET ANALİZİ

5.1 Kurulum Maliyeti

Yeryüzündeki bütün enerji kaynaklarının elektrik enerjisine dönüştürülmesi kullanılan kaynağın zenginliğine, kendine özgü özellikleri ve cinsine göre değişim göstermektedir. Özellikle elektrik üretimi için günümüze kadar çok detaylı fiyat/maliyet analizleri yapılmış ve toplam maliyeti en düşük olan enerji kaynağı belirlenmeye çalışılmıştır [42].

Bir enerji türünü fiyat / maliyet açısından değerlendirilebilmesi için, o enerji türüne ait yapılacak harcamaların tamamının bilinmesi, analiz edilmesi ve değerlendirmenin elde edilen sonuçlara göre yapılması gerekmektedir.

Rüzgar enerjisinin maliyetini belirlemede dikkate alınması gereken temel parametreler;

- ✓ Türbin maliyetleri
- ✓ Türbin kurulum maliyetleri
- ✓ Sermaye maliyetleri
- ✓ İşletme ve bakım maliyetleri
- ✓ Proje geliştirme ve planlama maliyetleri
- ✓ Türbinlerin ömrü
- ✓ Elektrik üretimi ve enerji kayıpları

olarak gösterilebilir.

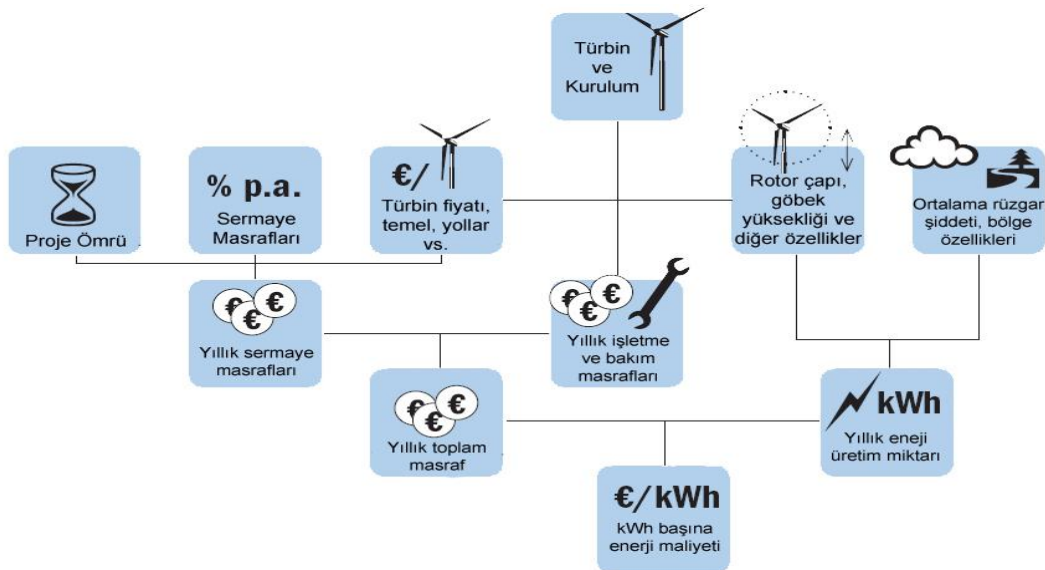
Günümüz şartlarında 2.0 MW'lık bir türbin için kurulum maliyet yapısı incelendiğinde, harcamaların %75.6'sının türbinin kendisi, %8.9'unun şebeke bağlantısı masrafları, %6.5'inin temel ve kurulum masrafları, %3.9'unun arazi kiralari, %1.5'inin elektrik tesisatı, %1.2'sinin müşavirlik hizmetleri, %1.2'sinin

finansman masrafları, %0.9'unun şantiye içi yol yapım masrafları ve %0.3'ünün kontrol sistemleri tarafından oluşturulduğu görülmektedir. Çizelge 5.1'de 2.0 MW'lık bir türbinin kurulumu sırasında oluşabilecek harcamaların oransal dağılımı gösterilmiştir [43].

Çizelge 5.1 : 2.0 MW'lık bir türbinin kurulumu sırasında oluşabilecek harcamaların oransal dağılımı.

	Toplam Maliyetteki Oranı [%]
Türbin	75.6
Şebeke bağlantısı	8.9
Temel ve kurulum	6.5
Arazi kiralari	3.9
Elektrik tesisati	1.5
Müşavirlik	1.2
Finansman	1.2
Yol yapımı	0.9
Kontrol sistemleri	0.3
Toplam	100.0

Genel olarak bir rüzgar enerjisi projesinin kWh başına maliyeti, yıllık toplam masrafın yıllık enerji üretim miktarına oranlanmasıyla bulunur. Yıllık enerji üretim miktarı kullanılan türbinin göbek yüksekliği, rotor çapı, bölgenin ortalama rüzgar şiddeti gibi parametrelerle değişirken, yıllık masraf ise türbin fiyatı, türbin temelleri, şantiye içi yol yapım masrafları, sermaye masrafları ve proje ömrü ile ilişkilendirilebilir. Şekil 5.1'de rüzgar enerjisi projeleri için kWh başına maliyet oluşumu gösterilmiştir [43].



Şekil 5.1 : Rüzgar enerjisi projeleri için kWh başına maliyet oluşumu.

Tez çalışmasının bu bölümünde yapılan maliyet analizinde yatırım harcamaları;

- ✓ İzin ve hazırlık aşaması masrafları
- ✓ Türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri
- ✓ Şantiye giderleri
- ✓ Trafo, şalt merkezi, enerji nakil hattı masrafları
- ✓ İnşaat işleri masrafları (şantiye içi yollar, temeller, vinç kiralari vb.)
- ✓ Sigorta, banka, komisyon, müşavirlik giderleri
- ✓ Öngörülemeyen giderler

olmak üzere 7 ayrı başlık altında toplanmıştır. Analizlerde çeşitli firmaların tecrübelerinden ve çalışmalarından yararlanılmıştır.

Mikrokonuslandırma çalışmalarının ilk aşamasında oluşturulan 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini için oluşturulan yatırım harcamaları bilgileri çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için yatırım harcamaları.

Açıklama	Yatırım harcaması [€]
İzin ve hazırlık aşaması masrafları	1.000.000
Türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri	51.000.000
Şantiye giderleri	1.000.000
Trafo, şalt merkezi, enerji nakil hattı	4.500.000
İnşaat işleri masrafları	10.000.000
Sigorta, banka, komisyon, müşavirlik giderleri.	400.000
Öngörülemeyen giderler	1.000.000
Toplam	68.900.000

Çizelge 5.2'de gösterilen değerlerden, türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri her bir türbin için 1.700.000 € olarak, inşaat işleri masrafları ise, şantiye içi yollar için 1.000.000 € ve her bir türbinde 300.000 € olmak üzere 30 adet türbinin temel inşaatı için 9.000.000 €'luk bedelin toplamı, 10.000.000 € olarak hesaplanmıştır. Şalt tesisi, trafo merkezi, açıcılar, kesiciler, enerji nakil hattı ve

şebeke tarafındaki feeder donatımı gibi alt bileşenlerden oluşan trafo,şalt merkezi, enerji nakil hattı giderleri için ise 4.500.000 €'luk yatırım harcaması hesaplanmıştır. İzin ve hazırlık aşaması masrafları, şantiye giderleri ve yatırım süresince oluşabilecek öngörülemeyen giderler 1.000.000 €, sigorta, banka, komisyon ve müşavirlik giderleri ise 400.000 € olarak öngörülmüştür.

