

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BULANIK TOPSİS VE VİKOR YÖNTEMİ KULLANILARAK
RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRAL YER SEÇİMİ**

YAŞAR AYDİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. ALİ FUAT GÜNERİ**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FBE ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI ENDÜSTRİ
MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Yaşar AYDİN tarafından hazırlanan tez çalışması 14.06.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Semih ÖNÜT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun hızla artması ve tüketilen enerji miktarının her geçen gün artması insanları alternatif enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Globalleşen dünyada artık enerji sektörü sadece kar açısından incelenmemekte, devamlılığı, çevreye olan etkileri, insanlığa getireceği kaynaklar ve kullanılabilirliği yönlerinden de incelenmektedir. Bu konuda en temiz kaynak olarak bilinen rüzgâr enerjisi günümüzde önemini çokça hissettiğimiz küresel ısınmanın da etkisiyle bir kez daha ön plana çıkmaktadır.

Önemli alternatif enerji kaynağı olan rüzgâr, yel değirmenlerinden rüzgar türbinleri ve rüzgar santrallerine uzanan bir teknolojik süreç yaşamıştır. Gelecekte daha önemli seviyeye yükselecek olan rüzgâr endüstrisi, teknolojinin ilerlemesi ile gelişen türbin tasarımları ve gelişmiş mikro konuşturmalar ile maksimum verim için çabalanan günümüzde olduğu gibi, ilerleyen zamanlarda da enerji sıkıntısına izin vermemek için kullanılan önde gelen enerji kaynaklarından biri olacaktır.

Rüzgâr enerjisi teknolojisinin insanların hizmete sunulmasında biz endüstri mühendislerine, verimliliğin artırılması ve yapılan yatırımların doğru analizlerle sahaya indirilmesinde bizlere çok önemli sorumluluklar düşmektedir. Bana böyle önemli ve güncel bir konuda çalışma ve kendimi geliştirme fırsatı veren ve çalışmam esnasında desteğini hiç esirgemeyerek beni yönlendiren değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ, yüksek lisans çalışmam boyunca bana destek veren Sn. Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ ve Sn. Araş. Gör. Abit BALİN, çalışmam esnasındaki değerli katkılarından üniversitemizde yüksek lisans ve doktora yapan arkadaşlarıma, çalışmam esnasında beni her türlü motive eden değerli arkadaşlarıma ve beni bugünlere getiren sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nisan 2013,

Yaşar AYDİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
ENERJİ TANIMI ve ÇEŞİTLERİ	5
2.1 Enerji Çeşitleri.....	5
2.1.1 Klasik Kaynaklar	5
2.1.1.1 Linyit ve Taş Kömürü.....	5
2.1.1.2 Petrol.....	6
2.1.1.3 Doğalgaz	6
2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	6
2.1.2.1 Güneş Enerjisi.....	6
2.1.2.2 Jeotermal Enerjisi	7
2.1.2.3 Biokütle ve Biyogaz enerjisi.....	7
2.1.2.4 Hidroelektrik Enerji.....	8

BÖLÜM 3

RÜZGÂR ENERJİSİ ve SANTRALİ	9
3.2.1 Türbin Çeşitleri.....	19
3.2.1.1 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri(YERT).....	20
3.2.1.2 Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini(DERT)	21
3.2.2 Türbin Parçaları ve Teknolojisi	23
3.2.2.1. Nacelle (Türbin Kafa Kısmı)	23
3.2.2.2. Türbin Bıçakları (Kanatları)	23
3.2.2.3 Düşük Hız Dişlisi.....	23
3.2.2.4 Dişli Kutusu	24
3.2.2.5 Yüksek Hız Dişlisi	24
3.2.2.6 Elektrik Jeneratör.....	24
3.2.2.7 Elektronik Kontrolcü	24
3.2.2.8 Hidrolik Sistem.....	24
3.2.2.9 Soğutma Birimi Fanı	24
3.2.2.10 Kule	24
3.2.2.11 Yaw Mekanizması	25
3.2.2.12 Anemometre ve Rüzgar Vanası	25
3.2.3 Rüzgar Türbin Aerodinamiği	25
3.2.3.1 Kaldırma	25
3.2.3.2 Dişli Kutusu Kullanım Amacı	26
3.2.3.3 Rüzgâr Türbin Jeneratörleri.....	27
3.2.3.4 Voltaj (Gerilim) Üretimi.....	27
3.2.3.5 Soğutma Sistemi	27
3.2.3.6 Türbinin Devreye Girdiği Rüzgâr Hızı.....	27
3.2.3.7 Türbinin Devreden Çıktığı Rüzgâr Hızı	27

BÖLÜM 4

BULANIK TOPSİS VE VİKOR YÖNTEM PROSESLERİ.....	28
4.1 Bulanık Mantık Kavramı.....	28
4.2 Bulanık TOPSİS Yöntemi	29
4.3 Üçgen Bulanık Sayılar	32
4.4 VIKOR Yöntemi	32

BÖLÜM 5

RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRALİ YER SEÇİMİ	35
5.1 Kriterler ve Alt Kriterler ile Alternatiflerin Belirlenmesi ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması	36
5.2 Bulanık TOPSİS Yöntemi İle Rüzgar Yer Seçimi Uygulaması.....	43
5.3 VİKOR Yöntemi İle Rüzgar Yer Seçimi Uygulaması	49

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	53
EK A	
ŞANLIURFA İLİ RÜZGAR KAYNAK BİLGİLERİ.....	56
EK B	
MERSİN İLİ RÜZGAR KAYNAK BİLGİLERİ	59
EK C	
İZMİR İLİ RÜZGÂR KAYNAK BİLGİLERİ	62
ÖZGEÇMİŞ	65

SİMGE LİSTESİ

A^-	Negatif ideal çözüm
A^+	Pozitif ideal çözüm
CC_i	Yakınlık katsayısı
d	Hava yoğunluğu (kg/m^3)
d_i^-	Alternatiflerin negatif ideal çözüme uzaklıkları
d_i^+	Alternatiflerin pozitif ideal çözüme uzaklıkları
l	Bulanık üçgen sayının mümkün en küçük değeri
m	Bulanık üçgen sayının en çok beklenen değeri
$\tilde{r}$	Normalize edilmiş karar matrisi
W	Normalize edilmiş ağırlık vektörü
W'	Ağırlık vektörü
w_i	Kriter ağırlıkları

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
AD	Alt Yapı Durumu
AM	Arazi Maliyeti
ANP	Analytic Network Process
ASMU	Askeri ve Sivil Radar Merkezlerine Uzaklık
AWEA	American Wind Energy Association
ÇE	Çevresel Engeller
ÇKKV	Çoklu Kriterli Karar Verme
DERT	Düşey Eksenli Rüzgar Tribünleri
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DYEÇ	Doğal Yaşam ve Ekolojik Çevre
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
EMU	Elektrik İhtiyacı Olan Merkezlere Uzaklık
EWEA	European Wind Energy Association
BNİÇ	Bulanık Negatif İdeal Çözüm
BPİÇ	Bulanık Pozitif İdeal Çözüm
HRY	Hakim Rüzgar Yönü
HU	Havaalanına Olan Uzaklık
İBM	İşletme ve Bakım Maliyeti
KM	Kablolama Maliyeti
LM	Lojistik Maliyeti

M	Maliyet
MM	Montaj Maliyeti
MW	Megawatt
OA	Ormanlık Alan
REPA	Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası
RES	Rüzgâr Enerjisi Santrali
RH	Rüzgâr Hızı
RK	Rüzgâr Karakteristiği
RY	Rüzgâr Yoğunluğu
S	Sosyal
T	Teknik
TFN	Triangular Fuzzy Number
TMU	Trafo Merkezlerine olan Uzaklık
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TTU	Tarihi ve Turistik Alana Uzaklık
WEC	World Energy Council
YBU	Yerleşim Birimlerine olan Uzaklık
YERT	Yatay Eksenli Rüzgâr Tribünleri

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Rüzgâr enerjisi kurulu gücü en yüksek 10 ülke.....	12
Şekil 3.2 1996-2011 yılları arası dünya rüzgar enerjisi kurulu güç kapasiteleri.....	16
Şekil 3.3 Türkiye rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre kümülatif dağılımı.....	17
Şekil 3.4 Rüzgar tribünü.....	18
Şekil 3.5 2MW'lık bir rüzgâr türbininin yapısı.....	20
Şekil 3.6 Yatay eksenli rüzgâr türbininin yapısı.....	21
Şekil 3.7 Dikey eksenli rüzgar türbininin yapısı.....	22
Şekil 3.8 Dikey eksenli rüzgar türbini çeşitleri.....	23
Şekil 4.1 Bulanık üçgen sayısı (l m u)	32
Şekil 5.1 Uygun yer seçimi için oluşturulan hiyerarşik yapı	42
Şekil EK-A.1 Rüzgar Hızı Dağılımı -50 metre.....	56
Şekil EK-A.2 Kapasite Faktörü Dağılımı -50 metre.....	57
Şekil EK-A.3 Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar.....	57
Şekil EK-A.4 Trafo Merkezleri ve Enerji Nakil Hatları.....	58
Şekil EK-B.1 Rüzgar Hızı Dağılımı-50 metre.....	59
Şekil EK-B.2 Kapasite Faktörü Dağılımı-50 metre.....	60
Şekil EK-B.3 Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar.....	60
Şekil EK-B.4 Trafo Merkezleri ve Enerji Nakil Hatları.....	61
Şekil EK-C.1 Rüzgar Hızı Dağılımı – 50 metre.....	62
Şekil EK-C.2 Kapasite Faktörü Dağılımı-50 metre.....	63

Şekil EK-C.3 Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar.....	63
Şekil EK-C.4 Trafo Merkezleri ve Enerji Nakil Hatları.....	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	2011 yılı küresel kurulu rüzgar kapasitesi.....	13
Çizelge 4.1	Kriterler değerlendirmesi için dilsel ifadeler.....	29
Çizelge 4.2	Alternatif değerlendirmesi için dilsel ifadeler.....	30
Çizelge 5.1	Kriterler değerlendirmesi için dilsel ifadeler.....	43
Çizelge 5.2	Alternatif değerlendirmesi için dilsel ifadeler.....	43
Çizelge 5.3	Karar kriterlerinin bulanık ağırlıkları.....	44
Çizelge 5.4	Normalize edilmiş bulanık karar matrisi.....	45
Çizelge 5.5	Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi.....	46
Çizelge 5.6	BPIÇ ve BNIÇ değerleri.....	47
Çizelge 5.7	Bulanık pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıklar.....	48
Çizelge 5.8	Bulanık pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıklar.....	48
Çizelge 5.9	Kriterler için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler.....	49
Çizelge 5.10	S ve R değerleri.....	49
Çizelge 5.11	Birimlere ait Q değerleri.....	49
Çizelge 5.12	S, R ve Q değerlerine göre en iyi alternatif bölgeler.....	50
Çizelge 6.1	Bulanık pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıklar.....	52

BULANIK TOPSİS VE VİKOR YÖNTEMİ KULLANILARAK RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRAL YER SEÇİMİ

Yaşar AYDIN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ

Bu çalışma, günümüzde hızla artan enerji tüketimi ve hızla tükenen enerji kaynaklarına alternatif olabilecek rüzgâr enerjisi ve bu konudaki verimliliği arttırmak için rüzgâr enerji santralleri kurulumunda yer seçimi konusunda yapılmıştır. Rüzgâr enerjisi birçok yönüyle araştırılmış, tesis yeri seçimi konusundaki öncelikler belirlenerek alternatifler arasında en iyi yerin seçilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada öncelikle enerjinin tanımı ve günümüz için önemi, rüzgâr enerjisi ve gelişimi verilmiş, rüzgâr enerjisi farklı yönlerden incelenmiştir. Uygun yerin seçiminde kullanılacak Bulanık TOPSIS ve VİKOR yöntemi açıklandıktan sonra kriter ve alt kriterler bulunarak öncelikleri belirlenmiş ve istenen hiyerarşik yapı kurulmuştur. Çıkan sonuçlar son bölümde değerlendirilerek alternatif yerlerden hangisinin seçileceği konusu detaylı olarak incelenmiş ve yorumlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji Kaynakları, Rüzgâr Enerjisi, Tesis Yeri Seçimi, Bulanık TOPSIS Yöntemi, VİKOR Yöntemi

ABSTRACT

LAYOUT ELECTION OF WIND ENERGY STATION BY USING FUZZY TOPSIS AND VIKOR

Yaşar AYDIN

Department of Industrial Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ali Fuat GÜNERİ

This study is made in the subject of election layout for wind energy power station for increasing productivity in this subject and wind energy which can be alternative for today's rapidly running out energy resources and rapidly increasing consumption of energy. Wind energy investigated in many ways, layout fundamentals defined and aimed choosing best place among alternatives.

In the study, first of all description of energy and its importance for today, wind energy and development of it given and wind energy examined in different ways. After explaining the method Fuzzy TOPSIS and VIKOR which is used for choosing suitable place, fundamentals are defined finding criteria and sub-criteria and the hierarchical construction is built which is wanted. By valuating appeared results the subject of choosing which place in alternatives examined detailed and commentaries presented.

Keywords: Energy Sources, Wind Energy, Facility Location Selection, Fuzzy TOPSIS Process, VIKOR Process

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Serafim Opricovic (1998) tarafından ilk olarak ortaya atılan VIKOR yöntemi, 2004 yılında Opricovic ve Tzeng tarafından yapılan çalışma ile birlikte çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonrada, çeşitli araştırmacılar tarafından farklı alanlardaki sınırlı sayıda çalışmada, yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Yöntemin temelinde, alternatifler ışığında ve değerlendirme kriterleri kapsamında bir uzlaşık çözümün tespit edilmesi vardır. Bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. 2009 yılında Chen tarafından yapılan uzlaşık çözüm ifadesiyle, alternatifler için çok kriterli sıralama indeksi oluşturarak, belirli koşullar kapsamında ideal çözüme en yakın kararın verilmesi anlaşılmaktadır. Opricovic ve Tzeng (2007) her alternatifin, karar verme kriterleri bazında değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralamaya ulaşılır. Yöntem ayrıca, karar verici grubun sonuç üzerinde etkili olabilmesine de imkan vermektedir. Maksimum grup faydasının ve buna bağlı olarak karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının sonuca etki ettirilebilmesi söz konusudur.

VIKOR yöntemi ilk olarak 2004'te Opricovic ve Tzeng'in yaptığı çalışma ile literatüre girmiştir. TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin karşılaştırılmalı analizinin yapıldığı bu çalışmada yazarlar, her iki yöntemin benzer ve farklı yönlerini ortaya koymuşlar, VIKOR metodunun karar vericilerin fikirlerini daha iyi yansıtabildiğini belirtmişlerdir. Tzeng vd. (2009), yapmış oldukları çalışmada toplu taşımada kullanılacak alternatif yakıtların değerlendirmesi konusunu ele almışlar, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Araştırmacılar değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında ise AHP yöntemine başvurmuşlardır. Opricovic, 2009 yılında yapmış olduğu çalışmasında, VIKOR yöntemini su

kaynakları planlamasında kullanmıştır. Karar verme problemi, VIKOR ile modellenmiş ve uzlaşık çözüme ulaşılmıştır. Opricovic ve Tzeng (2004), genişletilmiş VIKOR yöntemini; TOPSIS, PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Baraj tipi seçimi ile ilgili uygulama yapan araştırmacılar, PROMETHEE yöntemiyle VIKOR yönteminin sonuçlar açısından benzer değerler verdiğini ifade etmişler, her iki yönteminde maksimum grup faydasını kullandığını ancak VIKOR yönteminin minimum pişmanlığı da dikkate aldığını belirtmişlerdir. ELECTRE II yönteminin göreceli olarak VIKOR yöntemiyle benzer sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Chu vd (2005), bilgi yönetimi alanında yaptıkları çalışmada; bu alandaki faaliyetlerde ortaya çıkan çok kriterli karar verme problemlerinde, TOPSIS, SAW ve VIKOR yöntemlerinin kullanımını incelemişlerdir. TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin daha gerçekçi çözümler sunduğunu, ayrıca VIKOR yönteminin uygun stratejilerin seçimi bakımından daha kolay uygulanabildiğini ifade etmişlerdir.

Wu vd. (2009), performans ölçümü amacıyla üç bankayı yirmi üç kriter kapsamında bulanık ortamda analiz etmiş, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Lixin vd. (2007) tedarik zinciri yönetimi alanında yaptıkları çalışmalarından dört kriter kullanarak dört farklı alternatif içerisinden iyi lojistik servis sağlayıcının seçimini ANP ve VIKOR yöntemini kullanarak yapmışlardır. Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2009), yapmış oldukları çalışmada, Ege bölgesindeki banka şubelerinin performansını ölçmek amacıyla on adet kriter belirlemiş ve VIKOR yöntemiyle performans ölçümü yapmışlardır. Yang ve Wang (2006), ürün yaşam döngüsü üzerine yaptıkları çalışmalarında AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Guo ve Zhang (2008) tedarikçi seçimi yaptıkları çalışmalarında kaba küme teorisi ve VIKOR yöntemlerini bütünleşik olarak kullanarak beş kriter kapsamında karar verme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sanayei vd (2010), yapmış oldukları çalışmada bulanık ortamdaki tedarikçi seçim problemi için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Mulavdic (2005), sürdürülebilir gelişim çerçevesinde, konut tipi seçimine ilişkin çalışmasında VIKOR yöntemini uygulamışlardır. Kaya ve Kahraman (2010), yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimi problem için, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak bulanık ortamda bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Wu vd (2010) yapmış oldukları çalışmada farklı üniversite tiplerine ilişkin bir seçim çalışması yapmışlardır. Liou ve Chuang (2010) ise dış kaynak kullanımı için farklı alternatifleri inceledikleri çalışmalarında ANP ve VIKOR yöntemlerini birlikte kullanmışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Tüm dünyada artan nüfus ve ilerleyen teknolojiye bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaç artmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan mevcut fosil yakıtların sınırlı olması ve her geçen gün tükenecek olmaları nedeniyle insanoğlunu farklı alternatifler bulmaya yöneltmiştir. İlk etapta enerji tasarrufları göz önüne alınmış olup daha sonra yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda ciddi çalışmalar başlamıştır.

Kömür ve petrol gibi fosil yakıta dayalı olan enerji kullanımı; çevre kirlenmesi, rezervlerin azalması, rezervleri azalan fosil yakıtların her geçen gün biraz daha pahalılaşması, atmosferde oluşan sera etkisi, doğal bitki örtüsünün yanı sıra insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri gibi önemli nedenlerle hızla yeni enerji kaynakları bulunması zorunluluğunu doğurmaktadır.

Enerjideki büyük darboğazın olması ve üretim miktarında ciddi artış meydana gelmemesi nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli gündemde kalmasını sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgârın, ülkemizde çok iyi değerlere sahip olması, temiz ve çevreyi kirletmemesi, kendini yenileyebilen en ucuz enerji kaynağı olması, termik ve nükleer santrallerle karşılaştırıldığında daha ucuza enerji üretilebilmesi ve her şeyden öte evrende sınırsız bulunması bu çalışmanın rüzgar enerjisi yatırımlarına yönelik olmasında etken olmuştur.

Dünya da yaygın olarak kullanılarak enerji ihtiyacında önemli bir paya sahip olan rüzgar enerjisi, ülkemizde yeni yatırımlarla belirli bir seviyeye çekilmek istenmektedir. Geline nokta kullandığımız enerjinin yüzdelik dilimine bakılacak olursa bu seviye yeterli olmamakla beraber, Avrupa birliği 2020 hedefleri doğrultusunda, rüzgardan enerji üretmek konusunda ciddi yatırımlara ihtiyaç duyulacaktır.

Yapmış olduğum çalışmada rüzgâr enerjisi santral yeri seçimi için Bulanık TOPSIS yöntemi ve VIKOR yöntemi önerilmiş, çıkan sonuçlar doğrultusunda belirlenen kriterlere göre doğru yer seçimi duyarlılık analizleriyle desteklenmiştir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada hibrit metot nerisi yapılarak rüzgar santrali yer seçimi için en uygun bölgeler hedeflenmiştir. Rüzgar santrali yer seçiminde hangi kriterlerin önemli olduğu ortaya konmuştur. Belirlenen kriter ve alt kriterlerin önem dereceleri kullanılan metotlar ile önem dereceleri belirtilmiştir. Türkiye’de 3 farklı bölgede yer alan illerimiz arasından rüzgar verimliliği açısından karşılaştırmalar yapılmış ve analizler ortaya konulmuştur. Rüzgar santrali yer seçiminde kullanılan metotların kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

BÖLÜM 2

ENERJİ TANIMI ve ÇEŞİTLERİ

Enerji; bir cismin veya sistemin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Başlıca enerji çeşitleri; kimyasal enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi ve mekanik enerji olarak sıralanabilir. Bu enerjiler; enerji dönüşüm sistemleri ile birbirine dönüşebilirler ve bir iş yapma özelliğine sahiptirler.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu enerjisini güneşten doğrudan veya dolaylı olarak almakta ve dolayısıyla bu kaynaklar sürekli olarak yenilendiklerinden tükenmemektedirler. Kömür, gaz, petrol gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerji gibi kaynaklar tükenir ve yenilenemez enerji kaynağı olarak tanımlanırlar.

2.1 Enerji Çeşitleri

2.1.1 Klasik Kaynaklar

Klasik kaynaklar, karbon bazlı olarak adlandırabilecek kaynaklardır. Petrol, kömür ve doğalgaz en temel enerji kaynaklarıdır. Bunlar, meydana gelişleri itibarıyla yenilenmeleri çok uzun bir süre aldığından, yenilenmeyen kaynaklar olarak da adlandırılırlar.

2.1.1.1 Linyit ve Taş Kömürü

Enerji hammaddeleri içinde önemli yere sahip olan kömür dünyada geniş rezervlere ve yaygın tüketim alanlarına sahiptir. Kömür, birçok ülkede madencilik çalışmalarının en önemli ürünü olmasının yanı sıra, kullanılan enerji kaynakları arasında ilk sıralarda yer almaktadır [1]. Türkiye'nin en önemli fosil enerji kaynağı kömürdür. Çünkü enerji tüketiminin % 24'lük kısmı

yerli üretim kömürden karşılanmaktadır. Kömür enerji üretiminde, çelik üretiminde ve çimento imalatında yoğun olarak kullanılmaktadır [2].

