

RÜZGAR TÜRBİNİ KURULACAK ALANLARIN CBS – ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ: DAVUTPAŞA KAMPÜSÜ

Abdulkadir MEMDUHOĞLU¹, Gülşah ÖZMEN², Gazale GÖYÇEK², Fatmagül KILIÇ³

¹Arş. Gör., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul, akadirm@yildiz.edu.tr

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul

³Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul, fkilic@yildiz.edu.tr

ÖZET

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının gün geçtikçe popülerliğini yitirmesi ve yenilenebilir enerjiye küresel eğilim, ülkemizin fosil yakıtlar bazında dışa bağımlı bir durum sergilemesi ve Kyoto protokolüne tabi olmamız ve yine bu kaynakların kullanımının ekosisteme verdiği zarar göz önüne alındığında rüzgar enerjisinin kullanımı ülkemiz açısından önemli bir hal almaktadır. Ülkemizin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve bu potansiyelin rüzgar enerjisi olarak ekonomiye kazandırılması gerekmektedir. Bu konuda 2006 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından hazırlanan Türkiye Rüzgar Potansiyeli Atlasına (REPA) göre yer seviyesinden 50 m yükseklikteki rüzgar potansiyelleri incelendiğinde Ege, Marmara kıyıları, İç Anadolu'nun ve Akdeniz'in doğu bölgeleri yüksek potansiyele sahip bölgeler arasında yer almaktadır. Rüzgar santrallerinin teknik ve ekonomik açıdan başarıya ulaşmasının temelinde sağlıklı verilere dayalı olarak hesaplanan enerji üretim miktarlarının ve buna bağlı olarak yer seçiminin önemi yatmaktadır. Tek bir rüzgar türbini yerleştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışma için Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Davutpaşa Kampüsü seçilmiştir. Davutpaşa kampüsü konumu itibarıyla çevre bölgelere kıyasla rüzgar hızı yüksek bir bölgede yer almaktadır. Kampüste, Rüzgar Enerjisi Kulübü tarafından yerleştirilen bir anemometre (rüzgar hızı ölçer) bulunmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) – Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yer seçim yöntemi olarak kullanılmıştır. Karar mekanizması için, radarlara, havaalanına, şehir merkezine, akarsulara, enerji nakil hatlarına uzaklık ve güç yoğunluğu gibi ölçütler, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklı ölçütler ve binaların bulunduğu yerler gibi ağırlıklandırma yapılmadan ele alınan ölçütler, birlikte CBS ortamında değerlendirilmiş, Davutpaşa Kampüsünde rüzgar türbini için en uygun yer kampüsün orta kesimi olarak belirlenmiştir. Sonuçta, ağırlığı yüksek olan güç yoğunluğu ölçütü en fazla etkiyi yapmıştır. CBS – ÇÖKA kullanılarak ve uygun ağırlıklı ölçütler belirlenerek hedeflenen başarıya ulaşmak için güçlü bir karar aracı elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: AHP, CBS, Çok Ölçütlü Karar Analizi, Rüzgar Enerjisi

DETERMINING THE MOST SUITABLE PLACE FOR WIND TURBINES USING GIS – MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS: DAVUTPAŞA CAMPUS

ABSTRACT

The use of non-renewable energy sources lose its popularity day by day and global trends in renewable energy, emerge the need for using renewable energy in Turkey. When considering, commitment of our country to the Kyoto protocol, foreign-dependent to fossil fuel and the damage to the ecosystem of fossil fuel, wind energy usage in our country is an important state. It is necessary to determining wind energy potential of our country and contribute this potential to our economy. On this point in 2006 Electrical Work Study Administration (EIE) in Turkey prepared Turkey's Wind Potential Atlas (REPA). According to REPA, when analyze the wind potential of 50 m above the ground, Ege, Marmara shore, the east of İç Anadolu and Akdeniz regions have high wind potential. Achieving success in technical and economic aspects of wind farms based on data calculated on the basis of a healthy amount of energy production and consequently lies in the importance of site selection. In this study Yıldız Technical University (YTU) Davutpaşa Campus was chosen for establish a wind turbine. Davutpaşa campus located a high wind potential place in the neighborhood because of its high elevation. There is an anemometer located in the campus which the Wind Energy Student Club (REK) own it. Geographical Information System (GIS) – Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) was used as method. For decision making distance to radars, airport, city center, river, power transmission lines and power density were used as criteria and Analytical Hierarchy Process (AHP) was used for weighting this criteria. Weighted and unweighted criteria like places which cannot be install a wind turbine were evaluated together in the GIS environment. The most suitable place for a wind turbine was the middle area of the Davutpaşa campus. Power density criteria was made the highest impact to the result. With use of GIS – MCDA and determining the appropriate weighted criteria a powerful decision tool to achieve success which is targeted was obtained.