Mikrokonuslandırma çalışmalarından ikincisi olan ve 22 adet 2.0 MW'lık VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için oluşturulan yatırım harcamaları bilgileri çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için yatırım harcamaları.

Açıklama	Yatırım harcaması [€]
İzin ve hazırlık aşaması masrafları	1.000.000
Türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri	47.300.000
Şantiye giderleri	1.000.000
Trafo, şalt merkezi, enerji nakil hattı	4.400.000
İnşaat işleri masrafları	7.600.000
Sigorta, banka, komisyon, müşavirlik giderleri.	400.000
Öngörülemeyen giderler	1.000.000
Toplam	62.700.000

Çizelge 5.3'te gösterilen değerlerden, türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri her bir türbin için 2.150.000 € olarak, inşaat işleri masrafları ise, şantiye içi yollar için 1.000.000 € ve her bir türbinde 300.000 € olmak üzere 22 adet türbinin temel inşaatı için 6.600.000 €'luk bedelin toplamı, 7.600.000 € olarak hesaplanmıştır. Şalt tesisi, trafo merkezi, açıcılar, kesiciler, enerji nakil hattı ve şebeke tarafındaki feeder donatımı gibi alt bileşenlerden oluşan trafo, şalt merkezi, enerji nakil hattı giderleri için ise 4.400.000 €'luk yatırım harcaması hesaplanmıştır. 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için hesaplanan yatırım harcamalarına benzer olarak, izin ve hazırlık aşaması masrafları, şantiye giderleri ve yatırım süresince oluşabilecek öngörülemeyen giderler 1.000.000 €, sigorta, banka, komisyon ve müşavirlik giderleri ise 400.000 € olarak öngörülmüştür.

Son mikrokonuslandırma çalışmasında kullanılan 22 adet 1.5 MW'lık VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan 33 MW kurulu gücündeki rüzgar santrali için oluşturulan yatırım harcamaları bilgileri çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için yatırım harcamaları.

Açıklama	Yatırım harcaması [€]
İzin ve hazırlık aşaması masrafları	1,000,000
Türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri	37,400,000
Şantiye giderleri	1,000,000
Trafo,şalt merkezi, enerji nakil hattı	3,300,000
İnşaat işleri masrafları	7,600,000
Sigorta, banka, komisyon, müşavirlik giderleri.	400,000
Öngörülemeyen giderler	1,000,000
Toplam	51,700,000

Çizelge 5.4'te gösterilen değerlerden, türbin ekipman alım, nakliye ve montaj giderleri her bir türbin için 1.700.000 € olarak, inşaat işleri masrafları ise, şantiye içi yollar için 1.000.000 € ve her bir türbinde 300.000 € olmak üzere 22 adet türbinin temel inşaatı için 6.600.000 €'luk bedelin toplamı, 7.600.000 € olarak hesaplanmıştır. Şalt tesisi, trafo merkezi, açıcılar, kesiciler, enerji nakil hattı ve şebeke tarafındaki feeder donatımı gibi alt bileşenlerden oluşan trafo, şalt merkezi, enerji nakil hattı giderleri için ise 3.300.000 €'luk yatırım harcaması hesaplanmıştır. Diğer iki mikrokonuslandırma çalışması için hesaplanan yatırım harcamalarına benzer olarak, izin ve hazırlık aşaması masrafları, şantiye giderleri ve yatırım süresince oluşabilecek öngörülemeyen giderler 1.000.000 €, sigorta, banka, komisyon ve müşavirlik giderleri ise 400.000 € olarak öngörülmüştür.

5.2 Nakit akışı ve geri ödeme süresi

Tez çalışmasının bu bölümünde, daha önce yatırım maliyetleri hesaplanan mikrokonuslandırma çalışmalarının geri ödeme süreleri karşılaştırılmıştır. Geri ödeme sürelerinin karşılaştırması sırasında her bir mikrokonuslandırma çalışması için hesaplanan yıllık enerji üretim değerleri, elektrik satış fiyatı ile çarpılarak yıllık elde edilecek elektrik satış geliri ve yıllık enerji üretim değerlerine bağlı olarak yıllık emisyon satış değerleri hesaplanmış, daha sonra türbin yeri kira bedelleri, bakım

onarım giderleri, işçilik ve yönetim giderleri toplanarak işletme giderleri bulunmuş ve 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek nakit akış tabloları oluşturulmuştur. Kredi masrafları ise kredi miktarının %2'si olarak hesaba dahil edilmiştir.

Çalışmada elektrik satış fiyatı olarak, 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” kapsamında belirtilen en yüksek fiyat olan 5.5 ¢cent/kWh ve rüzgar enerjisi sektör temsilcilerinin talep ettiği ve rüzgardan üretilen elektriğin kWh'si için ödenmesi gerektiğini düşündüğü 8.5 ¢cent/kWh'lik iki bedel ele alınmış ve hesaplamalar bu iki değer için yapılmıştır.

Mikrokonuslandırma çalışmalarının ilk aşamasında 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için yıllık 115.126 GWh enerji üretimi hesaplanmıştır. Bu durumda yıllık gelir, 5.5 ¢cent/kWh'lik elektrik satış fiyatı için 6.331.930 €, 8.5 ¢cent/kWh'lik elektrik satış fiyatı için 9.785.710 € olarak hesaplanmıştır. 115.126 GWh'lik enerji üretimi için emisyon satış geliri de yıllık 250.399 € olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.5'te 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için kurulum maliyeti, emisyon satış geliri ve elektriğin 5.5 ¢cent/kWh ve 8.5 ¢cent/kWh'ten satılması durumları için yıllık gelirler gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için kurulum maliyeti ve yıllık gelir.

Kullanılan Türbin	Kurulum Maliyeti [€]	Yıllık Hesaplanan Üretim [kWh]	Emisyon Satış Gelirleri [€]	Yıllık Hesaplanan Gelir [€]	
				5.5 ¢cent/kWh için	8.5 ¢cent/kWh için
30 Adet VESTAS V63	68.900.000	115.126.000	250.399	6.331.930	9.785.710

Çizelge 5.6'da mikrokonuslandırma çalışmalarının ilk aşamasında 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için elektriğin 5.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir ve giderler ile yıllık kar gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329
Elektrik Satış Geliri	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930
Emisyon Satış Geliri	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399
Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)	215.675	215.675	1.194.246	1.194.246	1.194.246	1.194.246	1.194.246	1.196.549	1.196.549	1.489.374
Türbin Yeri Kira Bedeli	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	344.500
Bakım -Onarım-Sigorta	0	0	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	0	0	0	0	0	0	0	2.303	2.303	2.303
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Yıllık İşletme Karı (€/Yıl)	6.366.654	6.366.654	5.388.083	5.388.083	5.388.083	5.388.083	5.388.083	5.385.781	5.385.781	5.092.956

Çizelge 5.6 (Devam) : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329	6.582.329
Elektrik Satış Geliri	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930	6.331.930
Emisyon Satış Geliri	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399
Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374
Türbin Yeri Kira Bedeli	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500
Bakım -Onarım-Sigorta	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Yıllık İşletme Karı (€/Yıl)	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956	5.092.956

Çalışmada işletme giderleri olarak ilk 9 sene 51.675 € ve sonraki yıllarda 344.500 € olmak üzere yıllık kira bedeli, üçüncü seneden başlamak üzere yıllık 978.571 € bakım onarım ve sigorta giderleri, yıllık 144.000 € işçilik bedeli, sekizinci seneden başlamak üzere 2.303 € yıllık lisans bedeli ve yıllık 20.000 € genel yönetim gideri öngörülmüştür.