2.1.1.2 Petrol

Yüz milyonlarca yıldan bu yana denizlerde yaşayan ya da suların denizlere sürüklediği bitki kalıntılarının anaerobik bir ortamda, uygun şartlar altında (sıcaklık, basınç ve mikroorganizmaların etkisiyle), toprağın üstünde başkalaşmasıyla oluşur. Değeri çok yüksektir, çünkü az bulunan bir yakıttır.

Günümüzün stratejik maddesi olan petrol hayatımızın hemen her alanında kullanımımıza girmiştir. Hiçbir enerji kaynağı şimdiye kadar insanoğlunun yaşamına petrol kadar dâhil olmamıştır. Ya hammadde ya da doğrudan enerji kaynağı olarak kullandığımız petrolün alternatifi halen tam olarak mevcut değildir. Bugün dünyada birincil enerji tüketiminde en büyük payı % 40' a yaklaşan pay ile petrol oluşturmaktadır [3].

2.1.1.3 Doğalgaz

Yanması en kolay ayarlanabilen ve yanma verimliliği en yüksek olan yakıttır. Bu özelliği, kullanım kolaylığı ve ekonomisi sağlar. Karbon içeriğinin düşük olması nedeniyle atmosferde sera etkisi oluşturan ve insan sağlığı bakımından zehirleyici olan karbondioksit gazı emisyonu, katı yakıtlara göre 1/3, sıvı yakıtlara göre 1/2 oranında daha azdır [4].

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynağı; enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi ile tanımlanır. Örneğin, güneşten elde edilen enerji ile çalışan bir teknoloji bu enerjiyi tüketir, fakat tüketilen enerji toplam güneş enerjisinin yanında çok küçük kalır. En genel yenilenebilir enerji şekli güneşten gelendir. Bazı formlar güneş enerjisini ve rüzgâr gücünü depolar [5].

2.1.2.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi çevre kirliliğine yol açmayan tükenmez bir enerji kaynağıdır. Son yıllarda görülen yakıt fiyatlarındaki yüksek artışlar nedeniyle birkaç yıl öncesine kadar ekonomik görülmeyen güneş enerjisi, bazı kullanım alanlarında oldukça ekonomik duruma gelmiştir. Petrol ve kömür gibi birincil enerji kaynaklarına alternatif olarak güneş enerjisi çok umut vericidir [6].

Güneş enerjisinin kullanımı, gündelik yaşam yapısından ve konutlardan başlayıp; haberleşmeye, tarıma, endüstri kesimine, elektrik santrallerine, askeri hizmetlere ve uzaya kadar uzanmaktadır. Güneş enerjisinin günümüzde önem kazanan uygulamaları; oldukça yaygınlaşan güneşli su ısıtıcılarının dışında, güneşle ısınan binaların yapımı, güneş enerjisinin elektriğe çevrilmesi, güneş enerjili su pompalarının tarımsal sulamada kullanılması, geleceğin yakıtı olan hidrojenin sudan üretiminde güneş enerjisinden yararlanılması biçiminde sıralanabilir [7]. Ayrıca güneş enerjisinin kullanıldığı alanlara hesap makineleri, radyo, TV ve uydu alıcıları, radar ve meteoroloji istasyonları, hava alanları ve helikopter pist ışıktandırma, denizcilik uygulamaları, mobil telefonlar, karavanlar, sokak ve bahçe aydınlatmaları ilave edilebilir [6].

2.1.2.2 Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji yer kabuğunun derinliklerinden gelen, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Enerji değişim teknolojileri yardımıyla, sıcak su ve buhardan elektrik üretimi sağlanır veya ısı enerjisi amaçlı doğrudan kullanım uygulamaları söz konusu olur.

Jeotermal enerji elektrik üretiminde kullanıldığında, sadece sülfür emisyonları açısından değerlendirilse bile hemen sıfır atıkla, fosil yakıtlara göre öncelik kazanmaktadır. Jeotermal santrallerde azot oksit emisyonları fosil yakıt kullanan santrallere göre oldukça düşük değerdedir. Bu nedenle jeotermal elektrik santralleri ozon tabakasına olan etki ve sağlık açısından risksiz olması nedeniyle temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Jeotermal enerji doğru teknolojiler kullanıldığında olumsuz etkisi olmamakla birlikte, doğru teknolojiler kullanılmazsa çevre kirliliğine yol açabilmektedir [8].

2.1.2.3 Biokütle ve Biyogaz enerjisi

Biokütle; elektrik ve diğer enerji şekillerinin üretiminde kullanılan, yenilenebilen önemli bir kaynaktır. Biokütle, güneş enerjisinin depolandığı organik madde olarak tekrar enerjiye dönüştürülebilir. Biokütle yakacakları, biyo yakacak, katı, sıvı ya da gaz olarak biokütle kaynağından elde edilebilir. Tarımsal bitkiler ve atıklar, endüstriyel odun ve tomruk atıkları, çiftlik hayvanı atıkları ve yöresel organik madde atıkları biokütle kaynaklarıdır [9].

Biyogaz üretiminde genellikle insan ve hayvan dışkıları ile bitkisel atıklardan yararlanılmaktadır. Gobar veya gübre gazı olarak da adlandırılan bu gazın açık, elektrik mavisi alevle yandığı, gün ışığında görünmediği, kömür veya petrol gazından daha sıcak,

kokusuz olup toksin olmadığı, ayrıca mutfağı ve kapları karartan bir duman da çıkarmadığı ifade edilmiştir. Ayrıca üretimden geriye kalan kısım zenginleşmiş gübre olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde atıklar bir taraftan enerji ve gübre üretimi amacıyla değerlendirilirken, çevre kirliliğinin önlenmesine de katkıda bulunmaktadır [10].

2.1.2.4 Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji, termik ve nükleer santraller gibi ısınmış su, hava emisyonları, kül ve radyoaktif atıklara neden olmayan önemli bir alternatif enerji kaynağıdır. Termik santraller meydana getirdikleri CO₂ emisyonları ve bu gazın küresel ısınmaya olan etkileri nedeniyle son 10 yılda oldukça gündemdedir.

Hidroelektrik santrallerin yapımından önce faydalanılamayan su, santralle birlikte ülke ekonomisine katılmaktadır. Ayrıca hidroelektrik santrallerin kuruluş, işletme, onarım maliyetleri dışında, ham madde masrafı bulunmamaktadır. Enerji üretiminde kullanılan yöntem çevre ile dosttur. Üretim aşamasında çevreye zararlı hiçbir atık oluşmaz [11].

RÜZGÂR ENERJİSİ ve SANTRALİ

3.1 Tanımı ve Özellikleri

Rüzgâr enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup kaynağı güneştir. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınırsa atmosferin yukarısına doğru yükselir ve bu hava kütlelerinin yükselmesiyle boşalan yere, aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmelerine rüzgâr adı verilmektedir. Diğer bir ifadeyle rüzgâr; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru hareket eden hava akımıdır. Rüzgârlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi ekseninde dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, rüzgâr önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir [12].

Rüzgârın yönü rüzgârgülü, hızı ise anemometre ile ölçülür. Anemometre, pervanenin dönüş hızı ile rüzgâr hızını gösteren basit ölçü aletidir. Yükseklerdeki rüzgârlar, balonlar yardımı ile ölçülmektedir. Yükselme hızı bilinen balonlar belli yüksekliğe gelince rüzgâr hızı ile yol almaya başlar. Trigonometrik hesaplarla balonun birim zamanda kat ettiği yoldan hızı bulunur. Daha hassas ölçümler için balon ya radarla takip edilir veya balona bir telsiz vericisi monte edilir.

Rüzgârdan elde edilecek enerji tamamen rüzgârın hızına ve esme süresine bağlıdır. Rüzgâr enerjisinin desteklenmesinde, çevresel ve enerji üretimi hedeflerinin yanında endüstriyel ve ekonomik büyüme ve bunlara paralel olarak iş gücü yaratımı hedefleri de büyük önem taşımaktadır. Genel olarak, elektrik hizmet sektörünün merkezi yönetimin kontrolünde olduğu ülkelerde daha çok büyük/orta ölçekli rüzgâr tarlalarının kurulması tercih edilirken, serbest piyasa ekonomisinin hâkim olduğu ülkelerde küçük ölçekli, bağımsız özel kullanımların yaygın olduğu görülmektedir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretim sürecinin karbondan bağımsız olması, yani atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi nedeniyle bu kaynak temiz enerji olarak nitelendirilmektedir [13].

Yenilenebilir bir enerji türü olan rüzgâr, eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Endüstriyel manada kullanımı ise araştırılmaya devam edilmektedir. Bu amaçla, hareketli havanın bünyesindeki kinetik enerji bir eksen etrafında dönen kanatlar vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürülmek durumundadır. Rüzgâr enerjisinin elde edilişi ve nerelerde kullanıldığı veya hangi enerji türlerine dönüştürüldüğü takip eden şekilde görülmektedir. Genelde, rüzgâr kinetiği bir mil üzerinde kanatlar vasıtasıyla dönel harekete çevrilir. Bu mil bir pompayı tahrik eder. Pompa da kuyudaki suyu daha yüksek bir depoya basar. Böylece depoda rüzgâr enerjisi suyun potansiyel enerjisi olarak çevrilmiş olur. Sulama veya kullanım amaçlı böyle bir sistem pompa veya kompresör gücünün tasarruf edilmesini sağlayacaktır. Diğer bir kullanım şeklide dönen mil ucuna bir dinamo veya jeneratör bağlayarak direkt AC veya DC formunda elektrik üretmektir. Üretilen elektrik bir akünün şarj işleminde kullanılarak depolanır. Akü ise ev araçları ve diğer cihazlar için elektrik kaynağı olacaktır. Hatta üretilen elektrik suyun elektroliz işleminde kullanılarak hidrojen (H) üretiminde kullanılabilir. Üretilen hidrojen ise depolanır. Eğer dönen mil ucuna bir kompresör bağlanırsa bir tanka gaz basılabilir. Böylece enerji gaz üzerinde basınç potansiyeli şeklinde depolanmış olur.

3.1.1 Rüzgâr Enerjisinin Avantajları ve Dezavantajları

Avrupa Rüzgâr Enerji Birliği'nin yayınladığı son raporlarına göre başlıca avantajları aşağıdaki gibidir; [14].

- Sonlu fosil kaynakların kullanımını azaltması, bugünkü enerji üretim kaynaklarına doğal kaynakların tüketilmesini geciktirerek destek olması ve yeni teknolojilerin gelişmesi için zaman sağlaması.

- Sera gazı ve CO₂ salımlarında fosil kaynaklara göre daha avantajlı olması, oksijen tüketmemesi, asit yağmurlarına yol açmaması, atmosferik ısınmaya neden olmaması ve radyoaktif etkisinin olmaması
- Doğal bitki örtüsüne ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması, 0,6 MW'lık bir türbin için rüzgar enerjisinde 86.000 ağaca eşdeğer oksijen tasarrufu sağlaması
- Hammadde sıkıntısı olmayan yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olması
- Türbinlerin oturduğu alanın çok küçük olması ve türbinler arası alanların başka amaçlarla kullanımına olanak vermesi (toplam alanın %1'i türbine yollar için yeterli)
- Kısa sürede devreye alınabilen ve genişletilebilen tesisler ile rüzgar gücünün elektriğe verimli dönüşümünü sağlaması.
- Ömrü dolan türbinleri söküp kaldırmanın kolay olması. Arazinin yeniden kullanılabilmeye uygun olması.
- Rüzgâr endüstrisinin modern ve teknolojik gelişiminin tüm dünyada hızlı olması, yüksek miktarda istihdam sağlaması
- Rüzgâr santrali projelerinin kompleks olmaması ve bakım çalışmalarının kolay olması.
- Teknolojik alt yapının olması.
- Rüzgâr santrallerinin kurulması için gerekli sermayenin sağlanması için banka faiz oranlarının düşük olması ve bu alanda devlet tarafından verilen teşvikler sayesinde yapılan yatırım geri dönüşüm süresinin kısalması dolayısıyla yatırımcıların bu alana yönelmelerinin artması.
- Dışa bağımlılığının olmaması, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan etkilenmemesi

Fakat bu avantajların yanı sıra, rüzgâr santralinin çözüm üretilebilecek dezavantajları mevcuttur. Gürültü ve görüntü kirliliği, kuşlara ve radyo TV sinyallerine zarar vermesi olarak sıralanabilir. Rüzgâr türbinlerinde iki çeşit gürültü oluşmaktadır. Mekanik gürültü, dişli kutusu, jeneratör ve yedek motorların yarattığı gürültüdür. Mekanik gürültü, akustik kılıfların ve özel dişlilerin kullanılması ve dönen parçaların ses emici malzemeye kaplanması ile giderilebilmektedir. Aerodinamik gürültü ise, hava içinde dönen kanatların hızına bağlı olarak artar. Rüzgâr santrali içerisindeki ses 43 dB düzeyindedir [15].

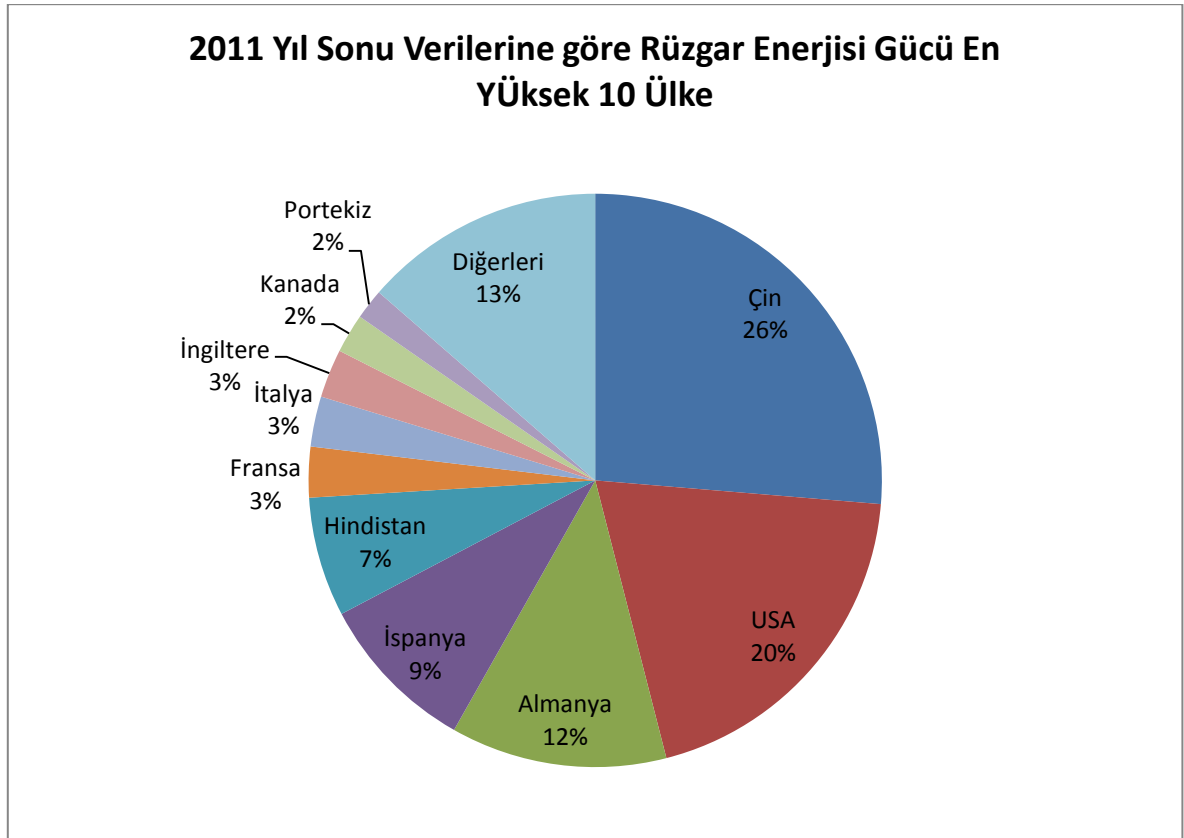
3.1.2 Dünya'da Rüzgâr Enerjisi Kullanımı

Ülkelerin her geçen gün artan elektrik ihtiyacı ülkelere değişik çözüm yolları aramaya sevk etmiştir. Aynı zamanda stratejik sorunlara da sebebiyet vermektedir. Fosil kaynaklı yakıtlara

olan ihtiyaç, fosil kaynaklı yakıtları üreten ülkelerdeki özellikle Ortadoğu ve Güney Amerika'daki problemler gelişmiş ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir [16].

Yaklaşık 20-25 yıl önce, bir enerji kaynağı olarak benimsenip yatırımlarına başlanan rüzgâr enerjisi günümüzde Dünya' da hak ettiği değeri kazanmıştır. Özellikle geride bıraktığımız son 15 yılda kurulma maliyetleri süratle düşen rüzgâr enerjisi santrallerine olan talep her geçen gün artmaktadır. Son 10 yılda Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurulu güç kapasitesi yıllık ortalama %40 büyüme göstermiştir. 2011 yılsonu verilerine göre kurulu güç kapasitesinde Çin, uzun süre bu alanda liderlik eden Amerika Birleşik Devletlerini geride bırakarak sektörde birinciliği eline geçirmiştir. Sektör ciddi şekilde istihdam yaratmaktadır ve 1 milyona yakın kişi bu sektörde çalışmaktadır.

Şekil 3.1 'de 2011 yılı sonu verilerine göre rüzgar enerjisi kurulu gücü en yüksek 10 ülke görülmektedir. Bu ülkelerin pazardaki yüzdelik dilimleri verilmektedir.



Şekil 3.1 Rüzgâr enerjisi kurulu gücü en yüksek 10 ülke [17]

2011 yılı içerisinde rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesini %40 arttıran Çin, en yakın rakipleri olan Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya'yı geride bırakarak kurulu güç miktarı olarak en

tepede bulunmaktadır. Her ülkenin enerji stratejisi olarak, ülkelerin kullandıkları enerji miktarlarının %20 sinin rüzgâr enerjisinden sağlanması için gerekleri çalışmalar ve yatırımlar yapılmaktadır. Bu noktada Çin bu devletlerin başında gelmektedir. Yapılan son yatırımlar dahilinde gelecekte Hindistan da bu alanda önemli bir noktaya gelecektir [17].

Çizelge 3.1’ de 2010 ve 2011 yılı sonunda her bölgede bulunan ülkelerin toplam rüzgar enerjisi kurulu güçleri görülmektedir.

Çizelge 3.1 2011 Yılı Küresel Kurulu Rüzgar Kapasitesi [17]

<i>AFRİKA & ORTA DOĞU</i>	<i>2010 SONU</i>	<i>2011 BAŞI</i>	<i>2011 SONU</i>
Yeşil Burun Adaları	2	23	24
Fas	286	5	291
İran	90	3	91
Mısır	550	0	550
Diğerleri	137	0	137
TOPLAM	1065	31	1093(MW)

<i>ASYA</i>	<i>2010 SONU</i>	<i>2011 BAŞI</i>	<i>2011 SONU</i>
Çin	44733	18000	62733
Hindistan	13065	3019	16084
Japonya	2334	168	2501
Tayvan	519	45	564
Güney Kore	379	28	407
Vietnam	8	29	30
Diğerleri	69	9	79
Toplam	61107	21298	82398(MW)

<i>AVRUPA</i>	<i>2010 SONU</i>	<i>2011 BAŞI</i>	<i>2011 SONU</i>
Almanya	27191	2086	29060
İspanya	20623	1050	21674
Fransa	5970	830	6800
İtalya	5797	950	6747
İngiltere	5248	1293	6540

Portekiz	3706	377	4083
Danimarka	3749	178	3871
İsveç	2163	763	2970
Hollanda	2269	68	2328
Türkiye	1329	470	1799
İrlanda	1392	239	1631
Yunanistan	1323	311	1629
Polonya	1180	436	1616
Avusturya	1014	73	1084
Belçika	886	192	1078
Diğerleri	2807	966	3708
Toplam	86647	10282	96618(MW)

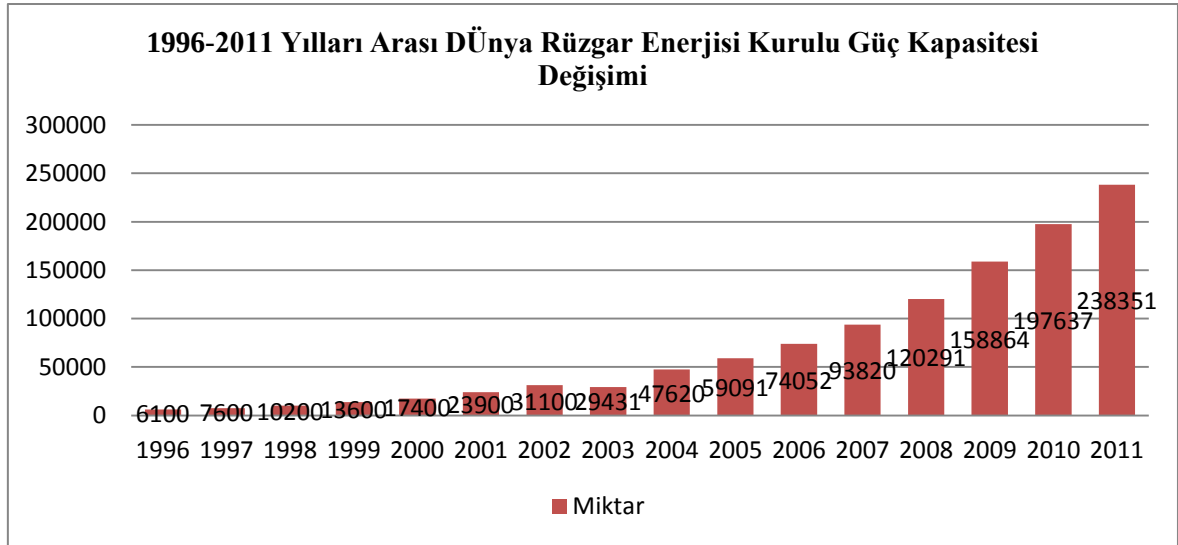
LATİN AMERİKA VE KARAYİPLER	<i>2010 SONU</i>	<i>2011 BAŞI</i>	<i>2011 SONU</i>
Brezilya	927	583	1509
Meksika	519	354	873
Şili	172	33	205
Arjantin	50	79	130
Kosta Rika	119	13	132
Honduras	0	102	102
Dominik Cumhuriyeti	0	33	33
Karayipler	91	0	91
Diğerleri	118	10	128
Toplam	1996	1207	3203(MW)

KUZEY AMERİKA	<i>2010 SONU</i>	<i>2011 BAŞI</i>	<i>2011 SONU</i>
USA	40298	6810	46919
Kanada	4008	1267	5265
Toplam	44306	8077	52184(MW)

PASİFİK BÖLGESİ	2010 SONU	2011 BAŞI	2011 SONU
Avustralya	1990	234	2224
Yeni Zelanda	514	108	622
Pasifik Adası	12	0	12
Toplam	2516	342	2858
DÜNYA TOPLAMI	197637	41236	238351(MW)

Afrika bölgesinde rüzgâr enerjisi yatırımı yok denecek kadar az olmakla beraber, Ortadoğu’da Mısır ve Fas olmak üzere bazı ülkeler yatırım yapmışlardır. Asya bölgesinde özellikle Çin ve Hindistan Kurulu güç kapasitelerinin yanı sıra yapmış oldukları yatırımlarla birlikte ilerleyen yıllarda daha da iyi seviyelere geleceklerdir. Avrupa’da Almanya ve İspanya sektörde önemli noktaya sahiptirler ve son yıllarda yaptıkları yatırımlarla bu artışın devam etmesi beklenmektedir. İngiltere ve Türkiye ilerleyen yıllarda Avrupa’da yaptıkları yatırımlarla 2020 hedefleri doğrultusunda diğer ülkeleri yakalamaya çalışacaktır. Latin Amerika bölgesinde ise Brezilya ve Meksika başı çekmektedirler. Bu ülkelerin stratejileri de rüzgâr santraline önem verdikleri göstermektedir. Kuzey Amerika bölgesinde Amerika Birleşik Devletleri önemli paya sahiptir. Daha önce yapmış olduğu yatırımlarla 3 yıl öncesine kadar en fazla kurulu güç kapasitesine sahip olan ABD yatırımlarına devam ederek Çin’i yakalamaya çalışmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin büyük bir kısmı rüzgâr enerjisinin sürdürülebilir ve temiz bir enerji kaynağı olduğunun farkına varmış, kurulu güç kapasitelerini sürekli olarak arttırma çabasına girmişlerdir.