Keywords: AHP, GIS, Multi Criteria Decision Analysis, Wind Energy

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ve tüketilen enerji miktarı, insanları bu kaynakların daha verimli kullanılması konusunda yeni arayışlara itmiş ve alternatif enerji kaynakları detaylı olarak incelenmeye başlamıştır. Enerji konusunun önemi, son günlerde çokça bahsedilen küresel ısınma ve enerjinin temizliği döngüsünün de katılımı ile bir kat daha artmıştır. Bu sebeple dünyada yenilenebilir enerjilere yönelimler olmuş, ülkeler sadece fosil kaynaklı enerji türlerinden yararlanmaya değil, fosil kaynaklara oranla birçok avantajı beraberinde getiren yenilenebilir enerji kaynaklarından da en verimli şekilde yararlanmaya başlamıştır. Bugün tüm dünya üzerinde milyonlarca insana elektrik sağlayan, milyarlarca dolarlık iş hacmi olan ve on binlerce insana iş olanağı sunan genç bir endüstri olarak rüzgar enerjisi; hızlı bir gelişme göstermektedir. Ülkemiz açısından da en ilginç ve dikkat çekici olan yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisi gösterilebilir. Rüzgar enerjisinin verimli ve etkili bir şekilde kullanılabilmesi için rüzgar santrallerinin mümkün olan en doğru yere konumlandırılması gerekmektedir. Bu tür bir analiz için CBS araç olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada rüzgar türbinlerinin konumlandırılmasında en uygun alanın ortaya konması amacıyla gerekli ölçütler belirlenmiş ve bu ölçütler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve CBS – ÇÖKA kullanılarak en uygun potansiyel alan tespit edilmiştir.

2. RÜZGAR ENERJİSİNDE MEVCUT DURUM

Dünyadaki kullanım oranının çok düşük olmasına karşılık, 2020 yılında dünya elektrik talebinin %12'sinin rüzgar enerjisinden karşılanması için çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde rüzgâr enerjisinden üretilen toplam güç 318.137 MW civarındadır. Bu güçten en fazla yararlanan ülke % 29'luk payıyla Çin'dir. Çin son yıllarda bu alanda yaptığı hızlı yatırımlar ile gerilerden gelerek ilk sıraya yerleşmiştir. Rüzgâr gücünden en çok yararlanan diğer ülkeler sırasıyla ABD, Almanya, İspanya, Hindistan, İngiltere, İtalya, Fransa, Kanada, Danimarka ve Portekiz'dir (Çizelge 1) (Turhan, 2009).

Çizelge 1. Dünyada kurulu rüzgar gücü kapasitesi (GWEC)