Çizelge 5.7’de ise yine mikrokonuşlandırma çalışmalarının ilk aşamasında 1.5 MW’lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için elektriğın 8.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir ve giderler ile yıllık kar gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 8.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109
Elektrik Satış Geliri	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710
Emisyon Satış Geliri	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399
Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)	215.675	215.675	1.194.246	1.194.246	1.194.246	1.194.246	1.194.246	1.196.549	1.196.549	1.489.374
Türbin Yeri Kira Bedeli	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	51.675	344.500
Bakım -Onarım-Sigorta	0	0	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	0	0	0	0	0	0	0	2.303	2.303	2.303
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Yıllık İşletme Karı (€/Yıl)	9.820.434	9.820.434	8.841.863	8.841.863	8.841.863	8.841.863	8.841.863	8.839.561	8.839.561	8.546.736

Çizelge 5.7 (Devam) : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Yıllık İşletme Gelirleri (/Yıl)	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109	10.036.109
Elektrik Satış Geliri	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710	9.785.710
Emisyon Satış Geliri	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399	250.399
Yıllık İşletme Giderleri (/Yıl)	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374	1.489.374
Türbin Yeri Kira Bedeli	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500	344.500
Bakım -Onarım-Sigorta	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571	978.571
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303	2.303
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Yıllık İşletme Karı (/Yıl)	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736	8.546.736

Çizelge 5.8’de ise 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek, 1.5 MW’lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda nakit akışı gösterilmiştir. Tüm hesaplamalar türbin ömürlerinin 20 yıl olduğu düşünülerek 20 yıllla sınırlandırılmıştır. Nakit akış çizelgelerinde yatırımın kredi alımından itibaren üç yıl içinde sonlandığı ve kredi masraflarının kredi tutarının %2’si kadar olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 5.8 incelendiğinde, 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığında 1.5 MW’lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda, kümülatif nakit akışının 17. senede pozitifte geçtiği ve projenin 17. senede geri döndüğü görülmektedir.

Çizelge 5.8 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Harcamalar</u>													
Yatırım Harcamaları	9,050,000	10,500,000	49,350,000										
Kredi Anapara Ödemesi		905,000	1,955,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	5,985,000	4,935,000
Faize Tabi Tutar		9,050,000	18,645,000	66,040,000	59,150,000	52,260,000	45,370,000	38,480,000	31,590,000	24,700,000	17,810,000	10,920,000	4,935,000
Faiz	-	452,500	932,250	3,302,000	2,957,500	2,613,000	2,268,500	1,924,000	1,579,500	1,235,000	890,500	546,000	246,750
Kredi Harcamaları	181,000	210,000	987,000				,						
İşletme Giderleri				215,675	215,675	1,194,246	1,194,246	1,194,246	1,194,246	1,194,246	1,196,549	1,196,549	1,489,374
<u>Kaynaklar / Sources</u>													
İşletme Gelirleri				6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329
<u>Net Nakit Akışı</u>	(9,231,000)	(11,162,500)	(51,269,250)	3,064,654	3,409,154	2,775,083	3,119,583	3,464,083	3,808,583	4,153,083	4,495,281	4,839,781	4,846,206
<u>Kümülatif Nakit Akışı</u>	(9,231,000)	(20,393,500)	(71,662,750)	(68,598,096)	(65,188,942)	(62,413,859)	(59,294,276)	(55,830,193)	(52,021,610)	(47,868,527)	(43,373,246)	(38,533,466)	(33,687,260)

Çizelge 5.8 (Devam) : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	İşletim Yılı 11	İşletim Yılı 12	İşletim Yılı 13	İşletim Yılı 14	İşletim Yılı 15	İşletim Yılı 16	İşletim Yılı 17	İşletim Yılı 18	İşletim Yılı 19	İşletim Yılı 20
<u>Harcamalar</u>										
Yatırım Harcamaları										
Kredi Anapara Ödemesi										
Faize Tabi Tutar	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Faiz	-	-	-	-	-					
Kredi Harcamaları										
İşletme Giderleri	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374
<u>Kaynaklar / Sources</u>										
İşletme Gelirleri	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329	6,582,329
<u>Net Nakit Akışı</u>	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956	5,092,956
<u>Kümülatif Nakit Akışı</u>	(28,594,305)	(23,501,349)	(18,408,394)	(13,315,438)	(8,222,483)	(3,129,527)	1,963,428	7,056,384	12,149,339	17,242,295

Çizelge 5.9'da da 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek, 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda nakit akışı gösterilmiştir. Çizelge 5.8'de olduğu gibi tüm hesaplamalar türbin ömürlerinin 20 yıl olduğu düşünülerek 20 yıllla sınırlandırılmıştır. Nakit akış çizelgelerinde yatırımın kredi alımından itibaren üç yıl içinde sonlandığı ve kredi masraflarının kredi tutarının %2'si kadar olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 5.9 incelendiğinde, 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığında 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda, kümülatif nakit akışının 10. senede pozitifte geçtiği ve projenin 10. senede geri döndüğü görülmektedir.

Çizelge 5.9 : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	Yatırım Yılı 1	Yatırım Yılı 2	Yatırım Yılı 3	İşletim Yılı 1	İşletim Yılı 2	İşletim Yılı 3	İşletim Yılı 4	İşletim Yılı 5	İşletim Yılı 6	İşletim Yılı 7	İşletim Yılı 8	İşletim Yılı 9	İşletim Yılı 10
<u>Harcamalar</u>													
Yatırım Harcamaları	9,050,000	10,500,000	49,350,000										
Kredi Anapara Ödemesi		905,000	1,955,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	6,890,000	5,985,000	4,935,000
Faize Tabi Tutar		9,050,000	18,645,000	66,040,000	59,150,000	52,260,000	45,370,000	38,480,000	31,590,000	24,700,000	17,810,000	10,920,000	4,935,000
Faiz	-	452,500	932,250	3,302,000	2,957,500	2,613,000	2,268,500	1,924,000	1,579,500	1,235,000	890,500	546,000	246,750
Kredi Harcamaları	181,000	210,000	987,000										
İşletme Giderleri				215,675	215,675	1,194,246	1,194,246	1,194,246	1,194,246	1,194,246	1,196,549	1,196,549	1,489,374
<u>Kaynaklar</u>													
İşletme Gelirleri				10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109
Net Nakit Akışı	(9,231,000)	(11,162,500)	(51,269,250)	6,518,434	6,862,934	6,228,863	6,573,363	6,917,863	7,262,363	7,606,863	7,949,061	8,293,561	8,299,986
<u>Kümülatif Nakit Akımı</u>	(9,231,000)	(20,393,500)	(71,662,750)	(65,144,316)	(58,281,382)	(52,052,519)	(45,479,156)	(38,561,293)	(31,298,930)	(23,692,067)	(15,743,006)	(7,449,446)	850,540