Şekil 3.2 de 1996-2011 yılları arası dünya rüzgar enerjisi kurulu güç kapasiteleri miktarları (MW) yıllık bazda kümülatif olarak görülmektedir.



Şekil 3.2 1996-2011 yılları arası dünya rüzgar enerjisi kurulu güç kapasiteleri[17]

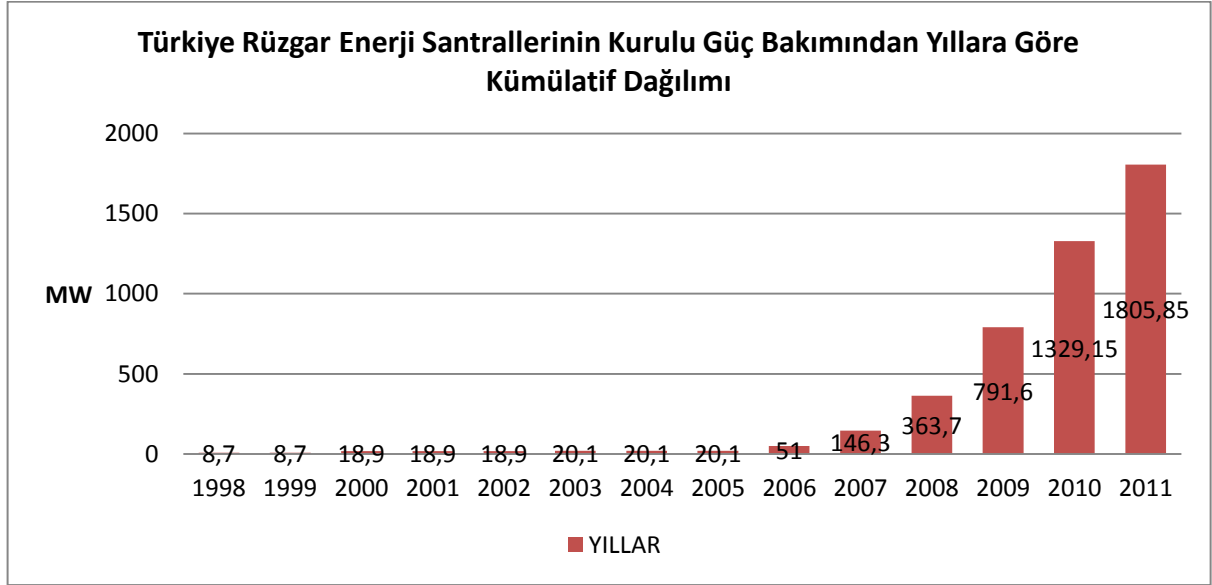
Rüzgâr enerjisi konusunda önemli adımlar son yıllarda atılmıştır ve atılmaya devam edilmektedir. Her geçen yıl bir önceki yıla göre devamlı artış gösteren kurulu güç miktarı son 3-4 yıl içerisinde ciddi artış göstermektedir. Devletlerin yaptıkları stratejiler ve 2020 rüzgâr enerjisi hedefleri doğrultusunda bu artış devamlı olarak artacaktır.

3.1.3 Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Kullanımı

Ülkemizde rüzgâr enerjisiyle ilgili çalışmaların başlangıç tarihi çok eskilere dayanmamaktadır. Bu konudaki çalışmaları ilk başlatan kurum 1980' li yılların ortalarında Elektrik İşleri Etüt Dairesi olmuştur. Başlangıç çalışmaları rüzgâr potansiyelini tespit amacıyla gerçekleştirilen etüt faaliyetlerinden ibarettir. Hatta bu yıllarda rüzgâr enerjisini konu alan herhangi bir kanuni düzenleme bulunmamaktaydı. 1995 yılından başlayarak bazı küçük uygulamalar yap - işlet- devret modeliyle gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de ilk rüzgâr santrali Demirer Holding’in Çeşme’ de kurduğu santraldir. İzmir Çeşme Germian' da (1.5MW), Alaçatı' da (7.2MW); Çanakkale Bozcaada'da (10.2MW); İstanbul Hadımköy' de (1.2MW) gerçekleşen rüzgâr santralleri bu şekilde ortaya çıkmıştır [18].

Türkiye’de rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının konu edildiği ilk kanun 2001 yılında çıkarılan Elektrik Piyasası Kanunu'dur. Bu kanunla devletin belirli bir fiyattan alım garantisinden vazgeçmesi zaten düşük seviyede olan rüzgâr enerjisi yatırımlarını durdurmuştur. Rüzgâr enerjisine verilen resmi önemin kanıtı olarak ilk ciddi girişim ise ancak 2005’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu ile ortaya konmuştur. Bu kanunun sonrasında Bandırma, Çeşme yarımadası, Hatay, Manisa ve Çanakkale' de gerçekleştirilen 150 MW gücündeki santraller kanunun ilk meyveleridir.

Şekil 3.3 'de Türkiye'nin 1998-2011 yılları arası toplam rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi görülmektedir. Türkiye'de rüzgâr enerjisi 2005 yılına kadar gerekli yatırımların yapılmaması nedeniyle yeterince artmamıştır. 2005 yılından itibaren yasal düzenlemeler yapılması sayesinde kademeli olarak artış sağlanmıştır. Bu yıldan sonra da Türkiye'de rüzgâr enerjisi kapasitesi her geçen gün artmaktadır.



Şekil 3.3 Türkiye rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre kümülatif dağılımı [17]

Türkiye günümüzde ihtiyacı olan birincil enerji kaynaklarının %65' ini ithalat yoluyla sağlamaktadır. Hâlbuki Türkiye Avrupa' nın en fazla rüzgâr alan ülkeleri arasında yer almakta ve büyük bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip bulunmaktadır. Teorik olarak Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelinin 160 TWh olduğu kabul edilmektedir ve bu potansiyel şu anki yıllık elektrik enerjisi kullanımının iki katına yakındır [19].

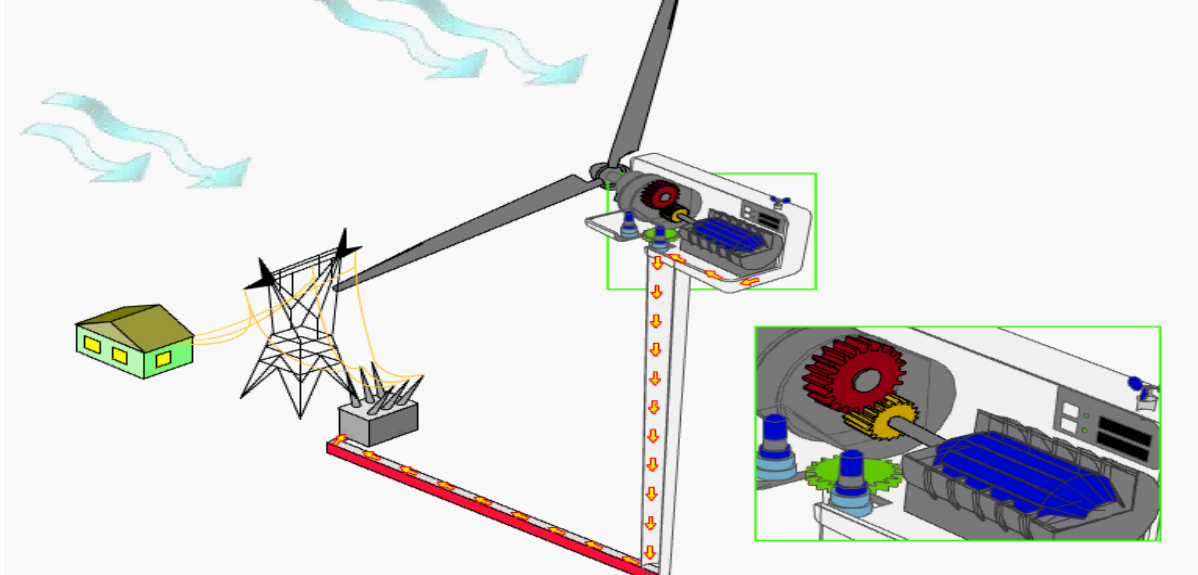
3.2 Rüzgar Santrali ve Türbin Çeşitleri

Yüzyıllardır dünyanın birçok ülkesinde rüzgâr enerjisinden rüzgâr milleri yardımıyla su pompalama ve tane öğütme işlemlerinde yararlanılmıştır. Rüzgâr millerinin bugünkü modern karşılıkları elektrik üretmek için rüzgâr enerjisini kullanan rüzgâr türbinleridir.

Rüzgâr türbinleri de rüzgâr milleri gibi enerjinin çoğunu yakalamak için bir kule üzerine monte edilir. 30 m ya da daha fazla yükseklikteki kuleler, daha hızlı ve daha az türbülanslı

rüzgâr sağlar. Türbinler rüzgâr enerjisini dönen kanatları ile yakalar. Ekseriya bir rotor için bir şaft üzerine iki ya da üç kanat monte edilir. Bir kanat bir uçak kanadı gibi davranır. Rüzgâr estiği zaman aşağıdaki kanatın alt ucunda düşük basınçlı bir hava paketi oluşur. Sonra düşük basınçlı hava paketi üst kanadı kendine doğru çeker, böylece rotorun dönmesi gerçekleşir. Buna kaldırma denilir. Kaldırma kuvveti, türbin kanatlarına önden çarpan rüzgâr kuvvetinden daha fazladır. Buna sürüklenme denir. Kaldırma ve sürüklenme birlikte rotorun bir pervane gibi dönmesine sebep olur. Döner şaft elektrik üretmek için bir jeneratörü döndürür. Rüzgâr türbinleri tek başına uygulamalar olarak kullanılır, ya da bir güç noktasına bağlıdır veya bir fotovoltaik sistemle beraberdir. Rüzgâr enerjisinin kaynak kullanım ölçeği için, çok sayıda rüzgâr türbini bir rüzgâr çiftliğini oluşturmak amacıyla birbirine yakın olarak inşa edilir.

Elektrik üretmek amacıyla kurulan birden fazla rüzgâr türbinleri topluluğuna “Rüzgar Santrali” ya da “Rüzgar Çiftliği” denir. Rüzgâr enerjisi bakımından denizler, karasal alanlara göre daha büyük zenginlik göstermektedir. Karalarda ise rüzgâr santrallerinin kurulacağı yerlerin seçimi çok önemlidir. Rüzgâr santrallerinin kurulması düşünülen yerler için ortalama ve saatlik rüzgâr hızları, santral sahasına kurulan gözlem istasyonlarından temin edilir. Rüzgâr santrallerinin planlanması aşamasında, rüzgâr atlasları ilk başvuru kaynakları olmalıdır [20].



Şekil 3.4: Rüzgar tribünü [21]

3.2.1 Türbin Çeşitleri

Rüzgâr türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Rüzgâr enerjisinin kaynak kullanım ölçeği için, çok sayıda rüzgâr türbini bir rüzgâr çiftliğini oluşturmak amacıyla birbirine yakın olarak inşa edilir.

En basit anlamda bir rüzgâr türbini 3 bölümden oluşur.

Pervane Kanatları:

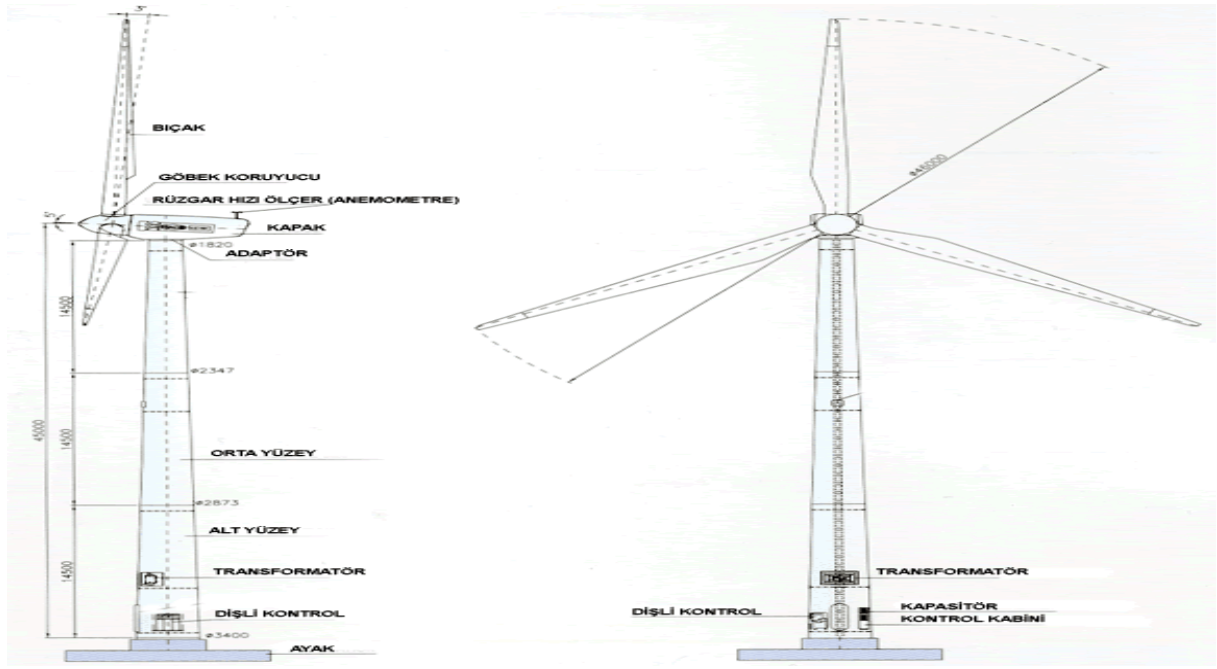
Rüzgâr estiği zaman pervanenin kanatlarına çarparak onu döndürmeye başlar. Bu sayede rüzgâr enerjisi ile kinetik(hareket) enerjisi elde edilmiş olur. Pervaneler rüzgâr estiğinde aynı yönde dönecek şekilde tasarlanmışlardır.

Şaft:

Pervanelerin dönmesiyle ona bağlı olan şaft da dönmeye başlar. Şaftın dönmesiyle de motor içinde hareket oluşur ve motorun çıkışında elektrik enerji sağlanmış olur.

Jeneratör(Üreteç):

Oldukça basit bir çalışma yöntemi vardır. Elektromanyetik indüksiyon ile elektrik enerjisi üretilmiş olur. Küçük oyuncak arabalardaki elektrik motoruna benzer bir sistemdir. İçinde mıknatıslar bulunur. Bu mıknatısların ortasında da ince tellerle sarılmış bir bölüm bulunur. Pervane şaftı döndürdüğü zaman motor içindeki bu sarım bölgesi, etrafındaki mıknatısların ortasında dönmeye başlar. Bunun sonucunda da alternatif akım (AC) oluşur [21].



Şekil 3.5 2MW'lık Bir Rüzgâr Türbininin Yapısı[21]

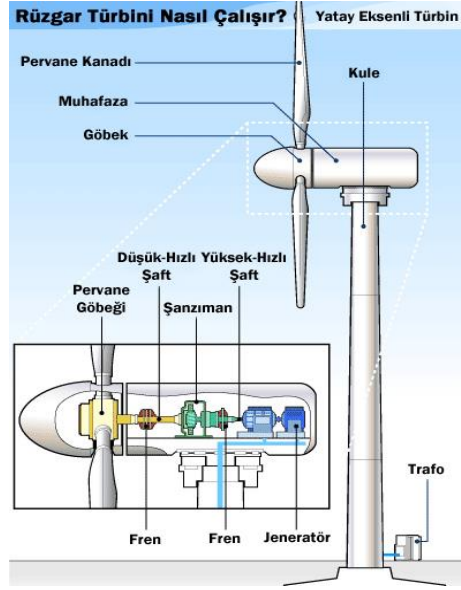
Kullanımdaki rüzgâr türbinleri boyut ve tip olarak çok çeşitlilik gösterse de genelde dönme eksenine göre sınıflandırılır. Rüzgâr türbinleri dönme eksenine göre "yatay eksenli rüzgâr türbinleri" (YERT) ve "düşey eksenli rüzgâr türbinleri" (DERT) olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

3.2.1.1 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbinleri(YERT)

Bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgâr yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgâr yönüyle dik açı yaparlar. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir. Rotor, rüzgârı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir.

Yatay eksenli türbinlerin çoğu, rüzgârı önden alacak şekilde tasarlanır. Rüzgârı arkadan alan türbinlerin yaygın bir kullanım yeri yoktur. Rüzgârı önden alan türbinlerin iyi tarafı, kulenin oluşturduğu rüzgâr gölgelenmesinden etkilenmemesidir. Kötü tarafı ise, türbinin sürekli rüzgâra bakması için dümen sisteminin yapılmasıdır.

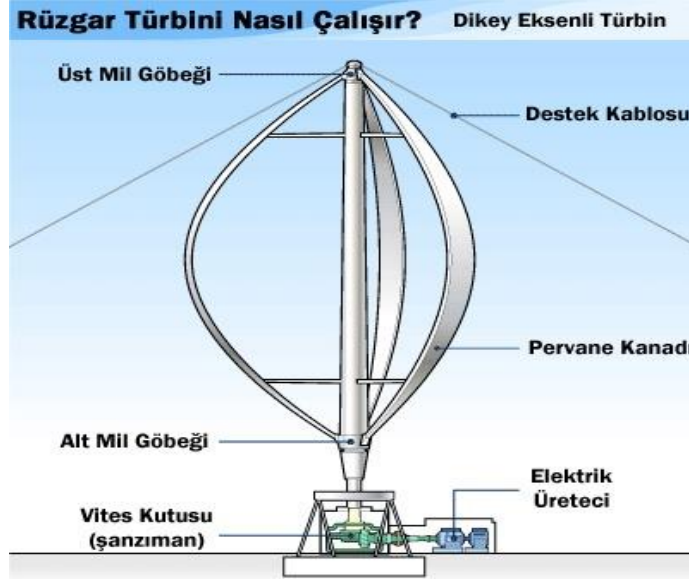
Yatay eksenli türbinlere örnek olarak pervane tipi rüzgâr türbinleri verilebilir. Bu tip türbinlerin kanatları tek parça olabileceği gibi iki ve daha fazla parçadan da oluşabilir. Günümüzde en çok kullanılan tip üç kanatlı olanlardır. Bu türbinler elektrik üretmek için kullanılır. Geçmişte çok kanatlı türbinler tahıl öğütmek, su pompalamak ve ağaç kesmek için kullanılmıştır [22].



Şekil 3.6 Yatay Eksenli Rüzgâr Türbininin Yapısı [21]

3.2.1.2Düşey Eksenli Rüzgâr Türbini(DERT)

Düşey eksenli yere dik olacak şekilde tasarlanmıştır. Daima rüzgârın geleceği yöne göre ayarlanır. Yatay ekseninin rüzgâra göre ayarlanmasına gerek yoktur. Genelde ilk hareket olarak elektrik motoruna ihtiyaç duymaktadır. Türbin yardımcı tellerle ekseninden sabitlenmiştir. Deniz seviyesine yakın yerlerde daha az rüzgâr aldığından cihazın verimi düşük olmaktadır. Ancak tüm gerekli donanımlar yer seviyesinde olması bir avantaj olsa da, tarım arazileri için olumsuz etkisi fazla olmaktadır. Savonius tipi, darrieus tipi gibi çeşitleri vardır. Daha çok deney amaçlı üretilmiştir. Ticari kullanımı çok azdır [22].