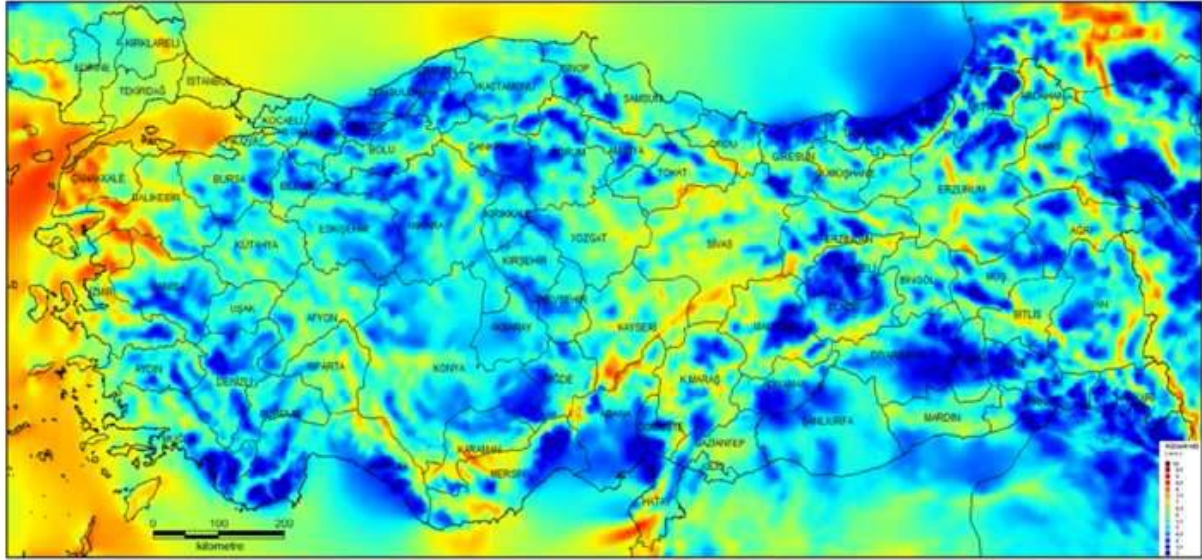
Sıra	Ülke	2012 sonu itibari ile (MW)	2013'te kurulan (MW)	Toplam (2013 sonu itibari ile) (MW)
1	Çin	75.324	16.100	91.424
2	ABD	60.007	1.084	61.091
3	Almanya	31.270	3.238	34.250
4	İspanya	22.784	175	22.959
5	Hindistan	18.421	1.729	20.150
6	İngiltere	8.649	1.883	10.531
7	İtalya	8.118	444	8.552
8	Fransa	7.623	631	8.254
9	Kanada	6.204	1.599	7.803
10	Danimarka	4.162	657	4.772
11	Portekiz	4.529	196	4.724
12	İsveç	3.746	724	4.470
13	Brezilya	2.508	948	3.456
14	Polonya	2.496	894	3.390
15	Avusturalya	2.584	655	3.239
16	Türkiye	2.312	646	2.959
17	Hollanda	2.391	303	2.693
18	Japonya	2.614	50	2.661
19	Romanya	1.905	695	2.600
20	İrlanda	1.749	288	2.037
21	Meksika	1.369	623	1.992
22	Yunanistan	1.749	116	1.865
23	Avusturya	1.378	308	1.684
24	Yeni Zelanda	623	-	623
25	Tayvan	571	43	614
26	Güney Kore	483	79	561
27	Mısır	550	-	550
28	Şili	205	130	335
29	Fas	291	-	291
30	Tayland	112	111	223
31	Arjantin	142	76	218
	Diğer	1074	194	1267
	Dünya toplam	283.048	35.467	318.137

Türkiye 784.347 km² yüzölçümü ile geniş alanı olan bir ülkedir ve sahip olduğu iklim özellikleri nedeniyle önemli bir rüzgar potansiyeli barındırmaktadır (Erdođdu, 2009). Türkiye'deki rüzgar enerjisi potansiyeli; rüzgar hızına ve rüzgarın sürekliliğine bağlı olarak bölgeler ölçeğinde farklılık göstermektedir. EİE tarafından Türkiye'nin rüzgar potansiyelini belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmış ve bunun sonucunda 2006 yılında REPA hazırlanmıştır. Bu atlas ile Türkiye'de orta ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgar akış modeli kullanılarak üretilen rüzgar kaynak bilgileri verilmektedir. Bu çalışmalar ışığında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'ne (YEGM, 2013) göre Türkiye'de elektrik üretilebilecek rüzgar enerjisi potansiyeli, rüzgar hızı 7,0 m/sn üzeri değerlere göre hesaplandığında 10.463 MW deniz, 37.386 MW kara olmak üzere toplam 47.849 MW olarak belirlenmiştir (Yılmaz, 2012).

Çizelge 2. Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli (YEGM)