Çizelge 5.9 (Devam) : 30 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	İşletim Yılı 11	İşletim Yılı 12	İşletim Yılı 13	İşletim Yılı 14	İşletim Yılı 15	İşletim Yılı 16	İşletim Yılı 17	İşletim Yılı 18	İşletim Yılı 19	İşletim Yılı 20
<u>Harcamalar</u>										
Yatırım Harcamaları										
Kredi Anapara Ödemesi										
Faize Tabi Tutar	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Faiz	-	-	-	-	-					
Kredi Harcamaları										
İşletme Giderleri	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374	1,489,374
<u>Kaynaklar</u>										
İşletme Gelirleri	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109	10,036,109
Net Nakit Akışı	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736	8,546,736
Kümülatif Nakit Akımı	9,397,275	17,944,011	26,490,746	35,037,482	43,584,217	52,130,953	60,677,688	69,224,424	77,771,159	86,317,895

Mikrokonuşlandırma çalışmalarından ikincisi olan 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için yıllık 142.813 GWh enerji üretimi hesaplanmıştır. Bu durumda yıllık gelir, 5.5 cent/kWh’lik elektrik satış fiyatı için 7.854.715 , 8.5 cent/kWh’lik elektrik satış fiyatı için 12.139.105  olarak hesaplanmıştır. 142.813 GWh’lik enerji üretimi için emisyon satış geliri de yıllık 310.618  olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.10’da 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için kurulum maliyeti, elektriğın 5.5 cent/kWh ve 8.5 cent/kWh’ten satılması durumları için yıllık gelir ve emisyon satış gelirleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için kurulum maliyeti ve yıllık gelir.

Kullanılan Türbin	Kurulum Maliyeti []	Yıllık Hesaplanan Üretim [kWh]	Emisyon Satış Gelirleri []	Yıllık Hesaplanan Gelir []	
				5.5 cent/kWh için	8.5 cent/kWh için
22 Adet VESTAS V80	62.700.000	142.813.000	310.618	7.854.715	12.139.105

Çizelge 5.11’de ikinci mikrokonuşlandırma çalışması olan 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için elektriğın 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir ve giderler ile yıllık kar gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (/Yıl)</u>	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333
Elektrik Satış Geliri	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715
Emisyon Satış Geliri	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618
<u>Yıllık İşletme Giderleri (/Yıl)</u>	211.025	211.025	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.427.792	1.427.792	1.694.267
Türbin Yeri Kira Bedeli	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	313.500
Bakım -Onarım-Sigorta	0	0	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911
İşçilik / Labor	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	0	0	0	0	0	0	0	2.856	2.856	2.856
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	7.954.308	7.954.308	6.740.398	6.740.398	6.740.398	6.740.398	6.740.398	6.737.542	6.737.542	6.471.067

Çizelge 5.11 (Devam) : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)</u>	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333
Elektrik Satış Geliri	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715	7.854.715
Emisyon Satış Geliri	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618
<u>Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)</u>	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267
Türbin Yeri Kira Bedeli	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500
Bakım -Onarım-Sigorta	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911
İşçilik / Labor	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067

Çalışmada işletme giderleri olarak ilk 9 sene 47.025 € ve sonraki yıllarda 313.500 € olmak üzere yıllık kira bedeli, üçüncü seneden başlamak üzere yıllık 1.213.911 € bakım onarım ve sigorta giderleri, yıllık 144.000 € işçilik bedeli, sekizinci seneden başlamak üzere 2.856 € yıllık lisans bedeli ve yıllık 20.000 € genel yönetim gideri öngörülmüştür.

Çizelge 5.12'de ise yine ikinci mikrokonuşlandırma çalışma çalışması olan 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için elektriğin 8.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir ve giderler ile yıllık kar gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)</u>	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723
Elektrik Satış Geliri	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105
Emisyon Satış Geliri	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618
<u>Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)</u>	211.025	211.025	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.427.792	1.427.792	1.694.267
Türbin Yeri Kira Bedeli	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	47.025	313.500
Bakım -Onarım-Sigorta	0	0	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	0	0	0	0	0	0	0	2.856	2.856	2.856
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	12.238.698	12.238.698	11.024.788	11.024.788	11.024.788	11.024.788	11.024.788	11.021.932	11.021.932	10.755.457

Çizelge 5.12 (Devam) : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)</u>	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723
Elektrik Satış Geliri	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105	12.139.105
Emisyon Satış Geliri	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618	310.618
<u>Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)</u>	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267
Türbin Yeri Kira Bedeli	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500	313.500
Bakım -Onarım-Sigorta	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911	1.213.911
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457

Çizelge 5.13’de ise 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek, 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda nakit akışı gösterilmiştir. Tüm hesaplamalar türbin ömürlerinin 20 yıl olduğu düşünülerek 20 yıllla sınırlandırılmıştır. Nakit akış çizelgelerinde yatırımın kredi alımından itibaren üç yıl içinde sonlandığı ve kredi masraflarının kredi tutarının %2’si kadar olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 5.13 incelendiğinde, 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığında 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda, kümülatif nakit akışının 12. senede pozitifte geçtiği ve projenin 12. senede geri döndüğü görülmektedir.

Çizelge 5.13 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Harcamalar</u>													
Yatırım Harcamaları	8.495.000	9.200.000	45.005.000										
Kredi Anapara Ödemesi		849.500	1.769.500	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	5.420.500	4.500.500
Faize Tabi Tutar		8.495.000	16.845.500	60.081.000	53.811.000	47.541.000	41.271.000	35.001.000	28.731.000	22.461.000	16.191.000	9.921.000	4.500.500
Faiz	-	424.750	842.275	3.004.050	2.690.550	2.377.050	2.063.550	1.750.050	1.436.550	1.123.050	809.550	496.050	225.025
Kredi Harcamaları	169.900	184.000	900.100										
İşletme Giderleri				211.025	211.025	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.427.792	1.427.792	1.694.267
<u>Kaynaklar</u>													
İşletme Gelirleri				8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333
Net Nakit Akışı	(8.664.900)	(9.808.750)	(46.747.375)	4.950.258	5.263.758	4.363.348	4.676.848	4.990.348	5.303.848	5.617.348	5.927.992	6.241.492	6.246.042
<u>Kümülatif Nakit Akımı</u>	(8.664.900)	(18.473.650)	(65.221.025)	(60.270.767)	(55.007.008)	(50.643.660)	(45.966.813)	(40.976.465)	(35.672.617)	(30.055.269)	(24.127.277)	(17.885.786)	(11.639.744)

Çizelge 5.13 (Devam) : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 5.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	İşletim Yılı 11	İşletim Yılı 12	İşletim Yılı 13	İşletim Yılı 14	İşletim Yılı 15	İşletim Yılı 16	İşletim Yılı 17	İşletim Yılı 18	İşletim Yılı 19	İşletim Yılı 20
<u>Harcamalar</u>										
Yatırım Harcamaları										
Kredi Anapara Ödemesi										
Faize Tabi Tutar	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Faiz	-	-	-	-	-					
Kredi Harcamaları										
İşletme Giderleri	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267
<u>Kaynaklar</u>										
İşletme Gelirleri	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333	8.165.333
Net Nakit Akışı	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067	6.471.067
Kümülatif Nakit Akımı	(5.168.678)	1.302.389	7.773.455	14.244.522	20.715.589	27.186.655	33.657.722	40.128.788	46.599.855	53.070.921

Çizelge 5.14’de de 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek, 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda nakit akışı gösterilmiştir. Çizelge 5.13’de olduğu gibi tüm hesaplamalar türbin ömürlerinin 20 yıl olduğu düşünülerek 20 yıllla sınırlandırılmıştır. Nakit akış çizelgelerinde yatırımın kredi alımından itibaren üç yıl içinde sonlandığı ve kredi masraflarının kredi tutarının %2’si kadar olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 5.14 incelendiğinde, 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığında 2.0 MW’lık 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda, kümülatif nakit akışının 8. senede pozitifte geçtiği ve projenin 8. senede geri döndüğü görülmektedir.