Şekil 3.7 Dikey Eksenli Rüzgar Türbininin Yapısı [20]

Darrieus tipi

Darrieus tipi düşey eksenli rüzgâr türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan bir elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği darrieus tipi rüzgâr türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek tork elde edilir. Rüzgârın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur.

Savonius tipi

Savonius türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir. En yaygını iki adet kepçenin bulunduğu durumdur ve “S” şeklini andıran bir görüntüsü vardır. Savonius türbininde akışkan içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve burada dönel akışlar meydana gelir. Bu dönel akışlar Savonius türbininin performansını düşürür, bu nedenle elektrik üretiminde pek fazla kullanılmazlar. Daha çok su pompalama amaçlı ve rüzgâr ölçümlerinde kullanılan anemometre olarak kullanılırlar.



a) Savonius Tipi Rüzgâr Türbini

b) Darrieus Tipi Rüzgâr Türbini

Şekil 3.8 Dikey Eksenli Rüzgar Türbini Çeşitleri[20]

3.2.2 Türbin Parçaları ve Teknolojisi

3.2.2.1.Nacelle (Türbin Kafa Kısım)

Rüzgar türbininin dişli kutusunu ve jeneratör dahil ana parçalarını içine alır. Servis personeli tribün kafa kısmına türbin kulesinden girebilir. Tribün kafa kısmının solunda rüzgar türbin rotoru, rotor bıçakları ve hub bulunur.

3.2.2.2.Türbin Bıçakları (Kanatları)

Rüzgarı yakalar ve onun gücünü rotor hub'a aktarır. 600 KW'lık modern bir rüzgar türbininde her bir rotor bıçakları 20 m (66 ft) uzunluğundadır ve bir uçak kanadının oldukça benzeri olarak dizayn edilmektedir.

3.2.2.3 Düşük Hız Dişlisi

Rüzgar türbinini rotor hub yüksekliğinden dişli kutusuna bağlar. 600 KW lık modern bir rüzgar türbin rotoru 19-30 dönü /dakika (RPM) kadar nispeten yavaş döner. Şaft, aerodinamik frenleri işletebilecek hidrolik sistemleri borulara bağlar.

3.2.2.4 Dişli Kutusu

Solunda düşük hızlı şaft vardır. Düşük hızlı şafttan yaklaşık olarak 50 kat daha hızlı dönen yüksek hızlı şaftın ise sağındadır.

3.2.2.5 Yüksek Hız Dişlisi

Yaklaşık 1.500 devir/dakika (RPM) ile döner ve elektrik jeneratörünü çalıştırır. Acil bir mekanik disk freni ile birliktedir. Aerodinamik frenler kusurlu olduğu zaman veya türbin hizmette olduğu zaman mekanik fren devreye girer.

3.2.2.6 Elektrik Jeneratör

Ekseriya indüksiyon jeneratörü veya asinkronous jeneratör olarak bilinir. Modern bir rüzgar türbininin maksimum elektrik gücü halen 500-1500 kilovat (1.5 MW) kadardır.

3.2.2.7 Elektronik Kontrolcü

Elektronik kontrolcü, rüzgâr türbininin şartlarını sürekli olarak takip eden ve yaw mekanizmasını kontrol eden bir bilgisayar bulundurur. Herhangi bir bozukluk (dişli kutusu veya jeneratörün aşırı ısınması gibi) durumunda türbini otomatik olarak durdurur ve türbin operatörü bilgisayarına modem hattı ile çağrı mesajı gönderir.

3.2.2.8 Hidrolik Sistem

Türbinin aerodinamik frenlerini ayarlamak için kullanılır.

3.2.2.9 Soğutma Birimi Fanı

Elektrik jeneratörünü soğutur. Ayrıca dişli kutusunun yağını soğutan bir yağ soğutma birimini de bulundurur. Bazı türbinler su soğutmalı jeneratörlere sahiptir.

3.2.2.10 Kule

Rüzgâr türbininin kulesi, tribün kafa kısmını ve rotoru üzerinde taşır. Genellikle kulenin yüksek olması bir avantajdır çünkü rüzgâr hızları yerden yükseldikçe artar. Tipik olarak 600 KW lık modern bir rüzgâr türbininin kulesi 40-60 m yüksekliktedir (bir 13-20 katlı bina yüksekliği kadar). Kuleler ya tüp ya da kafes biçimindedir. Tüp biçimli kuleler çalışanlar için daha avantajlıdır, çünkü gerektiğinde bir merdivenle içerden türbinin tepesine çıkmak daha kolaydır. Kafes kulelerin avantajı esas olarak ucuz oluşlarıdır.

3.2.2.11 Yaw Mekanizması

Yaw mekanizması, rüzgâr vanasını kullanarak rüzgâr yönünü belirleyen elektronik kontrolcü tarafından işletilir. Rüzgâr yönü değiştiği zaman, normal olarak o anda yaw sadece bir kaç derece kadar olacaktır. Rüzgâra karşı nacelle ile rotoru döndürmek için elektrik motorlarını kullanır.

3.2.2.12 Anemometre ve Rüzgâr Vanası

Rüzgârın hızını ve yönünü ölçmek için kullanılırlar. Rüzgâr hızı 5 m/s ye eriştiğinde türbini harekete geçirmek için rüzgâr türbininin elektronik kontrolcüsü tarafından anemometrenin gönderdiği elektronik sinyaller kullanılır. Eğer rüzgâr hızı 25 m/s i aşarsa bilgisayar, türbini ve çevresindekileri korumak için rüzgâr türbinini otomatik olarak durdurur. Rüzgâr vanasından gelen sinyaller, rüzgâr türbini elektronik kontrolcüsü tarafından alınarak, yaw mekanizması yardımıyla rüzgâra karşı türbini döndürmek için kullanılır [23].

3.2.3 Rüzgar Türbin Aerodinamiği

Çok modern türbinlerde kanatlar ve hub'dan oluşan rotor ve nacelle, türbin kulesinin rüzgar alan tarafına yerleştirilir. Bu özellikle yapılır, çünkü kulenin arkasına geçen hava akımı oldukça düzensiz (türbülanslı) olur.

Rotorun dönmesini sağlayan şüphesiz rüzgârdır. Fakat gerçekte bu hava moleküllerinin tam olarak rotor pervanelerine çarpmasından bir parça daha karışıktır. Modern rüzgâr türbinleri uçak ve helikopter teknolojilerini ve ayrıca onların gelişmiş bir kaç ipucunu ödünç almıştır. Çünkü rüzgâr türbinleri gerçekte rüzgar hız ve rüzgar yönünün değiştiği çok farklı bir ortamda çalışır.

3.2.3.1 Kaldırma

Bir uçağın kanadı üzerindeki hava molekülleri, üst yüzeyi boyunca daha alttaki yüzeye göre daha hızla hareket eder. Bu, daha üst yüzeydeki basıncın daha az olması demektir. Bu durum, kaldırmayı meydana getirir, yani, uçağın uçmasını mümkün kılan yukarıya doğru çekme kuvvetidir. Kaldırma rüzgârın yönüne diktir. Kaldırma olayı, çatı işi yapan insanlar tarafından yüzyıllardan beri iyi bilinmektedir. Eğer çatı malzemesi alt yapıya uygun şekilde yerleştirilmemişse, çatının rüzgâr almayan yüzeyindeki materyalin daha çabukça parçalandığını onlar tecrübeleriyle bilirler.

3.2.3.2 Dişli Kutusu Kullanım Amacı

Rüzgar türbin motorunun dönmesiyle oluşan güç, ana şafttan dişli kutusu ve yüksek hız şaftına aktarılarak jeneratöre güç katarları şeklinde aktarılır.

Ana şaft doğruca jeneratöre bağlanamaz mı? Eğer basit bir jeneratör kullanılırsa, bir 50 Hz AC (alternatif akım) a , 2,4 veya 6 kutuplu 3 fazlı gridle bağlanabiliriz. Dakikada 1.000 veya 3.000 dönülü (rpm) oldukça yüksek hızda bir türbine sahip olmak zorunda kalmış oluruz. 43 m yarıçaplı bir kanat ve kanatın en uç noktasının ses hızının 2 katından daha fazla hızda döndürmeye zorlanması sebebiyle, bu bağlanma unutulmuştur. Başka bir olasılık, yavaş - hareket eden çok kutuplu bir AC jeneratörü inşa etmektir. Fakat eğer jeneratörü doğrudan bir gride bağlamak isterseniz, 30 rpm lik makul bir dönme hızında bağlantı için 200 kutuplu bir jeneratörle bağlantı yapmak gerekir (yani 300 mıknatıslı). Başka bir problem de tork (moment veya döndürücü kuvvet) sayısı ile kabaca orantılı olması gereken jeneratörün motor kütlelerinin idaresidir.

Böylece doğrudan idare edilen bir jeneratör herhangi bir durumda daha küçük tork ve daha fazla hız oldukça ağır (ve pahalı) olacaktır. Pratik çözüm, çoğunlukla endüstriyel makinelerde kullanılan ters doğrultulu ve araba motorlarındaki gibi bir dişli kutusu kullanmaktır. Bir dişli kutusuyla bir rüzgâr türbininden alınan yavaş dönüşlü yüksek tork gücü ve jeneratör için kullanılan yüksek hızlı düşük tork gücü arasında dönüşüm sağlanır. Bir rüzgâr türbinindeki dişli kutusu, ‘dişleri değiştirmez ‘. O normal olarak jeneratör ve motor dönümleri arasındaki bir tek dişlinin hızına sahiptir. 600 veya 750 KW lık bir makine için, diş oranı tipik olarak yaklaşık 1/50 dir. Bu özel dişli kutusu biraz gariptir, çünkü iki jeneratörlük yüksek hızlı uçlara sahiptir.

Jeneratör bağlantısının sağına doğru tam altında, portakal renkli cihazlar hidrolik olarak işletilen acil disk frenleridir.

Bir jeneratörün içine doğru hareket eden iç soğutma fanı vardır. O motorun bitiminde yerleştirilen stator olarak adlandırılan parlak manyetik çelik bir silindir içinde gizlenmiştir. Radyatör benzeri yüzey, jeneratörü soğutur. Gerçek bir jeneratör üzerinde detayları görmek zordur. Bu sebeple, biz onu ayrı, ayrı ele alacağız ve yapılan bazı basitleştirilmiş modeller hakkında aşağıdaki sayfalarda bilgi vereceğiz.

3.2.3.3 Rüzgâr Türbin Jeneratörleri

Rüzgâr türbin jeneratörleri mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürürler. Elektrik gridleriyle basit bağlantılı rüzgâr türbin jeneratörlerinin diğer üretim birimleriyle karşılaştırıldığında bir parça garip oldukları görülür. Birinci sebep, jeneratörün çok dalgalı mekanik bir güç (tork) üreten bir güç kaynağı (rüzgâr türbin motoru) ile çalışmak zorunda olmasıdır. Bu bölümde elektrik, manyetizma ve özellikle alternatif akım hakkında bilgi sahibi olduğunuz kabul edilir. Eğer şu ifadelerden herhangi biri volt (V), faz, üçlü faz, Hz, gibi, size anlaşılmaz geliyorsa, elektrik bölümüne bir göz atmalı ve alternatif akım, üç fazlı alternatif akım, elektromanyetizma ve endüksiyon konularını okumalısınız.

3.2.3.4 Voltaj (Gerilim) Üretimi

Büyük rüzgar türbinlerinde (100 veya 150 kW üzeri) türbin tarafından üretilen voltaj, ekseriya 690 V ve 3 fazlı alternatif akımdır (AC). Bu akım, lokal elektrik gridindeki standarda bağlı olarak, sonradan dönüştürücü (transformer) vasıtasıyla yakınındaki rüzgar türbinine voltajı yükseltmek için, (veya kule içine) 10.000 ve 30.000 V arasındaki bir yere gönderilir. Büyük üreticiler, 50 Hz lik rüzgâr türbin modellerini (dünyanın çoğundaki elektrik gridleri için) ve 60 Hz lik modelini (Amerika'daki elektrik gridleri için) desteklerler.

3.2.3.5 Soğutma Sistemi

Jeneratörler çalışırken soğutulmaya ihtiyaç duyar. Çoğu türbinlerde soğutma, türbini bir kanala sıkıştırıp, havayı soğutucu büyük bir yelpaze kullanarak gerçekleştirilir, az sayıda üretici suyla soğutulmuş jeneratörler kullanır. Suyla soğutmalı jeneratörler daha sıkıştırılmış olarak kurulabilir, bu bazı verimlilik avantajları da sağlar, fakat sıvı soğutma sisteminden ısıyı uzaklaştırmak için, nacelle içinde bir radyatöre ihtiyaç duyarlar.

3.2.3.6 Türbinin Devreye Girdiği Rüzgâr Hızı

Rüzgâr türbinleri ekseriya, 3-5 m/s arasındaki rüzgar hızlarında çalışmaya başlayacak şekilde dizayn edilir. Türbini çalıştırmaya başlatan bu en küçük hız değerine cut in rüzgâr hızı denir

3.2.3.7 Türbinin Devreden Çıktığı Rüzgâr Hızı

Rüzgâr türbinleri yüksek rüzgâr hızlarında, örneğin 25 m/s üzerindeki hızlar görüldüğünde türbini korumak ve çevresine zarar vermemek için, durdurulmaya programlanır. Türbinin durdurulduğu bu hız, cut out rüzgâr hızı diye adlandırılır.

BULANIK TOPSİS VE VİKOR YÖNTEM PROSESLERİ

Belirli bir amaca veya bir probleme yönelik olarak alternatifler içerisinde en uygun olanını seçme işlemi karar verme olarak tanımlanabilir. Karar verme eyleminin gerçekleştirilmesi için öncelikle aralarından seçim yapılabilecek olan birden fazla alternatifin bulunması gerekmektedir. Uygulamada karşılaşılan problemler genellikle karmaşık bir yapıya sahiptir ve birden fazla kriter içermektedir [24].

Kriterler, alternatiflerin etkinliklerini ölçmeye yarayan ve alternatiflerin değerlendirmesi için temel alınacak özelliklerden oluşan değerlendirme ölçütleridir [25]. Bir başka deyişle kriterler, çözüm sürecinde karar verme için gerekli olan standartları oluşturmaktadırlar. Çok sayıda kriterden oluşan bir yapının analizi için çok kriterli karar verme teknikleri geliştirilmiştir. Genel olarak çok kriterli karar verme teknikleri, çok sayıda, birbirinden bağımsız ve farklı şekillerde ifade edilen kriterleri dikkate almaktadır [26]. Bu tür problemlerde alternatifler arasından seçim yapılabilmesi için çok sayıda kriterin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir [27]. Çok kriterli karar verme problemlerinde alternatifler kümesi içerisinde mevcut kriterleri göz önüne alınması ile en iyi alternatifin seçimi söz konusudur [28].

4.1 Bulanık Mantık Kavramı

1965 yılında Lütü, Asker Zadeh [29,30] tarafından ortaya atılan bulanık küme, mantık ve sistem kavramları, doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi sonucunda 74 farklı yöntemin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması sonucunda ortaya çıkmıştır.

Bulanık mantık, klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme

ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sözel ifadeler kullanır. İşte bu sözel ifadelerin makinelere aktarılması matematiksel bir temele dayanır.

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine ihtiyaç gösteren hallerdir [31].

4.2 Bulanık TOPSİS Yöntemi

Bulanık TOPSİS Yöntemi bulanık ortamlarda grup kararı vermeye yarayan bir yöntemdir. Yöntem kolay anlaşılabilir ve efektif şekilde ÇKKV (Çoklu Kriterli Karar Verme) problemlerinde hem nitel hem de nicel data'lara uygulanabilir. Bulanık TOPSİS Yöntemi bulanık ortamda çoklu kritere dayalı, az karar verici ve alternatif gruplarının bulunduğu problem için çok uygundur ve ayrıca esnek bir yapıya sahiptir.

Bulanık TOPSİS Yöntemi karar vericilerin karar kriterleri ve alternatifler hakkındaki değerlendirmelerini üçgen veya yamuk bulanık sayılar kullanarak her bir alternatif için yakınlık katsayısı olarak hesaplayan ve sıralayan bir yöntemdir [32].

Yöntem alternatiflerin değerlendirilmesinde ortaya çıkan sübjektifliğin grup kararı vermede ortaya çıkardığı sorunları ortadan kaldırmakta ve daha iyi karar verme imkanı tanımaktadır. Bulanık TOPSİS Yöntemi dilsel belirsizliğin olduğu ve grup kararı vermeyi gerektiren problemlerin çözümünde oldukça kullanışlıdır. Kullanılan dilsel değerler ve ifadeler aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 4.1: Kriterler Değerlendirmesi İçin Dilsel İfadeler

Açıklama	Önem Derecesi					
	Önem Derecesi			Eşleniği		
Eşit (E)	(	1.00	1.00 3.00)	(	0.33	1.00 1.00)
Az Önemli (AÖ)	(	1.00	3.00 5.00)	(	0.20	0.33 1.00)
Yeteri kadar Önemli (YÖ)	(	3.00	5.00 7.00)	(	0.14	0.20 0.33)
Çok Önemli (ÇÖ)	(	5.00	7.00 9.00)	(	0.11	0.14 0.20)
Çok Çok Önemli (ÇÇÖ)	(	7.00	9.00 9.00)	(	0.11	0.11 0.14)

Çizelge 4.2: Alternatif değerlendirmesi için dilsel ifadeler

Açıklama	Önem Derecesi
Zayıf (Z)	(0.10 0.10 0.30)
Orta Zayıf (OZ)	(0.10 0.30 0.50)
İyi (İ)	(0.30 0.50 0.70)
Orta İyi (OI)	(0.50 0.70 1.00)
Çok İyi (Çİ)	(0.70 1.00 1.00)

Bulanık TOPSIS Yönteminin aşamaları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Karar vericilerin ve değerlendirme ölçütlerinin belirlenmesi

Adım 2: Ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Adım 3: Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Adım 4: Ağırlıklandırılmış karar matrisinin oluşturulması

Adım 5: Pozitif ideal ve negatif ideal çözümün belirlenmesi

Adım 6: Seçeneklerin pozitif ideal ve negatif ideal çözümden uzaklıklarının hesaplanması

Adım 7: Yakınlık katsayılarının hesaplanması

Adım 8: Yakınlık katsayısına göre seçeneklerin sıralanması

K tane karar vericiden oluşan ve i. alternatfin kriter değerini gösterdiği bir grupta alternatiflerin kriter değeri aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1(+) \tilde{x}_{ij}^2(+) \dots (+) \tilde{x}_{ij}^K] \quad (4.1)$$

W_{kj} nin j. karar kriterinin önem ağırlığını gösterdiği bir grupta karar kriterlerinin önem ağırlıkları aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1(+) \tilde{w}_j^2(+) \dots (+) \tilde{w}_j^K] \quad (4.2)$$

Normalleştirme aşağıdaki eşitlikler ile yapılabilmektedir:

Bulanık karar matrisinden hareketle normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur ve R ile gösterilir

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad , j, \text{ kazanç ölçütü} \quad (4.3)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad , j, \text{ maliyet ölçütü} \quad (4.4)$$

Burada,

$$c_j^* = \max_i c_{ij}, j \in B \quad (4.5)$$

$$c_j^- = \min_i a_{ij}, j \in C \quad (4.6)$$

Daha sonra normalleştirilmiş karar matrisi ağırlıklar vektörü ile çarpılır ve matris hesaplanır:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad , i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (4.7)$$

$$\tilde{v}_{ij} = w_j \otimes \tilde{r}_{ij} \quad (4.8)$$

Pozitif ve negatif ideal çözümler, aşağıdaki eşitlikler ile verilir:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \quad (4.9)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (4.10)$$

Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlerden uzaklıkları hesaplanır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i=1,2,\dots,m \quad (4.11)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i=1,2,\dots,m \quad (4.12)$$

Son olarak yakınlık katsayıları hesaplanır ve bu katsayılar göre alternatifler sıralanır:

Yakınlık katsayısı ile tüm alternatiflerin sıralaması belirlenir. Yakınlık katsayısı:

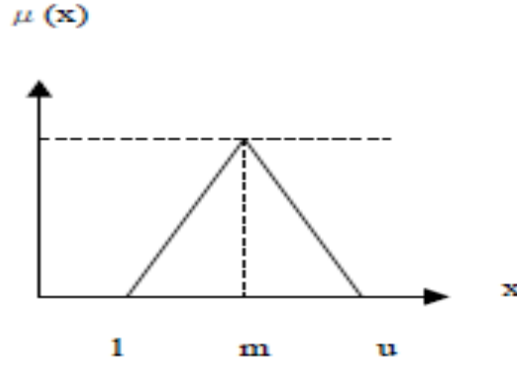
$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad , i=1,2,\dots,m \quad (4.13)$$

İle hesaplanır.

CC_i değeri, 1'e yaklaşırken alternatif A_i , BPİÇ(A^*)'e uzaklaşırken alternatif A , BNİÇ(A^-)'ye yaklaşır.

4.3 Üçgen Bulanık Sayılar

Bir üçgen bulanık sayı (triangular fuzzy number – TFN) $(l | m, m | u)$ veya (l, m, u) şeklinde gösterilir. Bir bulanık olay için l , m ve u parametreleri, sırasıyla mümkün en küçük değeri, en çok beklenen değeri ve mümkün en büyük değeri temsil eder. Şekil 4.1’de örnek olarak bir bulanık üçgen sayı verilmiştir [33].