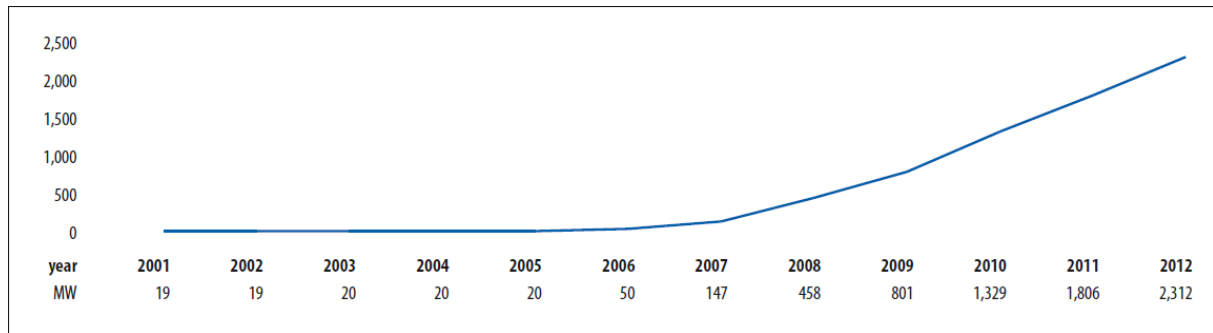
Rüzgar kaynak derecesi	Rüzgar sınıfı	50 m'de rüzgar gücü (W/m ²)	50 m'de rüzgar hızı (m/s)	Toplam alan (km ²)	Rüzgarlı arazi yüzdesi	Toplam güç potansiyeli (MW)
Orta	3	300 - 400	6,5 - 7,0	16.781,39	2,27	83.906,96
İyi	4	400 - 500	7,0 - 7,5	5.851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 - 600	7,5 - 8,0	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 - 700	8,0 - 9,0	1.079,98	0,15	5.399,92
Sıra dışı	7	> 800	> 9,0	39,17	0,01	195,84
Toplam						131.756,40

REPA'ya göre Ege ve Marmara sahilleri Türkiye'nin en iyi rüzgar potansiyeline sahip olan alanlardır (Güler, 2009). Özellikle, Ege Denizi'nin kuzeydoğusu rüzgar potansiyeli yönünden oldukça iyi durumdadır. Ayrıca İç Anadolu Bölgesi'nin doğusu, Orta Toroslar ve Doğu Akdeniz'de ortalama rüzgar hızı değerleri yönünden enerji üretimi için oldukça elverişlidir. Orta şiddete sahip ve elektrik enerjisi üretimi açısından uygun olmayan alanlar Türkiye'de geniş yer kaplamaktadır (Yılmaz, 2012) (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye Rüzgar Hızı Haritası (EİE)

Türkiye son yıllarda rüzgar enerjisine yapılan yatırımlar ile bu alanda bir ivme kazanmıştır. Şekil 2'te görüldüğü gibi 2007 yılından itibaren rüzgar enerjisi kurulu güç kapasitesi artmaya başlamış, 2013 sonu itibari ile 2.959 MW güç kapasitesi ile rüzgar enerjisi alanında gelişmekte olan ülkeler ve bazı Avrupa ülkeleri ile yarışır duruma gelmiştir.



Şekil 2. 2001-2012 yılları arasında Türkiye'nin kurulu rüzgar gücü değişim grafiği (GWEC)

3. METODOLOJİ

Rüzgar enerji santrali yatırımı için ilk yapılması gereken rüzgar potansiyeli yüksek yerlerin tespit edilmesidir. Bu aşamada belirlenmesi gereken, rüzgar hızlarının yaklaşık tahmini değerleridir. Tahmini rüzgar hızlarının bulunacağı ilk başvuru kaynağı ise daha önce de bahsedilen rüzgar atlaslarıdır (Karamanlıoğlu, 2011).