Çizelge 5.14 : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Harcamalar</u>													
Yatırım Harcamaları	8.495.000	9.200.000	45.005.000										
Kredi Anapara Ödemesi		849.500	1.769.500	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	6.270.000	5.420.500	4.500.500
Faize Tabi Tutar		8.495.000	16.845.500	60.081.000	53.811.000	47.541.000	41.271.000	35.001.000	28.731.000	22.461.000	16.191.000	9.921.000	4.500.500
Faiz	-	424.750	842.275	3.004.050	2.690.550	2.377.050	2.063.550	1.750.050	1.436.550	1.123.050	809.550	496.050	225.025
Kredi Harcamaları	169.900	184.000	900.100										
İşletme Giderleri				211.025	211.025	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.424.936	1.427.792	1.427.792	1.694.267
<u>Kaynaklar</u>													
İşletme Gelirleri				12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723
Net Nakit Akışı	(8.664.900)	(9.808.750)	(46.747.375)	9.234.648	9.548.148	8.647.738	8.961.238	9.274.738	9.588.238	9.901.738	10.212.382	10.525.882	10.530.432
<u>Kümülatif Nakit Akımı</u>	(8.664.900)	(18.473.650)	(65.221.025)	(55.986.377)	(46.438.228)	(37.790.490)	(28.829.252)	(19.554.515)	(9.966.277)	(64.539)	10.147.843	20.673.724	31.204.156

Çizelge 5.14 (Devam) : 22 adet VESTAS V80 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Harcamalar</u>										
Yatırım Harcamaları										
Kredi Anapara Ödemesi										
Faize Tabi Tutar	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Faiz	-	-	-	-	-					
Kredi Harcamaları										
İşletme Giderleri	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267	1.694.267
<u>Kaynaklar</u>										
İşletme Gelirleri	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723	12.449.723
Net Nakit Akışı	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457	10.755.457
<u>Kümülatif Nakit Akımı</u>	41.959.613	52.715.069	63.470.526	74.225.983	84.981.439	95.736.896	106.492.352	117.247.809	128.003.266	138.758.722

Son mikrokonuşlandırma çalışmasında ise 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için yıllık 100.971 GWh enerji üretimi hesaplanmıştır. Bu durumda yıllık gelir, 5.5 cent/kWh'lik elektrik satış fiyatı için 5.553.405 , 8.5 cent/kWh'lik elektrik satış fiyatı için 8.582.535  olarak hesaplanmıştır. 100.971 GWh'lik enerji üretimi için emisyon satış geliri de yıllık 219.612  olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.15'de 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için kurulum maliyeti, elektriğin 5.5 cent/kWh ve 8.5 cent/kWh'ten satılması durumları için yıllık gelir ve emisyon satış gelirleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için kurulum maliyeti ve yıllık gelir.

Kullanılan Türbin	Kurulum Maliyeti []	Yıllık Hesaplanan Üretim [kWh]	Emisyon Satış Gelirleri []	Yıllık Hesaplanan Gelir []	
				5.5 cent/kWh için	8.5 cent/kWh için
22 Adet VESTAS V63	51.700.000	100.971.000	219.612	5.553.405	8.582.535

Çizelge 5.16'da son mikrokonuşlandırma çalışması olan 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir ve giderler ile yıllık kar gösterilmiştir.

Çizelge 5.16 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (/Yıl)</u>	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017
Elektrik Satış Geliri	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405
Emisyon Satış Geliri	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612
<u>Yıllık İşletme Giderleri (/Yıl)</u>	202.775	202.775	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.063.048	1.063.048	1.282.773
Türbin Yeri Kira Bedeli	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	258.500
Bakım -Onarım-Sigorta	0	0	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	0	0	0	0	0	0	0	2.019	2.019	2.019
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	5.570.242	5.570.242	4.711.988	4.711.988	4.711.988	4.711.988	4.711.988	4.709.969	4.709.969	4.490.244

Çizelge 5.16 (Devam) : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)</u>	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017
Elektrik Satış Geliri	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405	5.553.405
Emisyon Satış Geliri	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612
<u>Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)</u>	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773
Türbin Yeri Kira Bedeli	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500
Bakım -Onarım-Sigorta	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244

Çalışmada işletme giderleri olarak ilk 9 sene 38.775 € ve sonraki yıllarda 258.500 € olmak üzere yıllık kira bedeli, üçüncü seneden başlamak üzere yıllık 858.254 € bakım onarım ve sigorta giderleri, yıllık 144.000 € işçilik bedeli, sekizinci seneden başlamak üzere 2.019 € yıllık lisans bedeli ve yıllık 20.000 € genel yönetim gideri öngörülmüştür.

Çizelge 5.17’de ise yine son mikrokonuşlandırma çalışma çalışması olan 1.5 MW’lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santrali için elektriğin 8.5 ¢cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir ve giderler ile yıllık kar gösterilmiştir.

Çizelge 5.17 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (/Yıl)</u>	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147
Elektrik Satış Geliri	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535
Emisyon Satış Geliri	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612
<u>Yıllık İşletme Giderleri (/Yıl)</u>	202.775	202.775	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.063.048	1.063.048	1.282.773
Türbin Yeri Kira Bedeli	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	38.775	258.500
Bakım -Onarım-Sigorta	0	0	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	0	0	0	0	0	0	0	2.019	2.019	2.019
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	8.599.372	8.599.372	7.741.119	7.741.119	7.741.119	7.741.119	7.741.119	7.739.099	7.739.099	7.519.374

Çizelge 5.17 (Devam) : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık gelir gider tablosu.

Yıllar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Yıllık İşletme Gelirleri (€/Yıl)</u>	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147
Elektrik Satış Geliri	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535	8.582.535
Emisyon Satış Geliri	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612	219.612
<u>Yıllık İşletme Giderleri (€/Yıl)</u>	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773
Türbin Yeri Kira Bedeli	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500	258.500
Bakım -Onarım-Sigorta	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254	858.254
İşçilik	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000	144.000
Yıllık Lisans Bedeli	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019	2.019
Genel Yönetim Giderleri	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
<u>Yıllık İşletme Karı (TL/Yıl)</u>	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519,374

Çizelge 5.18’de ise 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek, 1.5 MW’lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda nakit akışı gösterilmiştir. Tüm hesaplamalar türbin ömürlerinin 20 yıl olduğu düşünülerek 20 yıllla sınırlandırılmıştır. Nakit akış çizelgelerinde yatırımın kredi alımından itibaren üç yıl içinde sonlandığı ve kredi masraflarının kredi tutarının %2’si kadar olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 5.18 incelendiğinde, 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığında 1.5 MW’lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda, kümülatif nakit akışının 15. senede pozitifte geçtiği ve projenin 15. senede geri döndüğü görülmektedir.