Şekil 4.1 $(l | m | u)$ Bulanık Üçgen Sayısı

Her üçgen bulanık sayının lineer gösterimleri sol ve sağ taraf şeklinde aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir.

$$\mu(x|\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (4.14)$$

4.4 VIKOR Yöntemi

Serafim Opricovic [34] tarafından ilk olarak ortaya atılan VIKOR yöntemi, 2004 yılında Opricovic ve Tzeng tarafından [35] yapılan çalışma ile birlikte çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Bu tarihten sonrada, çeşitli araştırmacılar tarafından farklı alanlardaki sınırlı sayıda çalışmada, yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Yöntemin temelinde, alternatifler ışığında ve değerlendirme kriterleri kapsamında bir uzlaşık çözümün tespit edilmesi vardır. Bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olarak ortaya çıkmaktadır [35,36]. Uzlaşık çözüm ifadesiyle, alternatifler için çok kriterli sıralama indeksi oluşturarak, belirli koşullar kapsamında ideal çözüme en yakın kararın verilmesi anlaşılmaktadır. Her alternatifin, karar verme kriterleri bazında

değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralamaya ulaşılır [37]. Yöntem ayrıca, karar verici grubun sonuç üzerinde etkili olabilmesine de imkan vermektedir. Maksimum grup faydasının ve buna bağlı olarak karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının sonuca etki ettirilebilmesi söz konusudur.

VIKOR yöntemi ilk olarak 2004'te Opricovic ve Tzeng'in yaptığı çalışma ile literatüre girmiştir [35]. TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin karşılaştırılmalı analizinin yapıldığı bu çalışmada yazarlar, her iki yöntemin benzer ve farklı yönlerini ortaya koymuşlar, VIKOR metodunun karar vericilerin fikirlerini daha iyi yansıtabildiğini belirtmişlerdir. Tzeng vd. [36], yapmış oldukları çalışmada toplu taşımada kullanılacak alternatif yakıtların değerlendirmesi konusunu ele almışlar, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Araştırmacılar değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında ise AHP yöntemine başvurmuşlardır.

Opricovic [37], 2009 yılında yapmış olduğu çalışmasında, VIKOR yöntemini su kaynakları planlamasında kullanmıştır. Karar verme problemi, VIKOR ile modellenmiş ve uzlaşık çözüme ulaşılmıştır. Opricovic ve Tzeng [35], genişletilmiş VIKOR yöntemini; TOPSIS, PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Baraj tipi seçimi ile ilgili uygulama yapan araştırmacılar, PROMETHEE yöntemiyle VIKOR yönteminin sonuçlar açısından benzer değerler verdiğini ifade etmişler, her iki yöntemde maksimum grup faydasını kullandığını ancak VIKOR yönteminin minimum pişmanlığı da dikkate aldığını belirtmişlerdir. ELECTRE II yönteminin göreceli olarak VIKOR yöntemiyle benzer sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Chu vd. [38], bilgi yönetimi alanında yaptıkları çalışmada; bu alandaki faaliyetlerde ortaya çıkan çok kriterli karar verme problemlerinde, TOPSIS, SAW ve VIKOR yöntemlerinin kullanımını incelemişlerdir. TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin daha gerçekçi çözümler sunduğunu, ayrıca VIKOR yönteminin uygun stratejilerin seçimi bakımından daha kolay uygulanabildiğini ifade etmişlerdir.

Wu vd. [39], performans ölçümü amacıyla üç bankayı yirmi üç kriter kapsamında bulanık ortamda analiz etmiş, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Lixin vd. [40] tedarik zinciri yönetimi alanında yaptıkları çalışmalarından dört kriter kullanarak dört farklı alternatif içerisinden iyi lojistik servis sağlayıcının seçimini ANP ve VIKOR yöntemini kullanarak yapmışlardır. Ertuğrul ve Karakaşoğlu [41], yapmış oldukları çalışmada, Ege bölgesindeki banka şubelerinin performansını ölçmek amacıyla on adet kriter belirlemiş ve VIKOR yöntemiyle performans ölçümü yapmışlardır.

Yang ve Wang [42], ürün yaşam döngüsü üzerine yaptıkları çalışmalarında AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Guo ve Zhang[43] tedarikçi seçimi yaptıkları çalışmalarında

kaba küme teorisi ve VIKOR yöntemlerini bütünleşik olarak kullanarak beş kriter kapsamında karar verme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sanayei vd [44], yapmış oldukları çalışmada bulanık ortamdaki tedarikçi seçim problemi için VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Mulavdic [45], sürdürülebilir gelişim çerçevesinde, konut tipi seçimine ilişkin çalışmasında VIKOR yöntemini uygulamışlardır. Kaya ve Kahraman [46], yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimi problem için, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak bulanık ortamda bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Wu vd [47] yapmış oldukları çalışmada farklı üniversite tiplerine ilişkin bir seçim çalışması yapmışlardır. Liou ve Chuang [48] ise dış kaynak kullanımı için farklı alternatifleri inceledikleri çalışmalarında ANP ve VIKOR yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Farklı uygulama alanlarında kullanılmış olan VIKOR yönteminin adımları şu şekilde özetlenebilir:

1.Adım: Her bir kriter için en iyi(f_i^*) ve en kötü(f_i^-) değerler belirlenir. Eğer i kriteri oluşturulan model açısından “ fayda ” anlamında bir değerlendirme kriteri ise, $i= 1, 2, \dots, n$ için;

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilir

2. Adım: Her bir alternatif için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. w_i , kriter ağırlıklarını ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) (f_i^* - f_i^-) \quad (4.16)$$

$$R_j = \max [w_i (f_i^* - f_{ij}) (f_i^* - f_i^-)] \quad (4.17)$$

3. Adım: Her bir alternatif veya değerlendirme birimi için Q_j değerleri hesaplanır.

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*) \quad (4.18)$$

Yukarıdaki denklemde, $S^* = \min_j S_j$; $S^- = \max_j S_j$; $R^* = \min_j R_j$; $R^- = \max_j R_j$ değerlerini ifade etmektedir. v değeri, maksimum grup faydasını sağlayan strateji için ağırlığı ifade ederken, $(1- v)$ değeri karşıt görüştekilerin minimum pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir. Genellikle $v = 0,5$ kullanılır.

4. Adım: Elde edilen Q_j , S_j R_j değerleri sıralanır. En küçük Q_j değerine sahip alternatif ya da değerlendirme birimi, alternatifler grubu içerisindeki en iyi seçenek olarak ifade edilir.

RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRALİ YER SEÇİMİ

Son yıllarda gittikçe artan enerji darboğazı ile birlikte enerji üretiminin sabit kalması ya da çok az artması buna karşılık tüketimin ise çok büyük bir hızla artış göstermesi elektrik enerjisinin gelecekte büyüyen bir sorun olarak karşımıza çıkacağını göstermektedir. Enerji sorununa umut verici bir çözüm olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma uygulamaları, günümüzde gittikçe artan bir öneme sahip olmaktadır [49].

Ülkemizde bulunan büyük potansiyelinden henüz tam verim alarak kullanamadığımız rüzgâr enerjisi bu konuda ön plana çıkan bir başlık olmaktadır. Bu sebeple araştırmalar kurulu olan sınırlı kapasiteyi arttırmanın haricinde kurulu kapasitenin tam verimle çalışması üzerine de yapılmaktadır. Tam verim de günümüz şartları için gelişmiş teknolojinin yanında iyi incelenen ve hesaplarının, mikro konuşlandırmalarının detaylı ve dikkatlice yapıldığı bir araştırma aşamasıyla sağlanmaktadır [50].

Tesis yerinin seçilmesinde birçok etkenin dikkate alınması gerekmektedir. Bütün etkenlerin incelenerek sistem üzerine olan etkilerinin değerlendirilmesi ve buna göre uygulamalar yapılması sistemin verimini arttıracaktır. Yatırım yapan şirketler açısından verimliliğin arttırılması önemli unsurlardan birisi olan maliyeti düşürerek yapılan yatırımın geri dönüşünün daha kısa sürede kazanılması sağlanacaktır. Böylelikle bu alana yönelecek firmaların sayısı kar marjının yüksek olması nedeniyle artacaktır. Bu sayede enerji kaynakları için yeni alternatifler artmış olmaktadır. Yatırım öncesi yapılan hesaplamalarda ki %10'luk bir hatanın kurulum ve çalışma esnasında oluşturacağı kaybın %30 oranında olması da bu konunun önemini bir kez daha ön plana çıkarmaktadır.

Yapılan tez çalışması kapsamında öncelikle rüzgâr enerjisiyle ilgili olarak bilgiler ayrıntılı şekilde yukarıda incelenmiştir. Rüzgâr enerjisi santrali kurulumu için hangi bölgenin seçileceğine insanın düşünme özelliğini yansıtarak kullandığı sözel ifadelerin göz önünde bulunduğu ve sayısal ve gerçekçi sonuçlara dayandırılmak üzere Bulanık TOPSİS ve VIKOR yöntemleri kullanılmasına karar verilmiştir.

Uygulamada kullanılan kriterler ve alternatifler ile bunlar arasındaki ilişkiler konuyla ilgili uzmanların bilgi ve tecrübeleri ile literatürde yer alan çalışmalardan faydalanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada Özellikle enerji ve yenilenebilir enerjisi konusunda uzman Prof. Dr. Kamil Kaygusuz, Endüstri mühendisliği bölümünde enerji konusunda çalışmaları olan öğretim üyesi Doç. Dr. Ali Fuat GÜNERİ ve Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü yüksek lisans ve doktora öğrencileriyle yapılan anket sonuçları kullanılmıştır. Bu anketler göz önüne alınarak yapılan değerlendirmeler kriterlerin seçiminde esas olmuştur. İkili karşılaştırma matrisleri Çizelge 5.1’de verilen ölçeğe göre, uzmanlardan alınan görüşlere göre oluşturulmuştur.

5.1 Kriterler ve Alt Kriterler ile Alternatiflerin Belirlenmesi ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Kriter ve alt kriterlerin belirlenmesinde uzman kişilerden alınan fikirler ve bilgilerden yararlanılmıştır. Bu şekilde rüzgar karakteristiği, maliyet, teknik ve sosyal olmak üzere 4 ana kriter belirlenmiştir.

Belirlenen her bir ana kriter için, uzman kişilerden alınan fikirler ve literatürdeki çalışmalara bakılarak alt kriterler oluşturulmuştur. Aşağıda belirlenen ana kriterler ve alt kriterler ayrıntılı şekilde açıklanmıştır.

Rüzgâr Karakteristiği (RK): Bu ana kriter rüzgar santrali yapılacak bölgedeki rüzgarın ne kadar olduğu hakkındaki alt kriterleri içermektedir. İçerdiği kriterler rüzgar hızı, rüzgar yoğunluğu hakim rüzgar yönü ve çevresel engellerdir. Bu kriterde olması istenen rüzgar hızının ve yoğunluğunun fazla olması ve hakim rüzgar yönünün çok fazla değişken olmaması ve çevresel engellerin en az seviyede olması göz önüne alınacaktır.

- **Rüzgar Hızı (RH):** Rüzgar hızı, meteorolojinin ve EİE nin yayınlamış olduğu rüzgar haritası üzerindeki rüzgar hızı verilerinin en az 1 yıllık olmak şartıyla ortalaması alınan değerler olarak hesaplanır.

- **Rüzgâr Yoğunluğu (RY):** Rüzgar yoğunluğu bir bölge için m^2 'deki üretilebilecek enerji miktarının ifadesidir. Kısaca m^2 başına düşen enerji miktarıdır.
- **Hakim Rüzgar Yönü (HRY):** Santralde kurulmuş olan her bir rüzgar türbini gelen rüzgardan enerjisini aldıktan sonra, aynı paraleldeki rüzgar türbinine giden rüzgar ve enerjisi azalmaktadır. Bu nedenle türbinleri hakim rüzgar yönüne göre yerleştirmek kurulacak olan rüzgar çiftliğindeki verimliliği arttıracaktır.
- **Çevresel Engeller (ÇE):** Rüzgar çiftliğinin kurulacağı arazideki ağaç, bina vb yapılar yüzünden rüzgar hızı azalabilir ve yönü değişebilir. Bu şekilde olan arazilerdeki enerji verimliliği önemli derecede düşmektedir. Kurulacak olan santralin çevresel engeller yönünden en az seviyede olan alana kurulması gerekmektedir.

Maliyet (M): Kurulacak olan tesisin maliyet fonksiyonları bu ana kriter altında incelenecektir. Arazi maliyeti, Montaj maliyeti, Kablolama maliyeti, lojistik maliyeti ve işletme ve bakım maliyeti olarak alt kriterler sıralanmıştır. Artan rekabet ile birlikte artık şirketlerin ilk baktığı kriterler arasında maliyet unsuru önemli yer tutmaktadır.

- **Arazi Maliyeti (AM):** Rüzgar santralının kurulacağı bölgenin miktarını belirtmektedir. Kurulacak olan rüzgar tribünleri satın alınan arazinin tamamına yerleştirilmediğinden bölüm bölümde arazi alımı gerçekleştirilebilir.
- **Montaj Maliyeti (MM):** Kurulacak olan rüzgar türbinlerinin boyutuna göre montaj maliyetleri değişmektedir. Kurulacak bölgenin fiziki yapısı ve kurulacak olan arazinin yola uzaklığı bu maliyet unsurunda önemli yer belirlemektedir. Türbin sayısı ve kapasitesi değişkin olabileceğinden tez çalışmasında montaj ve kablolama ve lojistik maliyeti MW başına göre dikkate alınmıştır.
- **Kablolama Maliyeti (KM):** Tesis kurulum bölgesinin alt yapı ağı ve elektrik dağıtım merkezlerine olan uzaklığa göre farklılık gösteren maliyet kriteridir. Kablolama işlemi yapılırken enerji taşınım verimliliği en yüksek seviyede olması gerekmektedir. Alt yapı ağındaki farklılıklardan ya da arazinin şekil ve konumundan bu verimlilik oranları değişim göstermektedir.
- **Lojistik Maliyeti (LM):** Rüzgar çiftliklerinin kurulacakları bölgedeki ulaşım hattı kolaylığı bu maliyet kriterini etkilemektedir. Bölgenin deniz taşımacılığına olan yakınlığı, ana yollara olan mesafesi gibi unsurlar bu kriteri etkilemektedir.

- **İşletme ve Bakım Maliyeti (İBM):** İşletme ve bakım maliyetleri türbinlerin boyutuna, yaşına ve araziye kurulmuş olan türbinlerin ömürlerini etkileyen etmenlere göre değişir. Bununla birlikte rüzgâr çiftliğindeki bir arızanın düzeltilmesi esnasındaki enerji üretimindeki azalma da işletme ve bakım maliyetlerine etki etmektedir. Çalışan kişiler, alınan danışmanlık hizmetleri de işletme giderleri açısından bu alt kriteri etkiler.

Teknik (T): Bu kriterde rüzgar çiftliğinin kurulacak olan bölgede dikkat edilmesi gereken alt yapı durumu, trafo merkezlerine olan uzaklık, elektrik ihtiyacı olan merkezlere uzaklık, askeri ve sivil radar merkezlerine olan uzaklık, havaalanına olan uzaklık gibi alt kriterlerden meydana gelmektedir. Sistemin teknik açıdan incelenmesinin nedeni kurulacak olan rüzgar çiftliğinin teknik olarak kurulumun mümkün olup olmadığını tespit etmektir.

- **Alt Yapı Durumu (AD):** Kurulacak olan tesisin o bölgedeki elektrik dağıtım ağının yeterli kapasitelerinin olması rüzgar santrallerinin kurulumunda önemli role sahiptir. Bölgedeki dağıtım hattının seviyesi santralden verimli şekilde dağıtılan enerji miktarını da etkilemektedir.
- **Trafo Merkezlerine olan Uzaklık (TMU):** Kurulacak rüzgar çiftliğinde oluşturulan alt yapının yanı sıra ana toplama merkezi olan trafolarla olan mesafede enerji kaybında önemli rol oynamaktadır. Bu kayıplar en aza indirgenecek şekilde dağıtım merkezlerine olan uzaklık göz önüne alınmalıdır.
- **Elektrik İhtiyacı Olan Merkezlere Uzaklık (EMU):** Tesiste üretilecek enerjinin dağıtımından kaynaklanacak olan enerji kayıplarını en aza indirmek ve enerjinin maddi olarak geri dönüşümünü sağlamak için elektriğin satılacağı olan merkezlere tesisin yakın olması önemli yere sahiptir.
- **Askeri ve Sivil Radar Merkezlerine Uzaklık (ASMU):** Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin elektromanyetik cihazların doğru çalışmamasına neden olmaktadır. Bu nedenden dolayı tesisin askeri bölgelerden uzak yerlere kurulması gerekmektedir. Askeri bölgede bulunak elektromanyetik cihazlarda rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir.
- **Havaalanına Olan Uzaklık (HU):** Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinin dönen kanatları elektromanyetik iletişim cihazlarında girişime neden olabileceğinden hava alanına yakın yerlere santral kurulması da pek istenen bir durum değildir.

Sosyal (S): Sosyal etkenler yerleşim birimlerine olan uzaklık, tarihi ve turistik alana olan uzaklık, ormanlık alan ve doğal yaşam ve ekolojik çevre gibi alt kriterleri incelemektedir. Bu kriterde tesisin etrafında bulunanların nasıl etkilendiği açısından önem taşımaktadır.

- **Yerleşim Birimlerine olan Uzaklık (YBU):** Rüzgâr çiftliğindeki türbin kanatlarını radyo, televizyon, telefon ve uydu cihazları gibi elektromanyetik iletişim cihazlarının çalışmasını bozmaktadır. Bu yüzden şehir merkezinin hemen yakınında kurulması insanlar tarafından çok olumlu karşılanmamaktadır.
- **Tarihi ve Turistik Alana Uzaklık (TTU):** Tarihi alanların devlet tarafından koruma altında olması ve bu yerlere bu tarihi yapıları bozacak bir yatırımın yapılmasına izin verilmemesi günümüzde gelişmiş teknolojisi ile bu yapıya aykırı bir görüntü oluşturan rüzgâr türbinlerini kurulum yeri açısından sınırlandırmaktadır. Bu başlıklardaki diğer alt kriterlerin benzeri şekilde turistik alanlarda da böyle tesislerin kurulması istenmemektedir.
- **Ormanlık Alan (OA):** Ormanların koruma altında olmasında dolayı rüzgâr santralleri için kurulumuna izin verilmemektedir. Ayrıca yüksek ağaçların bulunduğu arazide kurulacak olan rüzgâr çiftliğinin verimliliğinin düşürecektir olması nedeniyle ormanlık alana tesis kurulması çok cazip gelmemektedir.
- **Doğal Yaşam ve Ekolojik Çevre (DYEÇ):** Rüzgâr türbinlerinin hareketi kuşlara zarar verebilir. Bu zarar kule veya kanatlarla çarpışma sonucu kuşların ölmesi veya türbinler çevresindeki kuş dinlenme veya beslenme yerlerinin bozulması olarak iki şekildedir. Sadece kuşlar için değil diğer bitki ve hayvan türlerinin ve onların su sistemlerinin kompleks yapısının parçalanması için de endişeler vardır. Her bir bölgenin ekolojik önemi rüzgar tarla gelişiminden olumsuz etkilenir. Bu nedenle rüzgâr tarlaları çevresel olarak hassas bölgelerin dışına kurulmaya çalışılmaktadır.

Yukarıda açıklanan kriterler göz önüne alınarak birbiriyle karşılaştırılacak olan alternatifler, Güneydoğu Anadolu Akdeniz ve Ege, bölgesinden seçilmiştir.

Bölge 1:Şanlıurfa

Bölge 2:Mersin

Bölge 3:İzmir

Seçilen alternatiflerden birincisi Güneydoğu bölgesinde yer alan Şanlıurfa ilimizdir. Bu ilimizde son yıllarda rüzgar santrali kurulumunda yeni yatırımlar yapılmaktadır. Yapılan

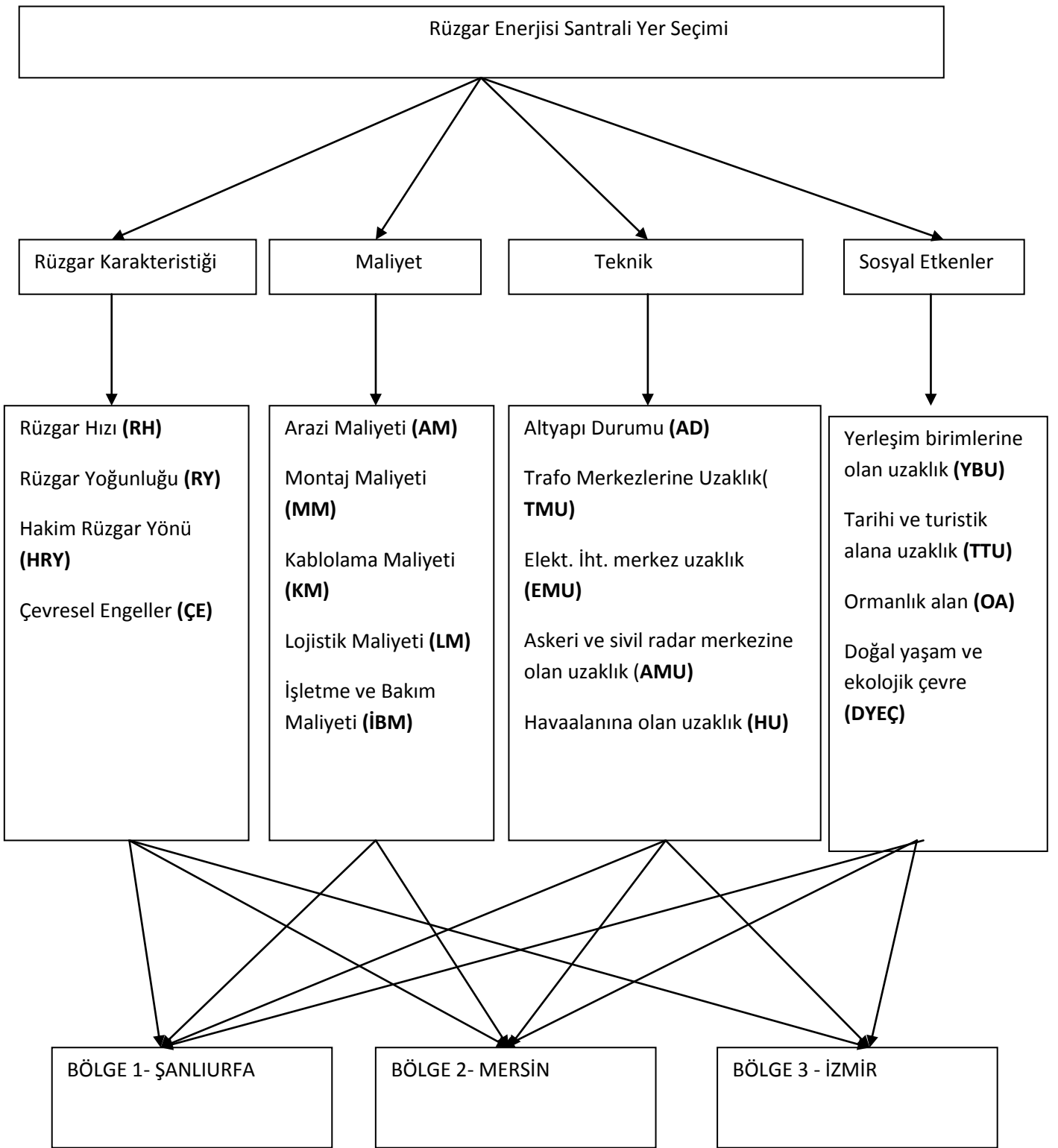
yatırımlarla birlikte bölgedeki enerji ihtiyacının ufak bölümü de olsa rüzgar enerjisinden sağlanmaktadır. Türkiye Elektrik İşleri Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından hazırlanan rüzgar enerjisi potansiyeli atlasında (REPA), Şanlıurfa ili içi yapılan çalışmalarda, Şanlıurfa ili sınırları içerisindeki her bölgede 50 metre yükseklikteki rüzgar hızı dağılımı (EK A-1) ve kapasite faktörü dağılımı (EK A-2) verilmiştir. Şanlıurfa ili fiziki yapı olarak dağlık ve engebeli alanları çok olduğundan rüzgar santrali kurulum alanı çok fazla değildir. REPA 'nın Şanlıurfa ili rüzgar enerjisi santrali kurulabilecek alanlar haritasında bu daha net anlaşılmaktadır (EK A-3). Rüzgar santrali kurulumunda rüzgar karakteristiğinin yanı sıra trafo merkezleri ve enerji nakil hatlarının yeterli seviyede olması yapılan yatırımın geri dönüşünü daha minimize edecektir. Şanlıurfa iliyle ilgili olarak trafo merkezleri ve enerji nakil hatları haritası da bize bunu göstermektedir (EK A-4). Bu haritalar yapılacak olan yatırımın en doğru şekilde sonuçlanmasında bize yardımcı olmaktadır.

Diğer alternatif olarak belirlenen ilimiz Akdeniz bölgesinde yer alan Mersin ilidir. Rüzgar hızı dağılımı haritasına göre şehrin batı kısmının rüzgar santraline daha uygun olduğu görülmektedir (EK B-1). Kapasite faktörü dağılım haritasına göre Mersin ilinin güney batısında, denizden esen rüzgarla birlikte rüzgar yoğunluğunun da artmasıyla santral verimliliği artmaktadır (EK B-2). Rüzgar enerjisi santrali kurulabilir alanlar haritasına bakıldığı zaman şehrin güney batısının bir bölümü santral kurulumuna elverişlidir (EK B-3). Şehrin doğusu kurulumu daha elverişli olmasına rağmen kapasite faktörü haritasına göre o bölgeye santral kurulumu çok cazip olmamaktadır. Trafo merkezleri ve enerji nakil hatları haritasına göre şehrin doğusunda bulunan hat batıya kadar uzanmakta ve sahil şeridi boyunca devam etmektedir (EK B-4). Sahil şeridine kurulabilecek rüzgar santralinin enerji nakli sırasındaki kayıp en aza inecektir.

Son alternatif olarak belirlenen ilimiz Ege bölgesinde bulunan İzmir ilidir. Türkiye'nin önemli sanayi şehirden olan ve elektrik enerjisine ciddi ihtiyaç duyan İzmir, rüzgar bakımından da oldukça bereketli illerimizdendir. REPA'nın hazırladığı rüzgar hızı dağılım haritasına baktığımız zaman şehrin kuzey ve batı kısımları rüzgar santrali bakımından inanılmaz elverişli durumdadır (EK C-1). Kapasite faktörü dağılım haritasına göre şehrin kuzey ve batı kısımları rüzgar santrali için oldukça verimlidir (EK C-2). İzmir ilinin çoğu bölgesi rüzgar enerjisi santrali kurulabilir alanlar haritasına göre oldukça elverişlidir (EK C-3). İzmir ilinin rüzgar santrali bakımından oldukça fazla bulunması trafo merkezleri ve enerji nakil hatları altyapısını olumlu yönde etkilemiştir. Şehri kuzeyden güneye, doğudan batıya saran enerji

nakil hatları sayesinde rüzgar santrali kurulumu için en uygun şehirlerimizden bir tanesidir (EK C-4).

Kriterler ve alternatifler belirlendikten sonra oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1 Uygun Yer Seçimi İçin Oluşturulan Hiyerarşik Yapı

5.2 Bulanık TOPSİS Yöntemi İle Rüzgar Yer Seçimi Uygulaması

Karşılaştırma matrisinin boyutu büyüdükçe karar vericinin ikili karşılaştırma yapması güçleşmektedir. Bu nedenle alternatif sayısı fazla olduğunda dilsel değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Dilsel değerlendirme sonucunda alternatiflerin toplam ağırlığı bulunur, daha sonra normalizasyon işlemi yapılarak her alternatifin göreceli önem derecesi bulunmuş olur.

Çizelge 5.1 Kriterler Değerlendirmesi İçin Dilsel İfadeler

Açıklama	Önem Derecesi	Önem Eşleniği	Derecesi
Eşit (E)	(1.00 1.00 3.00)	(0.33 1.00 1.00)	
Az Önemli (AÖ)	(1.00 3.00 5.00)	(0.20 0.33 1.00)	
Yeteri kadar Önemli (YÖ)	(3.00 5.00 7.00)	(0.14 0.20 0.33)	
Çok Önemli (ÇÖ)	(5.00 7.00 9.00)	(0.11 0.14 0.20)	
Çok Çok Önemli (ÇÇÖ)	(7.00 9.00 9.00)	(0.11 0.11 0.14)	

Çizelge 5.2 Alternatif değerlendirme için dilsel ifadeler

Açıklama	Önem Derecesi
Zayıf (Z)	(0.10 0.10 0.30)
Orta Zayıf (OZ)	(0.10 0.30 0.50)
İyi (İ)	(0.30 0.50 0.70)
Orta İyi (OI)	(0.50 0.70 1.00)
Çok İyi (Çİ)	(0.70 1.00 1.00)

Literatürde dilsel değerlendirmeler farklı şekillerde ele alınmıştır. Bu dilsel ifadeler Kriter ağırlıklandırmaları için, Eşit (E), Az Önemli (AÖ), Yeteri kadar Önemli (YÖ), Çok Önemli (ÇÖ) ve Çok Çok Önemli (ÇÇÖ) olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin kriterler ile olan ilişkilerinin ortaya konulmasında, Zayıf (Z), Orta Zayıf (OZ), İyi (İ), Orta İyi (OI) ve Çok İyi (Çİ) şeklinde alınmıştır. Daha sonra bu her bir ifadeye karşılık gelecek şekilde bir değer atanır. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de dilsel ifadeler ve atanan değerler görülmektedir

Burada yapılan uygulamada veriler uzman kişilere yollanılan anket çalışması sonucunda elde edilmiştir. Öncelikle tercihlerde uzmanlar tarafından göz önünde bulundurulana ana kriterler ve

bu ana kriterlere ait alt kriterler belirlenmiştir. Belirlenen bu kriterlerin, tercih yapılacak alternatiflere göre değerlendirmeleri yapılmış ve göreceli önemleri tespit edilmiştir.

Elde edilen göreceli önem değerlerinin bulunmasından sonra uzmanlar ile görüşülerek alternatiflere ait veriler elde edilmiş ve son olarak elde edilen tüm veriler değerlendirilmiş, santralin kurulacağı bölgeler göz önüne alınarak bir sıraya konulmuştur.

Bu sıralama Buckley'in Bulanık AHP yöntem ile belirlenen kriter ağırlıkları Bulanık TOPSİS ve VİKOR yöntemleri ile birleştirilerek yapılan sıralamayla uygun alternatif seçilmiştir. Uygulamada kullanılan yöntemlerle ilgili bilgiler önceki bölümlerde ele alınmış ve anlatılmıştır. Uygulamanın son kısmında ise ele alınan yöntemler karşılaştırılmıştır.

En yüksek performansa sahip kriter belirleme amacına yönelik olarak bulanık ikili karşılaştırma yolu ile elde edilen karar kriterlerinin bulanık ağırlıkları Çizelge 5.3'de verilmiştir. Bu ağırlıklandırmalar Buckley'in Bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 Karar Kriterlerinin Bulanık Ağırlıkları

Kriterler Özet	Ağırlıklar
C1.1	(0.249 0.367 0.520)
C1.2	(0.165 0.258 0.269)
C1.3	(0.142 0.153 0.237)
C1.4	(0.192 0.221 0.310)
C2.1	(0.172 0.274 0.287)
C2.2	(0.155 0.175 0.226)
C2.3	(0.112 0.160 0.163)
C2.4	(0.178 0.198 0.310)
C2.5	(0.178 0.193 0.273)
C3.1	(0.191 0.230 0.271)
C3.2	(0.159 0.215 0.227)
C3.3	(0.179 0.190 0.256)
C3.4	(0.134 0.186 0.207)
C3.5	(0.165 0.179 0.249)
C4.1	(0.271 0.372 0.405)
C4.2	(0.173 0.203 0.173)
C4.3	(0.168 0.204 0.181)
C4.4	(0.316 0.220 0.318)

Bu aşamada (4.3) ve (4.4) nolu formüller kullanılarak Çizelge 5.4’de verilen normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

Çizelge 5.4 Normalize Edilmiş Fuzzy Karar Matrisi

C1	C2	C3
A1 (0.367 0.567 0.800)	(0.367 0.567 0.833)	(0.300 0.500 0.700)
A2 (0.233 0.367 0.600)	(0.300 0.500 0.733)	(0.300 0.433 0.667)
A3 (0.567 0.833 0.900)	(0.567 0.800 1.000)	(0.433 0.667 0.833)
C4	C5	C6
(0.567 0.800 1.000)	(0.633 0.900 1.000)	(0.233 0.433 0.633)
(0.567 0.833 0.900)	(0.500 0.700 1.000)	(0.367 0.567 0.800)
(0.367 0.600 0.733)	(0.233 0.433 0.633)	(0.367 0.567 0.800)
C7	C8	C9
(0.367 0.567 0.833)	(0.167 0.367 0.567)	(0.167 0.300 0.500)
(0.300 0.500 0.733)	(0.567 0.800 1.000)	(0.300 0.500 0.733)
(0.500 0.733 0.900)	(0.567 0.800 1.000)	(0.300 0.500 0.733)
C10	C11	C12
(0.233 0.433 0.633)	(0.367 0.567 0.833)	(0.500 0.733 0.900)
(0.300 0.433 0.667)	(0.367 0.600 0.733)	(0.367 0.567 0.833)
(0.567 0.800 1.000)	(0.567 0.800 1.000)	(0.567 0.833 0.900)
C13	C14	C15
(0.433 0.633 0.900)	(0.367 0.600 0.733)	(0.367 0.533 0.667)
(0.300 0.500 0.700)	(0.300 0.500 0.733)	(0.367 0.600 0.733)
(0.233 0.433 0.667)	(0.367 0.600 0.733)	(0.367 0.500 0.767)

C16	C17	C18
(0.233 0.433 0.633)	(0.433 0.667 0.833)	(0.500 0.733 0.900)
(0.433 0.667 0.833)	(0.233 0.433 0.633)	(0.367 0.567 0.800)
(0.167 0.300 0.500)	(0.300 0.433 0.667)	(0.367 0.567 0.833)

(4.7) ve (4.8) nolu formüller kullanılarak Çizelge 5.5’de gösterilen ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulur.

Çizelge 5.5 Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi

C1	C2	C3
A1 (0.091 0.208 0.416)	(0.060 0.146 0.224)	(0.043 0.076 0.166)
A2 (0.058 0.135 0.312)	(0.049 0.129 0.197)	(0.043 0.066 0.158)
A3 (0.141 0.306 0.468)	(0.093 0.207 0.269)	(0.062 0.102 0.198)

C4	C5	C6
(0.109 0.177 0.310)	(0.109 0.246 0.287)	(0.036 0.076 0.143)
(0.109 0.184 0.279)	(0.086 0.191 0.287)	(0.057 0.099 0.181)
(0.070 0.133 0.228)	(0.040 0.119 0.182)	(0.057 0.099 0.181)

C7	C8	C9
(0.041 0.090 0.136)	(0.030 0.073 0.176)	(0.030 0.058 0.136)
(0.034 0.080 0.119)	(0.101 0.158 0.310)	(0.053 0.097 0.200)
(0.056 0.117 0.147)	(0.101 0.158 0.310)	(0.053 0.097 0.200)

C10	C11	C12
(0.045 0.100 0.172)	(0.058 0.122 0.189)	(0.089 0.140 0.230)
(0.057 0.100 0.181)	(0.058 0.129 0.166)	(0.066 0.108 0.213)
(0.108 0.184 0.271)	(0.090 0.172 0.227)	(0.101 0.159 0.230)

C13	C14	C15
(0.058 0.117 0.187)	(0.060 0.107 0.183)	(0.099 0.199 0.270)
(0.040 0.093 0.145)	(0.049 0.089 0.183)	(0.099 0.223 0.297)
(0.031 0.080 0.138)	(0.060 0.107 0.183)	(0.099 0.186 0.311)

C16	C17	C18
(0.040 0.088 0.110)	(0.073 0.136 0.151)	(0.158 0.162 0.286)
(0.075 0.135 0.144)	(0.039 0.088 0.115)	(0.116 0.125 0.254)
(0.029 0.061 0.087)	(0.050 0.088 0.121)	(0.116 0.125 0.265)

(4.9) ve (4.10) nolu formüller kullanılarak Çizelge 5.6’de gösterilen bulanık pozitif ideal çözüm (BPİÇ) ve bulanık negatif ideal çözüm (BNİÇ) değerleri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 5.6 BPİÇ ve BNİÇ değerleri

C1	C2	C3
A+ (0.470 0.470 0.470)	(0.270 0.270 0.270)	(0.200 0.200 0.200)
A- (0.060 0.060 0.060)	(0.050 0.050 0.050)	(0.040 0.040 0.040)
C4	C5	C6
(0.310 0.310 0.310)	(0.290 0.290 0.290)	(0.180 0.180 0.180)
(0.070 0.070 0.070)	(0.040 0.040 0.040)	(0.040 0.040 0.040)
C7	C8	C9
(0.150 0.150 0.150)	(0.310 0.310 0.310)	(0.200 0.200 0.200)
(0.030 0.030 0.030)	(0.030 0.030 0.030)	(0.030 0.030 0.030)
C10	C11	C12
(0.270 0.270 0.270)	(0.230 0.230 0.230)	(0.230 0.230 0.230)
(0.040 0.040 0.040)	(0.060 0.060 0.060)	(0.070 0.070 0.070)

C13	C14	C15
(0.190 0.190 0.190)	(0.180 0.180 0.180)	(0.310 0.310 0.310)
(0.030 0.030 0.030)	(0.050 0.050 0.050)	(0.100 0.100 0.100)
C16	C17	C18
(0.140 0.140 0.140)	(0.150 0.150 0.150)	(0.290 0.290 0.290)
(0.030 0.030 0.030)	(0.040 0.040 0.040)	(0.120 0.120 0.120)

Her alternatifin BPİÇ ve BNİÇ'e olan uzaklığının elde edilmesi için (4.11) ve (4.12) nolu formüller kullanılır. Çizelge 5.7 de, bulunan BPİÇ ve BNİÇ sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.7 Bulanık Pozitif ve Negatif Çözüme Olan Uzaklıklar

	d^+	d^-
A1	2.119	1.756
A2	2.134	2.174
A3	1.948	2.374

d^+ : BPİÇ'ye Olan Uzaklıklar Toplamı

d^- : BNİÇ'ye Olan Uzaklıklar Toplamı

Her alternatifin yakınlık katsayısı (4.13) nolu formül kullanılarak Çizelge 5.8'de gösterildiği gibi hesaplanır.

Çizelge 5.8 Bulanık Pozitif ve Negatif Çözüme Olan Uzaklıklar

	CC	Sıralama
A1	0.453	3
A2	0.505	2
A3	0.549	1

Böylece üç rüzgar santral bölgesi; Rüzgar karakteristiği, Maliyet, teknik ve sosyal etkenler karar kriterlerine göre, üç karar verici tarafından yapılan değerlendirmeye göre beğenilirlik

sıralaması; İzmir (Alternatif 3), Mersin (Alternatif 2) ve Şanlıurfa (Alternatif 1) şeklinde gerçekleşmiştir.

5.3 VİKOR Yöntemi İle Rüzgar Yer Seçimi Uygulaması

Her bir kriter için en iyi ve en kötü değerlerin tespit edilmesi; tüm performans ölçme birimlerinin her bir kriter kapsamındaki en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerlerinin tespiti (4.14) nolu formül kullanılarak yapılmıştır. Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.9 Kriterler İçin En İyi (f_i^*) ve En Kötü (f_i^-) Değerler

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
f_i^*	0.800	0.790	0.660	0.800	0.870	0.570	0.720	0.790	0.510	0.790	0.790	0.800	0.640	0.580	0.580	0.660	0.660	0.720
f_i^-	0.380	0.510	0.450	0.580	0.430	0.430	0.510	0.370	0.310	0.430	0.580	0.580	0.440	0.510	0.520	0.310	0.430	0.570

Her Birim için S ve R Değerlerinin Bulunması; S ve R değerleri (4.15) (4.16) nolu formül kullanılarak Çizelge 5.10’de ifade edilmiştir.

Çizelge 5.10 S ve R değerleri

	S	Sıralama	R	Sıralama
A1	0.518	2	0.072	1
A2	0.605	3	0.092	3
A3	0.398	1	0.080	2

Değerlerinin Hesaplanması; Tüm seçenekler için hesaplanan Q değerleri (4.17) nolu formül kullanılarak Çizelge 5.11’de ifade edilmiştir.

Çizelge 5.11 Birimlere ait Q değerleri

	Q	Sıralama
A1	0.289	2
A2	1.000	3
A3	0.199	1

Tüm birimlere ait Q, S ve R değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanışı Çizelge 5.12 'de verilmiştir.

Çizelge 5.12 S, R ve Q değerlerine Göre En İyi Alternatif Bölgeler

	S	Sıralama	R	Sıralama	Q	Sıralama
A1	0.518	2	0.072	1	0.289	2
A2	0.605	3	0.092	3	1.000	3
A3	0.398	1	0.080	2	0.199	1

Böylece üç Rüzgar santralinin kurulacağı bölgeler VİKOR ilk sırayı; İzmir (Alternatif 3) , Şanlıurfa (Alternatif 1) ve Mersin (Alternatif 2) şeklinde gerçekleşmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bir rüzgar santralının ekonomik ve teknik açılardan başarıya ulaşmasının temelinde sağlıklı verilere dayalı olarak hesaplanan enerji üretim miktarları gelmektedir. Bir alandaki rüzgar enerji potansiyelini maksimum düzeyde değerlendirmek için kısa zamana sıkıştırılmamış, detaylı fizibilite çalışmaları yapılmış rüzgar enerjisi santral projeleri üretilmelidir. Bu durum hem yatırımcının önünü görmesine hem de ülke kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanılmasına yardımcı olacaktır.

Dünya ülkeleri ve ülkemiz göz önüne alındığında; ülkemizin bu enerji türünde olan büyük kapasitesine rağmen bu kapasiteyi üretime tam verimle dökemediği görülmektedir. Bu konuda yapılacak çalışmalar hem ülkemizin kaynaklarını maksimum düzeyde kullanma imkânı hem de yeni istihdam alanları doğuracaktır.

Özellikle son günlerde etkisini bir hayli hissetmeye başladığımız küresel ısınma faktörünün de devreye girmesi ile temiz enerji olarak bilinen rüzgar enerjisi bir kez daha gündeme gelmiş ve tüm dünya ülkelerinde bu konuya yönelim artmıştır. Gelecek yıllarda da rüzgar enerjisine olan eğilim artacak ve gelişmiş dünya ülkeleri enerjilerini önemli oranlarda rüzgar enerjisinden sağlayacaklardır.

Karar verme süreci genellikle zor bir süreç olarak görülmektedir. Özellikle belirsiz ortamlarda, pek çok kriterin varlığı altında, birden fazla karar vericinin yer aldığı ve çok sayıda alternatifin içinden seçim yapılmasının gerekli olduğu durumlarda karar vermek güçleşmektedir. Belirsizlik altında ÇKKV yöntemlerinden biri olan Bulanık TOPSİS, bu güçlüğü ortadan kaldırmak için geliştirilmiş olan bir yöntemdir. Çalışmada Bulanık TOPSİS yönteminin algoritması anlatılmış ve rüzgâr santrali yer seçimi değerlendirilmesine yönelik uygulama yapılarak bu konuda verilecek olan kararlar ve yapılacak olan yatırımlara yardımcı

olacak bir çalışma yapılmıştır. Yöntem sayesinde karar verme sürecinin daha kolay bir hale geldiği, belirsizliğin ortadan kaldırıldığı, karar vericiler arasında doğabilecek olası çatışmaların önüne geçildiği ve daha doğru kararlar verilebildiğini söylemek mümkündür.

Performans ölçüm kriterlerinin analizinde AHP tekniğinin, alternatiflerin değerlendirilmesinde ise Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin kullanıldığı modele göre, her iki yöntemde bölgeler arasında en iyi yatırımın İzmir bölgesine yapılacak rüzgar santralinin olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun önemli nedenlerinden biri, o bölgedeki rüzgar karakteristiğinin iyi olması ve üretilen elektrik dağıtımı konusunda yeterli altyapıya sahip olmasıdır.