Çizelge 5.18 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 5.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Harcamalar													
Yatırım Harcamaları	7.010.000	8.100.000	36.590.000										
Kredi Anapara Ödemesi		701.000	1.511.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	4.469.000	3.659.000
Faize Tabi Tutar		7.010.000	14.409.000	49.488.000	44.318.000	39.148.000	33.978.000	28.808.000	23.638.000	18.468.000	13.298.000	8.128.000	3.659.000
Faiz	-	350.500	720.450	2.474.400	2.215.900	1.957.400	1.698.900	1.440.400	1.181.900	923.400	664.900	406.400	182.950
Kredi Harcamaları	140.200	162.000	731.800										
İşletme Giderleri				202.775	202.775	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.063.048	1.063.048	1.282.773
Kaynaklar													
İşletme Gelirleri				5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017
Net Nakit Akışı	(7.150.200)	(8.612.500)	(38.042.250)	3.095.842	3.354.342	2.754.588	3.013.088	3.271.588	3.530.088	3.788.588	4.045.069	4.303.569	4.307.294
Kümülatif Nakit Akımı	(7.150.200)	(15.762.700)	(53.804.950)	(50.709.108)	(47.354.766)	(44.600.178)	(41.587.089)	(38.315.501)	(34.785.412)	(30.996.824)	(26.951.754)	(22.648.185)	(18.340.891)

Çizelge 5.18 (Devam) : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 5.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Harcamalar</u>										
Yatırım Harcamaları										
Kredi Anapara Ödemesi										
Faize Tabi Tutar	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Faiz	-	-	-	-	-					
Kredi Harcamaları										
İşletme Giderleri	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773
<u>Kaynaklar</u>										
İşletme Gelirleri	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017	5.773.017
Net Nakit Akışı	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244	4.490.244
Kümülatif Nakit Akımı	(13.850.647)	(9.360.403)	(4.870.159)	(379.915)	4.110.329	8.600.573	13.090.817	17.581.061	22.071.305	26.561.549

Çizelge 5.19’da da 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığı düşünülerek, 1.5 MW’lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda nakit akışı gösterilmiştir. Çizelge 5.18’de olduğu gibi tüm hesaplamalar türbin ömürlerinin 20 yıl olduğu düşünülerek 20 yıllla sınırlandırılmıştır. Nakit akış çizelgelerinde yatırımın kredi alımından itibaren üç yıl içinde sonlandığı ve kredi masraflarının kredi tutarının %2’si kadar olduğu düşünülmüştür.

Çizelge 5.19 incelendiğinde, 3 yıl ödemesiz ve 10 yıl vade ile %5 faiz oranı üzerinden kredi kullanıldığında 1.5 MW’lık 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbini ile oluşturulan rüzgar enerjisi santralinde elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda, kümülatif nakit akışının 9. senede pozitifte geçtiği ve projenin 9. senede geri döndüğü görülmektedir.

Çizelge 5.19 : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuslandırma çalışması için elektriğin 8.5 cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	Yatırım Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>Harcamalar</u>													
Yatırım Harcamaları	7.010.000	8.100.000	36.590.000										
Kredi Anapara Ödemesi		701.000	1.511.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	5.170.000	4.469.000	3.659.000
Faize Tabi Tutar		7.010.000	14.409.000	49.488.000	44.318.000	39.148.000	33.978.000	28.808.000	23.638.000	18.468.000	13.298.000	8.128.000	3.659.000
Faiz	-	350.500	720.450	2.474.400	2.215.900	1.957.400	1.698.900	1.440.400	1.181.900	923.400	664.900	406.400	182.950
Kredi Harcamaları	140.200	162.000	731.800										
İşletme Giderleri				202.775	202.775	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.061.029	1.063.048	1.063.048	1.282.773
<u>Kaynaklar</u>													
İşletme Gelirleri				8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147
Net Nakit Akışı	(7.150.200)	(8.612.500)	(38.042.250)	6.124.972	6.383.472	5.783.719	6.042.219	6.300.719	6.559.219	6.817.719	7.074.199	7.332.699	7.336.424
<u>Kümülatif Nakit Akımı</u>	(7.150.200)	(15.762.700)	(53.804.950)	(47.679.978)	(41.296.506)	(35.512.787)	(29.470.569)	(23.169.850)	(16.610.632)	(9.792.913)	(2.718.714)	4.613.985	11.950.409

Çizelge 5.19 (Devam) : 22 adet VESTAS V63 rüzgar türbininin kullanıldığı mikrokonuşlandırma çalışması için elektriğin 8.5 €cent/kWh fiyattan satılması durumunda yıllık nakit akış tablosu.

	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı	İşletim Yılı
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>Harcamalar</u>										
Yatırım Harcamaları										
Kredi Anapara Ödemesi										
Faize Tabi Tutar	-		-	-	-	-	-	-	-	-
Faiz	-	-	-	-	-					
Kredi Harcamaları										
İşletme Giderleri	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773	1.282.773
<u>Kaynaklar</u>										
İşletme Gelirleri	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147	8.802.147
Net Nakit Akışı	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374	7.519.374
<u>Kümülatif Nakit Akımı</u>	19.469.783	26.989.157	34.508.531	42.027.906	49.547.280	57.066.654	64.586.028	72.105.402	79.624.776	87.144.150

Yapılan tüm bu hesaplamalar neticesinde bölgede kurulması planlanan rüzgar enerjisi santralinde geri ödeme süresi olarak da, ikinci mikrokonuşlandırma olan 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanıldığı çalışmanın diğerlerine göre avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul ilinin en önemli su havzalarından biri olan Terkos bölgesinde kurulması planlanan bir rüzgar enerjisi santrali için enerji üretim potansiyeli, kurulum maliyeti ve geri ödeme süresinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan bu tez çalışmasının sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Bölgede 52 m.'de yapılan ölçümler sonucunda rüzgar şiddeti ortalaması 6.44 m/s olarak tespit edilmiştir. Kullanılan türbinlerin 80 m.'lik göbek yüksekliğinde ise rüzgar şiddetinin 7.52 m/s ile 8.83 m/s arasında değiştiği hesaplanmıştır. Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği'nin yaptığı sınıflandırmaya göre, rüzgar enerjisinden yararlanılacak yükseklikteki (rüzgar türbini göbek yüksekliği) ortalama rüzgar hızları, sırasıyla 6.5 m/s için iyiye yakın, 7.5 m/s için iyi ve 8.5 m/s için ise çok iyi olarak belirlenmiştir. Bu durumda bölgedeki ortalama rüzgar şiddetlerinin iyi olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

52 m.'de alınan ölçümlerin WAsP programında analiz edilmesiyle bölgede güç yoğunluğu 343 W/m² olarak belirlenmiş, türbin göbek yüksekliğinde ise güç yoğunluğunun 501 W/m² ile 862 W/m² arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Yine Avrupa Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından yapılan araştırmalarda, güç yoğunluğu 100 W/m²'den az olan alanlar güç yoğunluğu bakımından zayıf, 100 W/m² ile 300 W/m² arasında olanlar iyiye yakın, 300 W/m² ile 700 W/m² arasında olanlar iyi ve 700 W/m² 'den yüksek olanlar ise çok iyi güç yoğunluğuna sahip alanlar olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda bölgenin 52 m.'de iyi, türbin göbek yüksekliklerinde ise yer yer çok iyi güç yoğunluğuna sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Bölgede 52 m.'de Weibull k şekil parametresi 1.83, c ölçek parametresi ise 7.2 m/s olarak hesaplanmıştır. Türbin göbek yüksekliğinde ise k şekil parametresinin 1.84 ile 1.99 arasında, c ölçek parametresinin de 8.9 m/s ile 10.0 m/s arasında değiştiği tespit edilmiştir.

2008 yılına ait kayıpsız ve tam olarak alınan 12 aylık verinin MATLAB programı yardımıyla analiz edilmesiyle oluşturulan rüzgar güllerinin incelenmesi sonucunda, bölgede kuzeydoğunun hakim rüzgar yönü olduğu, güneybatı yönlerinden esen rüzgarların da ikinci hakim rüzgar yönü olarak öne çıktığı ve bölgenin bu yönlerden esen rüzgarlardan fazlasıyla etkilendiği görülmüştür. Bölgenin özellikle Aralık, Ocak, Şubat, Mart aylarında güneybatılı rüzgarların etkisinde kaldığı, diğer aylarda ise kuzeydoğulu rüzgarların ön plana çıktığı görülmüştür.

Ölçüm istasyonundan 30 m. ve 52 m. yükseklikte eş zamanlı olarak alınan 88.570 adet verinin analiziyle, bölgede türbin göbek yüksekliğinde rüzgar ölçümü alınamadığından, ölçüm alınan yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının göbek yüksekliğine taşınmasında önemli bir katsayı olan ve ölçüm istasyonu civarındaki yeryüzü pürüzlülüğüne bağlı olarak değişen, Hellman katsayısının 0.11 ile 0.65 arasında değiştiği görülmüş, ortalaması ise 0.29 olarak hesaplanmıştır.

Rüzgar verilerinin analiz edilmesinden sonra yapılan 3 farklı mikrokonuslandırma çalışması yapılmış, çalışmaların ilkinde hakim rüzgar yönünde 3 sıra rüzgar türbini yerleştirilmiş ve 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla 45 MW kurulu gücünde bir rüzgar enerjisi santrali oluşturulmuş, ikinci mikrokonuslandırma çalışmasında hakim rüzgar yönünde 2 sıra 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla 44 MW kurulu gücünde bir rüzgar enerjisi santrali oluşturulmuş, son çalışma da ise yine hakim rüzgar yönünde 2 sıra olmak üzere bu defa 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbini kullanılarak 33 MW kurulu gücünde bir rüzgar enerjisi santrali oluşturulmuştur.

1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralinden yıllık 115.126 GWh, 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralinden yıllık 142.813 GWh, 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 33 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralinden ise yıllık 100.917 GWh elektrik üretilebileceği hesaplanmıştır. Daha sonra türbinlerin ve mikrokonuslandırma çalışmalarının karşılaştırılması amacıyla, yıllık üretim değerlerinin kurulu güçlere bölünmesiyle her bir mikrokonuslandırma çalışması için birim kurulu güce karşılık üretilen enerji değerleri bulunmuş, birim kurulu güce

karşılık üretim değerleri açısından 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralının en avantajlı senaryo olduğu sonucuna varılmıştır.

Mikrokonuşlandırma ve türbin seçimi çalışmaları sırasında kullanılan bütün türbin ve oluşturulan tüm mikrokonuşlandırmalar için yapılan hesaplamalarda kapasite faktörü, 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için %29.20, 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için %37.05 ve 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 33 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için %34.92 olarak tespit edilmiş ve kapasite faktörleri açısından da 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralının en avantajlı durum olduğu bulunmuştur.

Tez çalışmasının maliyet analizi bölümünde, birçok kişinin tecrübelerinden faydalanarak her bir mikrokonuşlandırma çalışması için hazırlanan kurulum maliyetleri, 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 68.900.000 €, 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 62.700.000 € ve 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 33 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 51.700.000 € olarak hesaplanmıştır.

Yıllık hesaplanan üretim değerleriyle elektrik satış fiyatının çarpılmasıyla bulunan yıllık gelir hesaplamalarında elektrik satış fiyatı olarak, 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” kapsamında belirtilen en yüksek fiyat olan 5.5 ¢cent/kWh ve rüzgar enerjisi sektör temsilcilerinin talep ettiği ve rüzgardan üretilen elektriğin kWh'si için ödenmesi gerektiğini düşündüğü 8.5 ¢cent/kWh'lik iki bedel ele alınmış, yıllık gelir, 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için elektriğin 5.5 ¢cent/kWh'den satılması durumunda 6.331.930 €, 8.5 ¢cent/kWh'den satılması durumunda 9.785.710 €, 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar

türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için elektriğin 5.5 cent/kWh'den satılması durumunda 7.854.715 , 8.5 cent/kWh'den satılması durumunda 12.139.105 , 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için ise elektriğin 5.5 cent/kWh'den satılması durumunda 5.553.405  ve 8.5 cent/kWh'den satılması durumunda ise 8.582.535  olarak hesaplanmıştır.

Geri ödeme sürelerinin hesaplanmasında ise yine 5.5 cent/kWh ve 8.5 cent/kWh'lik elektrik satışları ele alınmış, geri ödeme süresi, 5.5 cent/kWh'lik elektrik satış fiyatında, 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 17 sene, 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 12 sene, 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için ise 15 sene; 8.5 cent/kWh'lik elektrik satış fiyatında, 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 10 sene, 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için 8 sene, 1.5 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için ise 9 sene olarak hesaplanmış ve 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santralinin geri ödeme süresi olarak da en avantajlı senaryo olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 6.1'de 1.5 MW'lık 30 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 45 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali (Mikrokonuşlandırma 1), 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V80 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 44 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali (Mikrokonuşlandırma 2) ve 2.0 MW'lık 22 adet VESTAS V63 model rüzgar türbinlerinin kullanılmasıyla oluşturulan 33 MW kurulu gücündeki rüzgar enerjisi santrali için karşılaştırmaların yapılabileceği kurulu güç, yıllık hesaplanan üretim

miktarı, kapasite faktörü, kurulum maliyeti, yıllık gelir ve geri ödeme süreleri gösterilmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen bütün bu sonuçlardan hareketle, İstanbul Terkos bölgesinde kurulması planlanan bir rüzgar santralinin ekonomik olduğunu söylemek mümkündür. Santralin, İSKİ'ye ait pompalara ait ciddi bir enerji tüketiminin olduğu ve ileride gerçekleştirilmesi muhtemel deniz suyunun arıtılması gibi çalışmaların da yapılabileceği bir alanı içine alması bu tez çalışmasının önemini bir kat daha arttırmaktadır.

Ülkemizin elektrik enerjisi üretiminde doğalgaza olan bağımlılığı dikkate alındığında, üretimimizin dışa bağımlılıktan kurtarılarak, temiz ve yenilenebilir kaynakların kullanılmasıyla, talebin kesintisiz, güvenilir olarak sağlanması gerektiği bir gerçektir.

Günümüzde bütün devletler enerji alanında dışa bağımlılığı önlemek ve çeşitliliği sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Dünyada rüzgar kurulu gücünün 150.000 MW'a doğru ilerlediği bu günlerde, ülkemizin de bu yerli kaynağı ön plana çıkarması büyük önem taşımaktadır. AB, 2020 yılı için elektrik tüketiminin en az %20'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı hedeflemekte, bu amaçla 2020 yılında rüzgar kurulu gücünü 180.000 MW'a çıkartmayı hedeflemektedir.

Ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyeli bilinmesi rağmen, maalesef bu potansiyel bugüne kadar yeterince yatırıma dönüştürülemedi, kullanılamamıştır. Dolayısıyla başta rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvik edilerek kullanımının artırılması, hem enerji politikamızın ana hedefi olan yerli kaynaklarımızın ön plana çıkarılmasını sağlayacak, hem de yeni teknolojiler ve yeni istihdam alanları oluşturacaktır.

Çizelge 6.1 : Bütün mikrokonuşlandırma çalışmaları için kurulu güç, yıllık hesaplanan üretim miktarı, kapasite faktörü, kurulum maliyeti, yıllık gelir ve geri ödeme süreleri.