Rüzgar enerjisi santral yeri seçimi problemi için ana ve alt kriterler belirlenmiş, istenen hiyerarşik yapı oluşturulmuş ve Bulanık TOPSIS çalışması sonucunda Bölge 1 – (0.453), Bölge 2 – (0.505) ve Bölge 3 – (0.549) ağırlıkları elde edilmiş ve en iyi alternatif olarak Bölge 3 tespit edilmiştir. VIKOR çalışması sonucunda ise Bölge 1-(0,289), Bölge 2-(1.000) ve Bölge 3-(0.199) ağırlıkları elde edilmiş ve en iyi alternatif olarak 3.bölge tercih edilmiştir.

Çizelge 6.1 Bulanık Pozitif ve Negatif Çözüm Olan Uzaklıklar

	Bulanık TOPSIS	VIKOR		
	CC	Sıralama	Q	Sıralama
A1	0.453	3	0.289	2
A2	0.505	2	1.000	3
A3	0.549	1	0.199	1

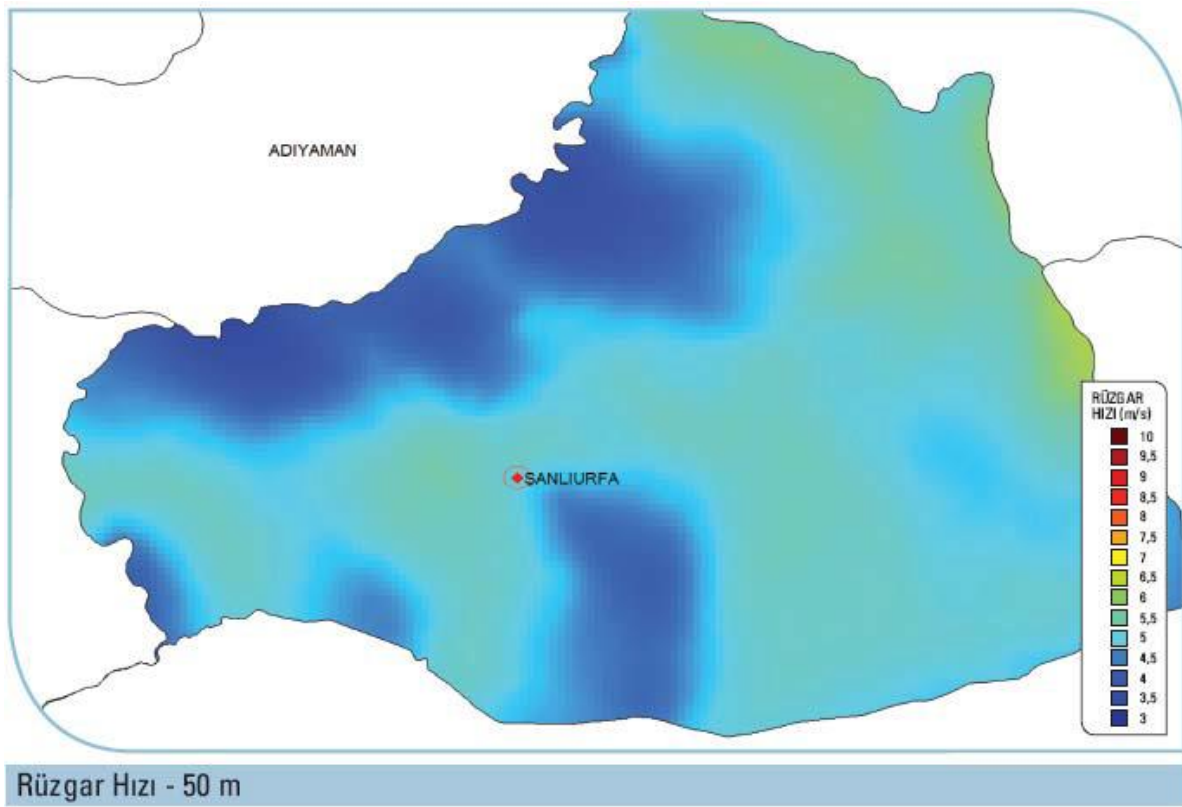
Tablo 5.13 incelendiğinde her iki yöntem için Alternatif 3 yatırım yapılabilir en iyi bölge olacağı tespit edilmiştir. Bu üç bölge de yapılacak herhangi bir yatırım için yatırımın geri dönüşümü ve verimliliği dikkate alındığında en iyi alternatif İzmir olacaktır.

KAYNAKLAR

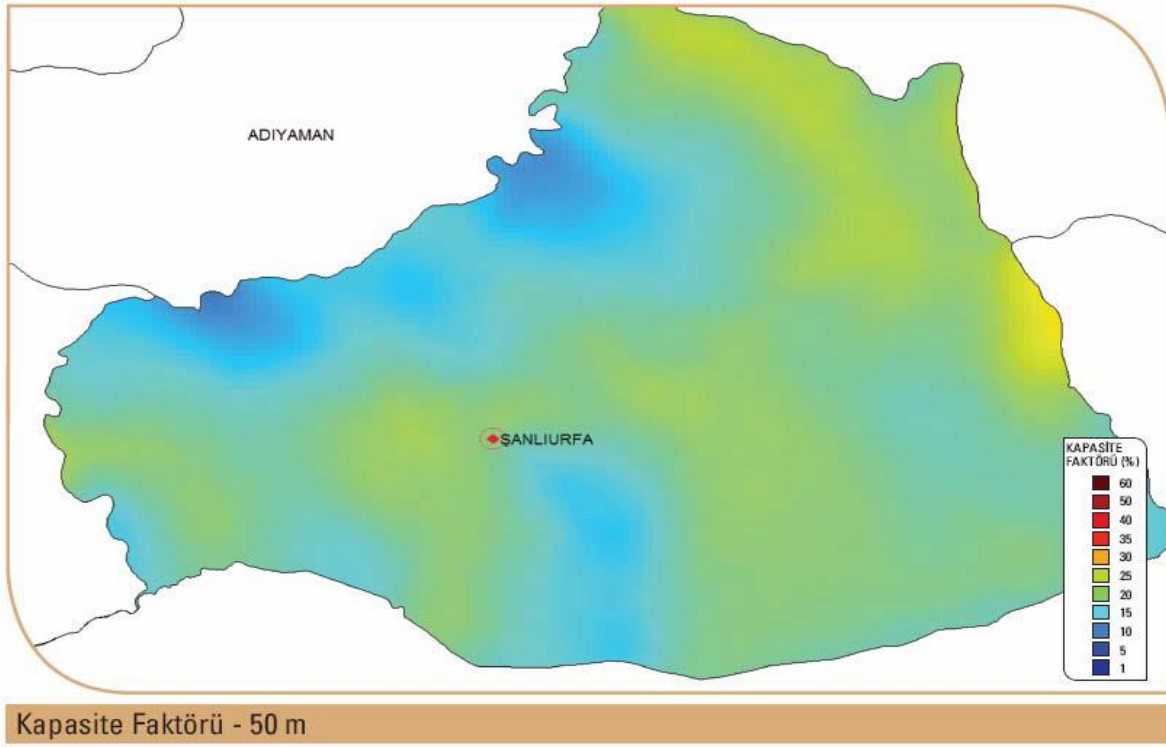
- [1] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu: Kömür Çalışma Grubu Raporu, Ankara: DPT, www2.dpt.gov.tr/dptweb/ekutup96/o496/o496-oku.html, 10 Mayıs 1996,
- [2] Kaya, D, (2004) Renewable Energy Policies in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Resource, Reviews, , 154
- [3] Külebi ,A ,(2007) ,Türkiye'nin Enerji Sorunları ve Nükleer Gerekliklik, Bilgi Yayınevi, İstanbul,47
- [4] Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu, Doğalgaz Enerjisi(Termik), <http://www.nukte.org/dogalgazenerjisi>, (2009)
- [5] Flavin,C ,(1996), A Force to be Reckored With, Renewable Energy World, 36
- [6] Gençoğlu, M.T. (2005). Güneş Enerjisi İle Çalışan Su Pompalama Sistemleri, 94-97.
- [7] Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M. (2000). Türkiye 'nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi, Türkiye 8.Enerji Kongre-si, 8-12 Mayıs 2000. Ankara,63-73.
- [8] Christopher, H. Armstead, H. (1997). Geothermal Energy.
- [9] Saraçoğlu, N. (2004). Türkiye'nin Enerji Üretiminde Biokütle Kaynaklarından Yararlanma Olanakları, V.Ulusal Temiz Enerji Semp. İstanbul,485-497.
- [10] Özyurt, M.(1978). Biyogaz Üretimi ve Ekonomik Yararları, Kükem Dergisi, 1(1):33-36
- [11] Şenpınar A. Ve Gençoğlu M. T.(2009) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması, <http://web.firat.edu.tr/daum/docs/42/10%20YEN%C4%B0LENEB%C4%B0L%C4%B0R%20ENERJ%C4%B0%20--Ahmet%20%C5%9Eenp%C4%B1nar-%C3%B6dendi-6%20syf--49-54.doc>,
- [12] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, www.iei.gov.tr, 15 Kasım 2012,
- [13] Yalçın, U. , (2007)(a). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak Rüzgar Enerjisi Santral Yeri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [14] European Wind Energy Association, Rüzgar Gücü 2012 http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WF12/RzgarGc12.pdf, 15 Kasım 2012,
- [15] Demir, M., Rüzgâr Enerjisinin Çevresel Dezavantajları, <http://www.melikedemir.com/cd.htm>, 23 Kasım 2012
- [16] Özcan, H.H. ,(2009)(a). Rüzgâr Enerjisi Yatırımları ve Isparta İlinde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta
- [17] Global Wind Energy Council, Global Wind Statistics 2012, 7 Şubat 2013,

- [18] Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi' nin Tarihi, <http://www.alternaturk.org/turkiyede-ruzgar-enerjisi.php>, 14 Şubat 2013,
- [19] EWEA, Wind Directions March 2009, A Closer Look At Turkey By Isabelle Valentiny, http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WD/2009_febuary/Country_focus_Turkey_February_March_.pdf, 26 Şubat 2013
- [20] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Rüzgar Enerjisi 2006 Raporu, www.eie.gov.tr,
- [21] Akgün, N. (2004), “Rüzgar Türbin Bileşenleri” Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara
- [22] Fıçııcı, F. ,Dursun, B. Ve Gökçöl, C. (2007) Rüzgar Enerji Sistemlerinden Kaynaklanan Gürültünün İncelenmesi
- [23] Akgün, N. (2005) Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yeni ve Yenilenebilir Enerji Araştırma Çalışmaları, Ankara,
- [24] Baysal, G. ve Tecim, V. , (2006). Katı Atık Depolama Sahası Uygunluk Analizinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Çok Kriterli Karar Yöntemleri ile Uygulaması, 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul,
- [25] Lai, Young-Jou ve Hwang, Ching-Lai (1994). Fuzzy Multiple Objective Decision Making Methods and Applications, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 404, Berlin: Springer-Verlag,
- [26] Ustasüleyman, T. , (2009), Bankacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: AHS-TOPSIS Yöntemi, Bankacılar Dergisi, 69: 33-43,
- [27] Jahanshahloo, G.R.-Lotfi, Hosseinzadeh F. ve Izadikhah M. (2006), Extension of the Topsis Method for Decision Making Problems with Fuzzy Data, Applied Mathematics And Computation, 181:1544-1551,
- [28] Xu, Ze-Shui ve Chen, Jian (2007). An Interactive Method for Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making. Information Sciences, 177: 248-263,
- [29] Zadeh, L.A., (1965). Fuzzy Sets. Information and Control, 8(3).
- [30] Kosko, B., (1994). Fuzzy Thinking, Harper Collins Publishers, 318 .
- [31] Şen, Z., (2001), Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, ISBN: 9758509233, 172 sayfa, Bilge Kültür Sanat Yayınevi, İstanbul,
- [32] Chen, C, Lin, Ching T. ve Huang, S. (2006) A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management, International Journal of Production Economies, 289-301.
- [33] Çanlı, H.ve Kandakoğlu, A. (2007), “Hava Gücü Mukayesesi İçin Bulanık AHP Modeli”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 3(1): 71–82.
- [34] Opricovic, S.(1998) ,Multi-Criteria Optimization of Civil Engineering Systems , Faculty of Civil Engineering, Belgrade,
- [35] Opricovic, S. ve Tzeng, G.H.,(2004), Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, European Journal of Operational Research, 156(2):445-455.
- [36] Chen, L.Y. ve Wang T.,(2009) “Optimizing Partners’ Choice in IS/IT Outsourcing Process: The Strategic Decision of Fuzzy VIKOR”, International Journal of Production Economics, 120:233-242
- [37] Opricovic, S. ve Tzeng, G.H.,(2007) “Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods”, European Journal of Operational Research, 178:514-529.

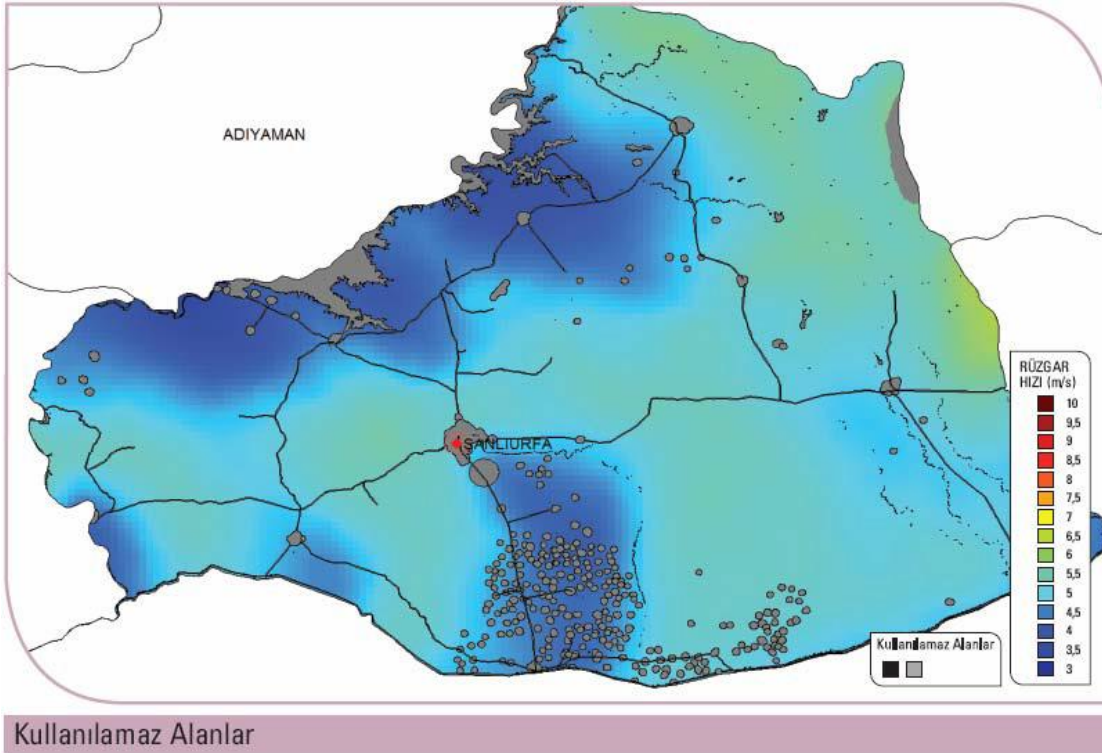
- [38] Tzeng, G.H., Lin, C.W. ve Opricovic, S.,(2005) “Multi- Criteria Analysis of Alternative-Fuel Buses for Public Transportation”, *Energy Policy*, 33(4):1011-1024
- [39] Opricovic, S., (2009)“A Compromise Solution in Water Resources Planning”, *Water Resources Management*, 23:1549-1561.
- [40] Chu, M.T., Shyu, J., Tzeng, G.-H. ve Khosla, R.,(2007), Comparison Among Three Analytical Methods For Knowledge Communities Group Decision Analysis .*Expert Systems with Applications*, 33(4):1011-1024.
- [41] Wua, H.Y. Tzeng, G.H. ve Chen, Y.H.,(2009) “A Fuzzy Mcdm Approach For Evaluating Banking Performance Based On Balanced Scorecard” *Expert Systems with Applications*, 36:10135-10147.
- [42] Yang,C. ve Wang, T., “VIKOR Method Analysis of Interactive Trade in Policy-Making”, *The Business Review*,6(2):77-85.
- [43] Guo, J. ve Zhang, W(2008)., “Selection of Suppliers Based on Rough Set Theory and VIKOR Algorithm”, *Proceedings of the 2008 International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops*, 49-52.
- [44] Sanayei, A., Mousavi, S. ve F., Yazdankhah, A., “Group Decision Making Process For Supplier Selection With VIKOR Under Fuzzy Environment”, *Expert Systems with Applications*, 37:24-30.
- [45] Mulavdic, E(2005), “Multi-Criteria Optimization of Construction Technology of Residential Building Upon The Principles of Sustainable Development”, *Thermal Science*, 9(3):39-52.
- [46] Kaya, T. ve Kahraman, C(2010), “Multicriteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul”, *Energy*, 35:2517-2527.
- [47] Wu, H.Y. , Chen, J.K. ve Chen, I.S(2010), “Innovation Capital Indicator Assessment of Taiwanese Universities: A Hybrid Fuzzy Model Application”, *Expert Systems with Applications*, 37:1635-1642.
- [48] Liou, J.J.H ve Chuang, Y.T(2010)., “Developing A Hybrid Multi-Criteria Model For Selection of Outsourcing Provider”, *Expert Systems with Applications*, 37:3755-3761.
- [49] Özcan, H.H. ,(2009)(b). Rüzgâr Enerjisi Yatırımları ve Isparta İlinde Kurulabilecek Rüzgâr Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta
- [50] Yalçın ,U., (2007)(b). Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanarak Rüzgâr Enerjisi Santral Yeri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

ŞANLIURFA İLİ RÜZGAR KAYNAK BİLGİLERİ

Şekil EK-A.1 Rüzgar Hızı Dağılımı -50 metre

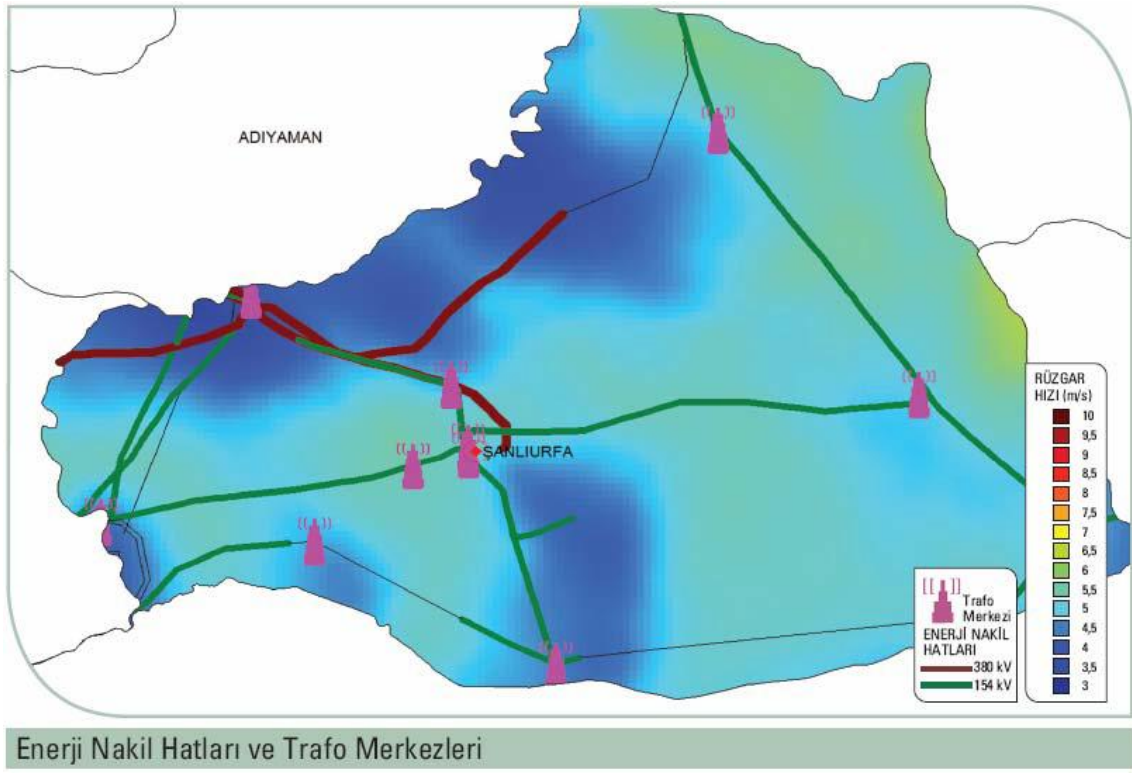


Şekil EK-A.2 Kapasite Faktörü Dağılımı -50 metre



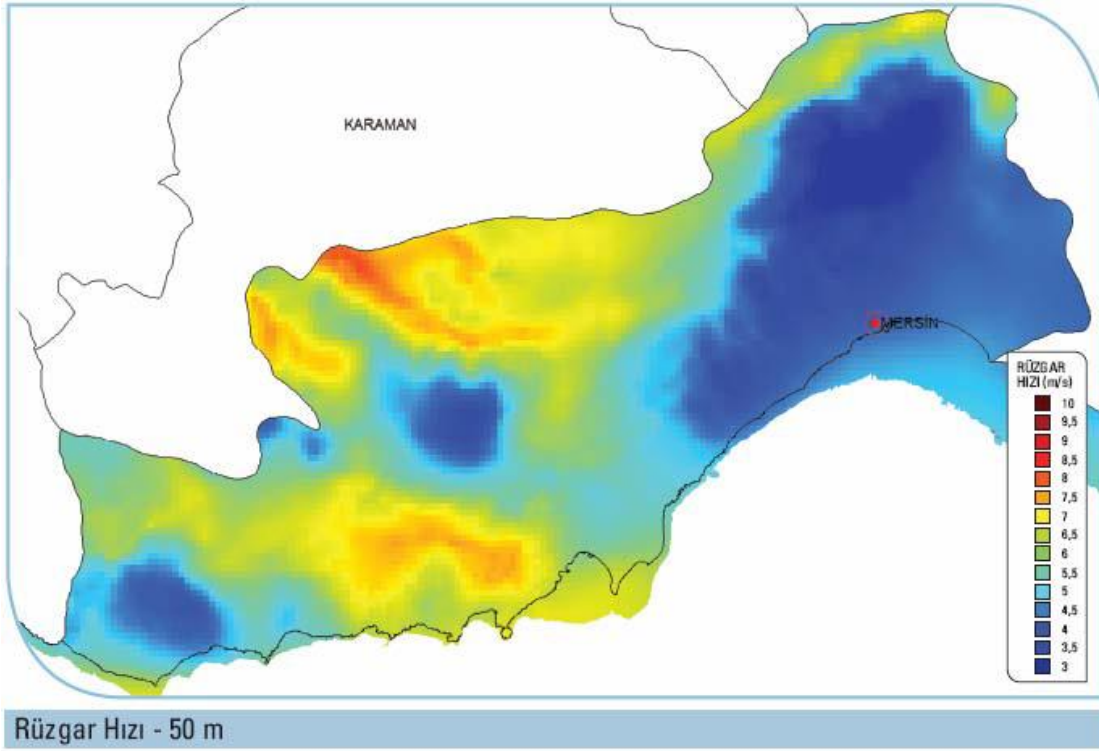
Gri renkli alanlara rüzgar santrali kurulamayacağı kabul edilmiştir.