	Türbin Modeli	Türbin Adedi	Türbin Anma Gücü [MW]	Tesis Toplam Kurulu Gücü [MW]	Hesaplanan Yıllık Üretim Miktarı [kW]	Hesaplanan Kapasite Faktörü [%]	Hesaplanan Kurulum Maliyeti [€]	Hesaplanan Yıllık Gelir [€]		Geri Ödeme Süresi [yıl]	
								5.5 €cent/kWh için	8.5 €cent/kWh için	5.5 €cent/kWh için	8.5 €cent/kWh için
Mikrokonuşlandırma 1	VESTAS V63	30	1.5	45	115.126.000	29.20	68.900.000	6.331.930	9.785.710	17	10
Mikrokonuşlandırma 2	VESTAS V80	22	2.0	44	142.813.000	37.05	62.700.000	7.854.715	12.139.105	12	8
Mikrokonuşlandırma 3	VESTAS V63	22	1.5	33	100.971.000	34.92	51.700.000	5.553.405	8.582.535	15	9

KAYNAKLAR

- [1] **Koç, T.**, 1998. Ayvalık'ta rüzgar enerjisi potansiyeli, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* Cilt: 1 Sayı: 2
- [2] **Özaktürk, M.**, 2007. Rüzgar enerjisinin güç kalitesi açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, S.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [3] **EWEA.**, 2010, Annual report 2009, Brussels
- [4] **Öztürk, Z.**, 2007, Tekirdağ Muratlı bölgesindeki rüzgar akış alan modellemesi, rüzgar enerjisi potansiyeli açısından fizibilite çalışması ve mevcut rüzgar türbinleri ile simülasyon, İ.T.Ü. Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- [5] **Golding, E., W.**, 1955, *The generation of electricity by wind power*, Halsted Press, London
- [6] **Ültanır, M., Ö.**, 1996, Yel değirmenlerinden günümüze rüzgar enerjisi, *Bilim Teknik Dergisi* Nisan 1996 sayısı
- [7] **DWIA, Danish Wind Industry Association**, 2009, Guided Tour, <http://www.talentfactory.dk/en/tour.htm>
- [8] **Durak, M.**, 2000, Rüzgar enerjisi teknolojisi ve Türkiye uygulaması Akhisar rüzgar elektrik santrali, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [9] **WWEA**, 2010, World wind energy report 2009, Bonn
- [10] **Akalın, A.**, 2009, Temiz ve yenilenebilir enerji potansiyel ve stratejileri, *Uluslararası Enerji Kongresi 2009*, Ankara
- [11] **Tırıs, M.**, 2009, Technological advances and r&d work in renewable energy in Turkey, *Uluslararası Enerji Kongresi 2009*, Ankara
- [12] **EEA**, 2009, Technical Report: Europe's onshore and offshore wind energy potential, Luxemburg
- [13] **Yanıktepe, B., Kaplan, Y., A.**, 2009, Rüzgar Enerjisi: Türkiye ve AB'nin politik karşılaştırılması ve önemi, Korkut Ata Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye
- [14] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı**, 2009, Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli, Ankara
- [15] **Özdemirci, E.**, 2009, Yenilenebilir enerji kaynaklarının bağlantı durumu, *Uluslararası Enerji Kongresi 2009*, Ankara
- [16] **TÜREB**, 2010, Türkiye'de rüzgar enerjisi projelerinin son durumu, Ankara
- [17] **Durak, M.**, 2009, Türkiye'de yenilenebilir enerji öncelikleri ve planlaması, *Uluslararası Enerji Kongresi 2009*, Ankara
- [18] **Menteş, Ş., S.**, 2008, Rüzgar enerjisi ve sistemleri ders notları, İ.T.Ü. Uçak Uzay Fakültesi, İstanbul

- [19] **Barutçu, B.**, 2008, Wind energy and conversion technology ders notları, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul
- [20] **Adekoya, L., O., Adewale, A., A.**, 1992, Wind energy potential of Nigeria, *Renewable Energy*, 2, 35-39
- [21] **Dündar, C.**, 1997, Bandırma, Bodrum, Bozcaada ve Çeşme bölgeleri için rüzgar enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [22] **Justus, C., G., Hargraves, W., R., Yalçın, A.**, 1976, Nation-wide assessment of potential output from wind powered generators, *Journal Applied Meteorology*, Vol. 15 No. 7
- [23] **Durak, M., Özer, S.**, 2008, *Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama*, İmpress, Ankara
- [24] **Akdağ, S., A., Güler, Ö.**, 2008, Weibull dağılım parametrelerini belirleme metodlarının karşılaştırılması, 7. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu 2008*, İstanbul
- [25] **Rogathi, J., S.**, 1994, *Wind Characteristics: An analysis the generation of wind power*, West Texas A&M University, Texas
- [26] **Akgün, N.**, 2006, Rüzgar enerjisi nereden gelmektedir?, DMİ Araştırma Şube Müdürlüğü, Ankara
- [27] **Wegley, H., L., Ramsdel, J., J., Orgill, M., M., Drake, R., L.**, 1980, A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems, U.S. Department of Energy, Report PNL-2521
- [28] **Şimşek, V.**, 2007, Rüzgar enerjisi ve Sivas şartlarında bir rüzgar santrali tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas
- [29] **Troen, I., Petersen, E., L.**, 1989, European Wind Atlas, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark
- [30] **Lettau, H.**, 1969, Note on Aerodynamic Roughness-Parameter Estimation on the Basis of Roughness-Element Description, *Journal of Applied Meteorology*, Vol.8
- [31] **Woo, H. G. C., Paterka, J. A., Cermak, J. E.**, 1977, Wind Tunnel Measurements in the Wake of Structures, NASA ReportCR-2806, Washington, DC. USA.
- [32] **Altındış, E.**, 2001, Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [33] **EWEA**, 2008, Wind Energy The Facts, Brussels
- [34] **Hahm, T., Kroning, J.**, 2002, In the wake of a wind turbine, *Fluent News*, Vol. XI, Issue.1, TÜV Nord e.V., Hamburg
- [35] **Acar, H.**, 2008, Ders notları, İ.T.Ü. Uçak Uzay Fakültesi, İstanbul
- [36] **Kavsaoglu, M., Ş.**, 2008, Rüzgar Enerjisi ve Sistemleri Ders notları, İ.T.Ü. Uçak Uzay Fakültesi, İstanbul
- [37] **Walker, J., F., Jenkins, N.**, 1997, *Wind Energy Technology*, John Willey & Sons, England
- [38] **İstanbul Enerji A.Ş.**, 2008, Faaliyet Raporu 2008, İstanbul

- [39] **DLC**, 2009, Wind potential analysis and energy production assessment, Germany
- [40] **WAsP**, 2008, Program help files, Denmark
- [41] **Mathew, S.**, 2006, *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Siproinger, USA
- [42] **Gökçınar, R., E., Uyumaz, A.**, 2008, Rüzgar enerjisi maliyetleri ve teşvikleri, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu 2008*, İstanbul
- [43] **EWEA**, 2009, The Economics of Wind Energy, Brussels

ÖZGEÇMİŞ



1986 yılında İstanbul'da doğan Yavuz YALÇIN, lise öğrenimini 2003 yılında Fatih Vatan Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans öğrenimine devam ettiği Sakarya Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümünden 2007 yılında mezun olduktan sonra ara vermeden İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji anabilim dalında, Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen İstanbul Büyükşehir Belediyesi şirketlerinden İstanbul Enerji A.Ş.'de elektrik mühendisi olarak görev yapmaktadır.