Şekil EK-A.3 Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar

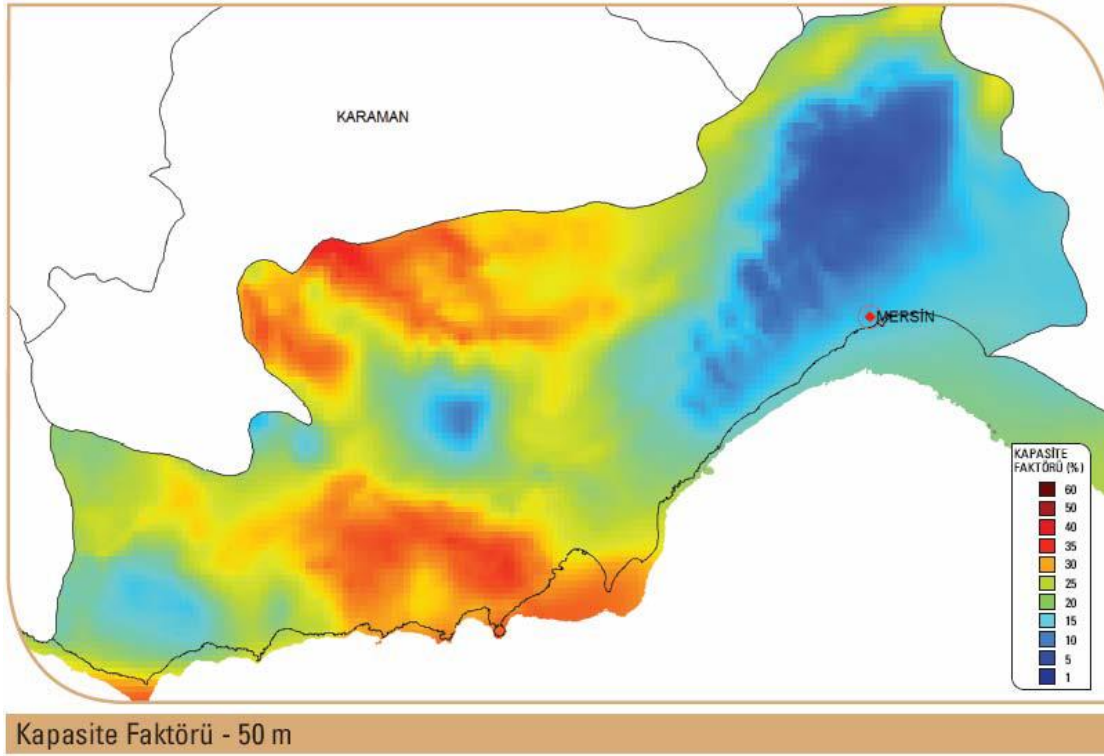


Şekil EK-A.4 Trafo Merkezleri ve Enerji Nakil Hatları

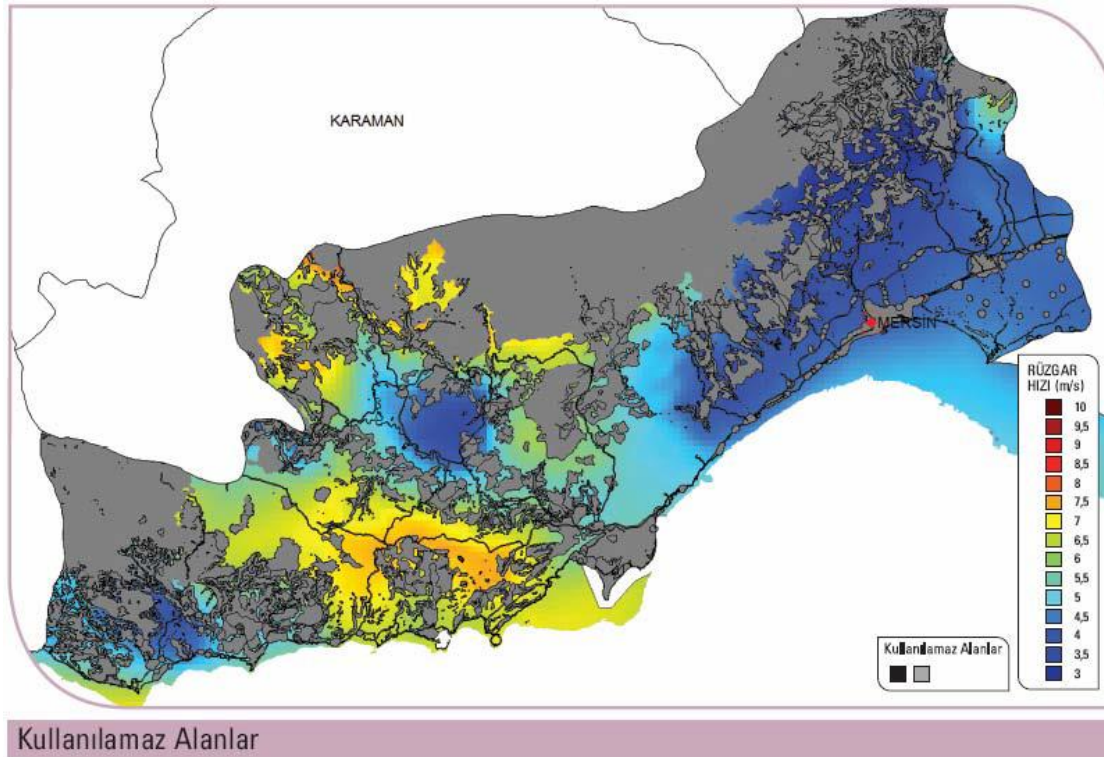
MERSİN İLİ RÜZGAR KAYNAK BİLGİLERİ



Şekil EK-B.1 Rüzgar Hızı Dağılımı-50 metre

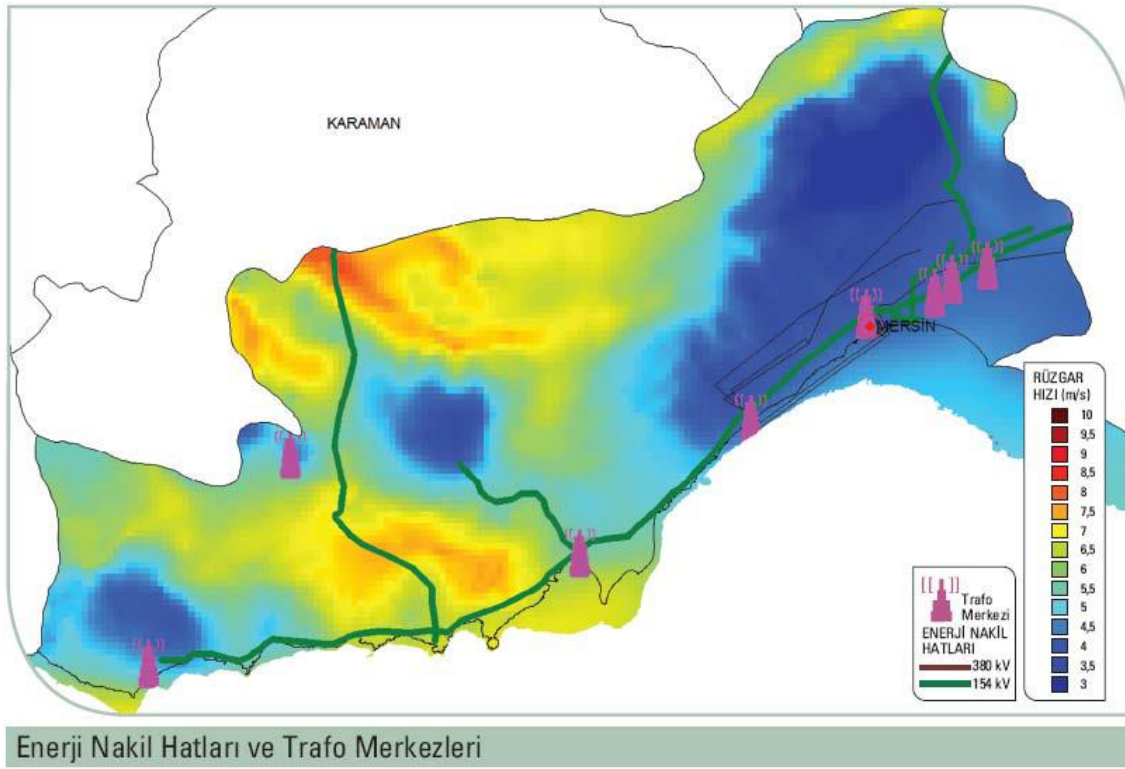


Şekil EK-B.2 Kapasite Faktörü Dağılımı-50 metre



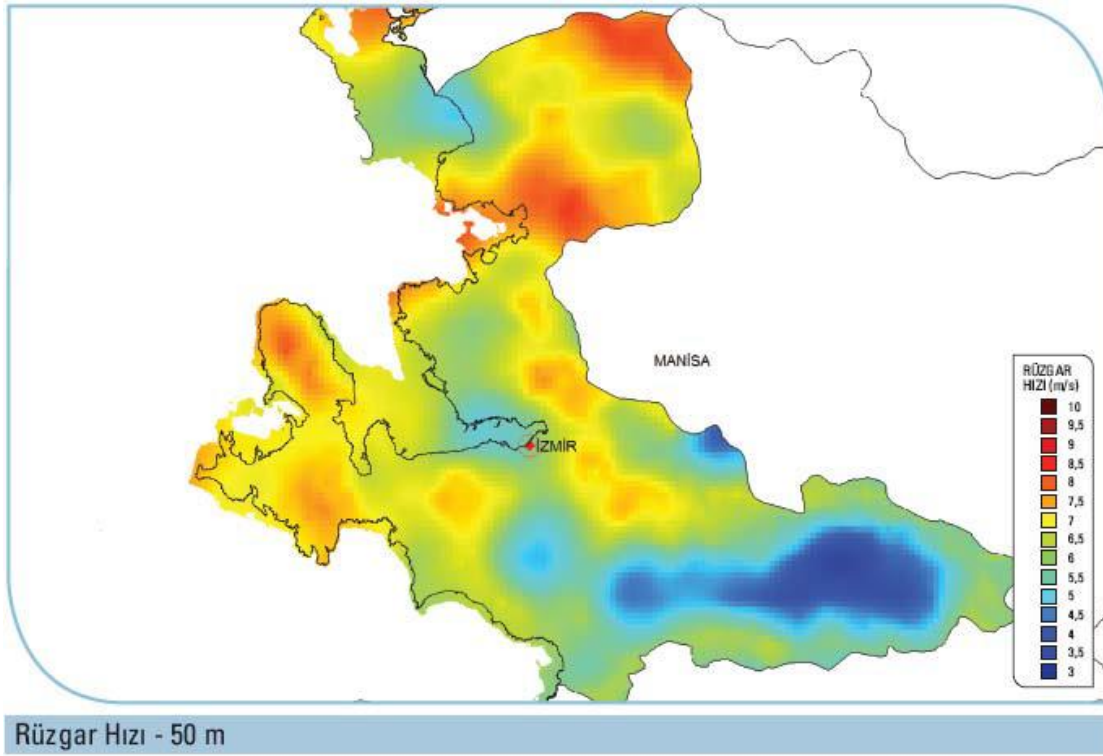
Gri renkli alanlara rüzgar santrali kurulamayacağı kabul edilmiştir.

Şekil EK-B.3 Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar

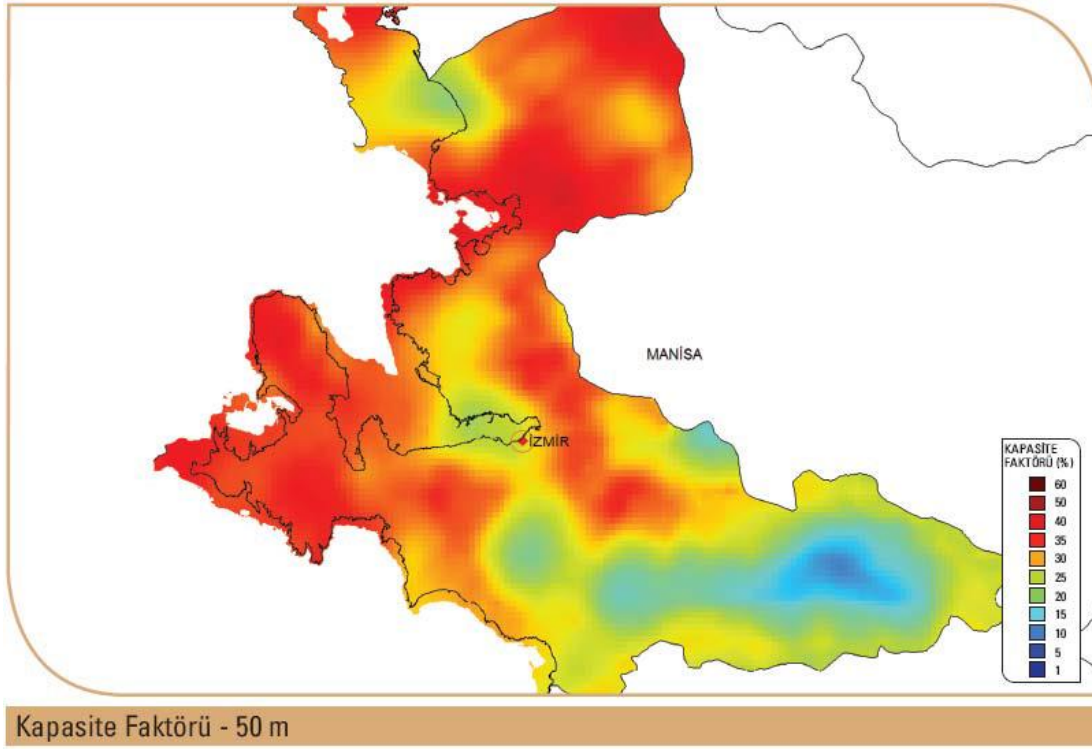


Şekil EK-B.4 Trafo Merkezleri ve Enerji Nakil Hatları

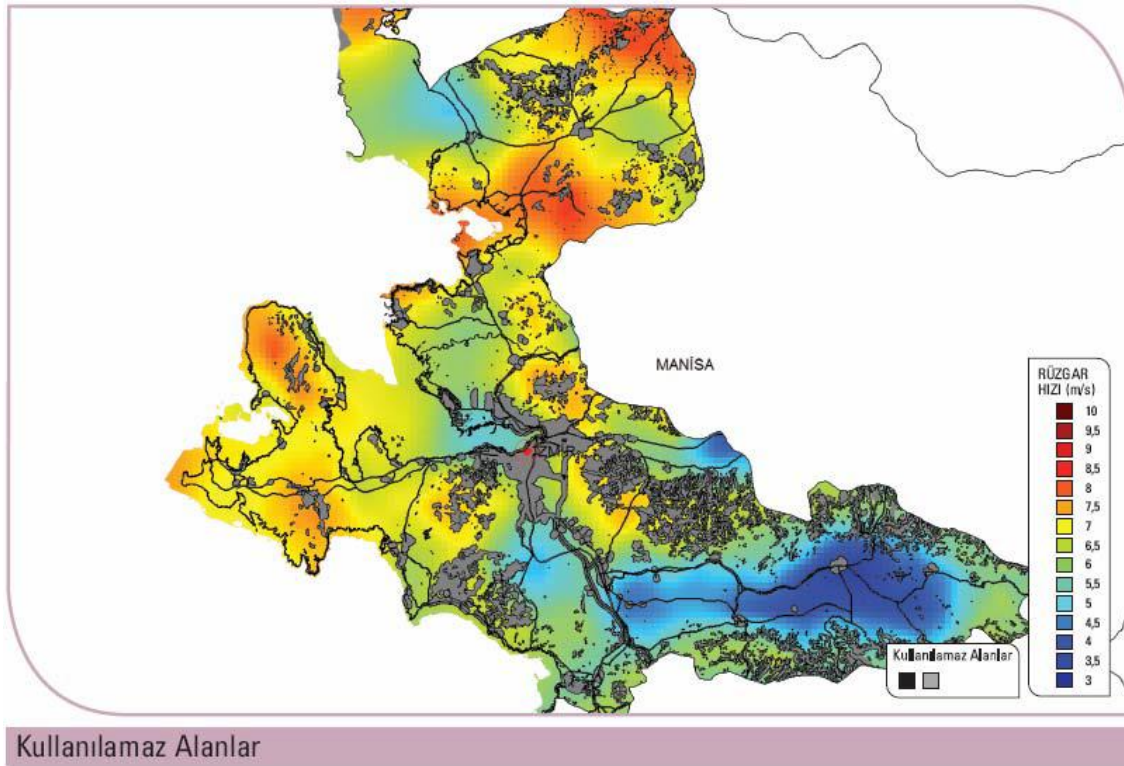
İZMİR İLİ RÜZGÂR KAYNAK BİLGİLERİ



Şekil EK-C.1 Rüzgar Hızı Dağılımı – 50 metre

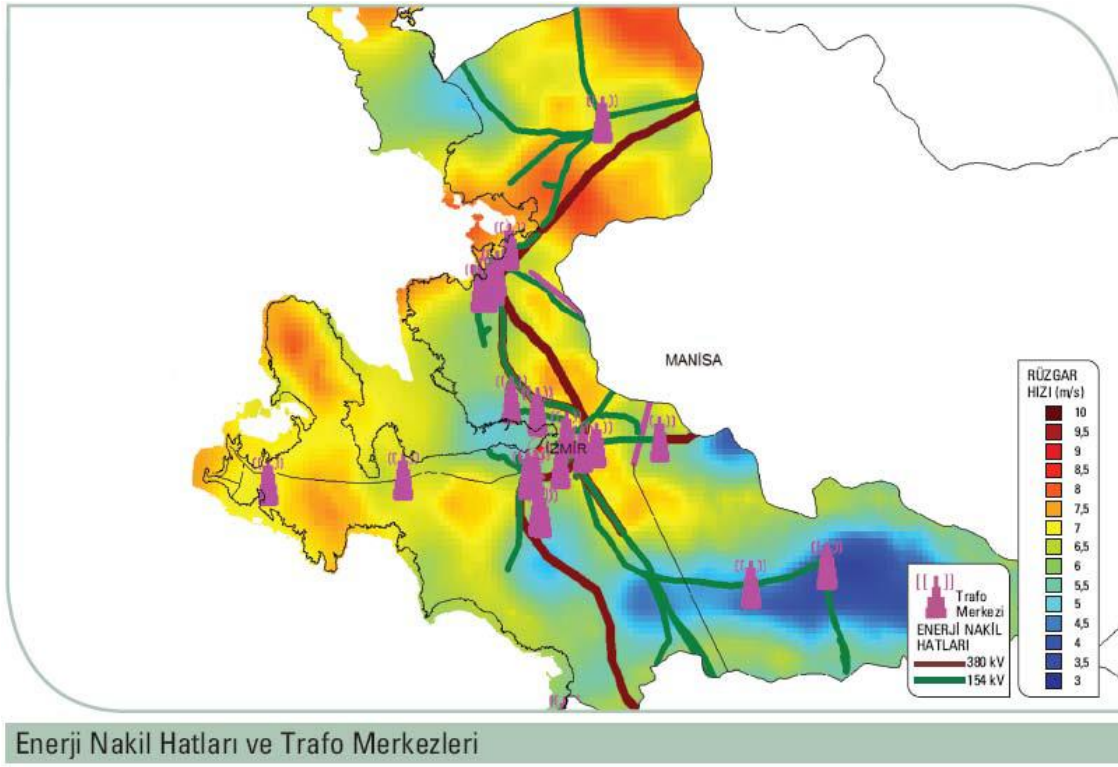


Şekil EK-C.2 Kapasite Faktörü Dağılımı-50 metre



Gri renkli alanlara rüzgar santrali kurulamayacağı kabul edilmiştir.

Şekil EK-C.3 Rüzgar Enerjisi Santrali Kurulabilir Alanlar



Şekil EK-C.4 Trafo Merkezleri ve Enerji Nakil Hatları

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yaşar AYDİN
Doğum Tarihi ve Yeri : Çaykara- 01.12.1987
Yabancı Dili : İngilizce-Almanca
E-posta : yasar-aydin@hotmail.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Endüstri Mühendisliği	YTÜ	
Lisans	Endüstri Mühendisliği	Kadir Has Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimler	Ataköy Cumhuriyet Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009	Vestel Pazarlama A.Ş.	Regal Satış
	30 Günlük Staj	
2008	Erdoğanlar Alüminyum A.Ş.	Verimlilik Analizi
	30 Günlük Staj	

2007

Turkuaz Lojistik ve Gümrükleme TD.ŞTİ Genel Koordinatör

90 Günlük Staj