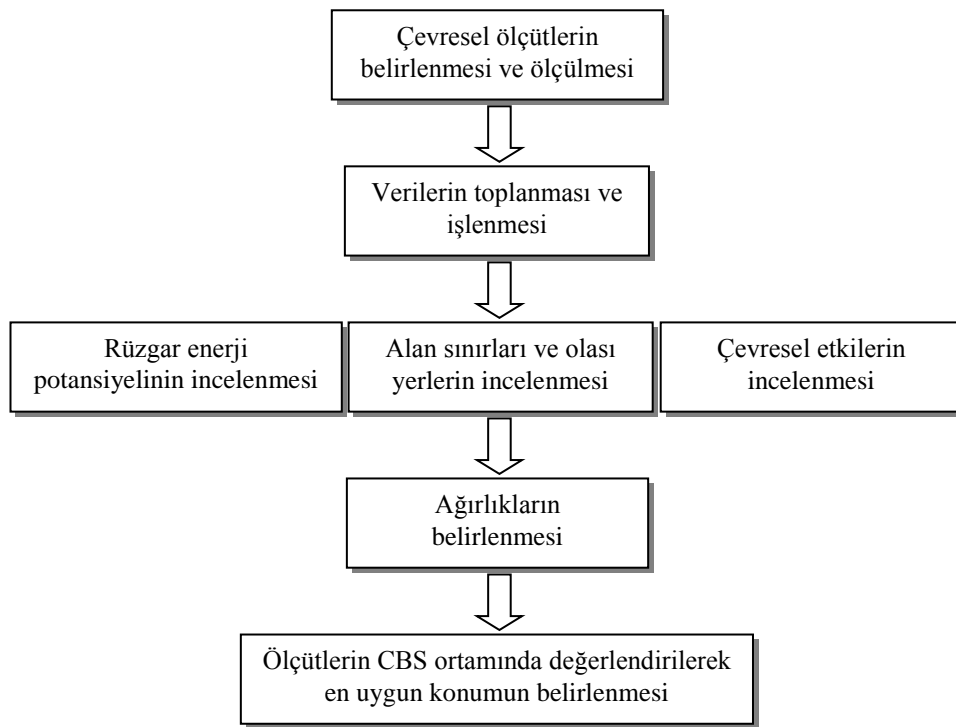
Düşünülen yerlere yakın meteoroloji ve konu ile ilgili kurumların yapmış olduğu rüzgar ölçümleri de bir fikir verebilir. Bunların yanı sıra, rüzgar enerji santrali kurulacak yerin tespitinde doğanın kendisi gerçek bir yol göstericidir. Ağaçlar, çalılıklar gibi biyolojik göstergeler, rüzgarın oluşturduğu jeolojik belirtiler (aşınmalar, erozyon) önemli ip uçları vermektedir. Ayrıca; yöre halkının gözlemleri, eski yel değirmen kalıntıları ve rüzgarı çağrıştıracak yerel, sosyal ve kültürel belirtiler (tepe isimleri, maniler vb) rüzgar varlığını işaret ederler (EİE, 2006).

Duyumlar, gözlemler ve kuruluşların yapmış olduğu ölçüm kayıtları ile kabaca belirlenen yerde bizzat arazi çalışması yapılarak tahmini rüzgar hızları belirlenir. Ayrıca, el anemometresi ile belli bir sıklıkta ve sürede anlık rüzgar hızlarının tespit edilmesi de yararlı olacaktır. Yapılan ön çalışmalar sonucu belirlenen tahmini ortalama

rüzgar hızları 5-7 m/s civarında ise rüzgar kaynağın ekonomik olarak değerlendirilebileceği düşünülmelidir (Karamanlıoğlu, 2011).

Genel olarak küçük bir rüzgar türbini bir kule üzerine kurulur, kanatları yerden en az 9 m yükseklikte ve kuleler engellerden 90 m uzakta olmalıdır. Küçük rüzgar türbinlerinin çatı üstlerine kurulması önerilmez. Tüm türbinler titreşimi bina yapısına iletirler. Bu titreşim binada yapısal problemlere ve gürültüye neden olur. Ayrıca, türbinde aşırı türbülans meydana gelir ve bu da türbin ömrünü kısaltır (YEGM, 2014). Kurulacak alandaki yıllık ortalama rüzgar hızına, türbinin güç eğrisine ve yıllık kWh olarak enerji ihtiyacına uygun bir rüzgar türbininin seçilmesi, kurulum, işletim ve bakım maliyetlerinin en az olması gibi faktörler dikkate alınır (Köksal, 2012).

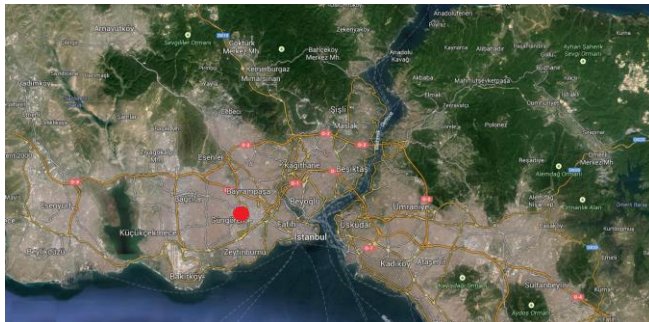
Rüzgar türbinleri çevreyle etkileşim halinde çalışırlar. Bu sebeple çalışmada öncelikle çevresel ölçütlere karar verilmiştir. Ölçütlerin belirlenmesi için gerekli ölçümler yapılmış veya hali hazırda bulunan verilerden yararlanılmıştır. Çalışma Şekil 3'te görülen iş akış şemasına uygun olarak yürütülmüştür. Uygulama aşamasında gerekli olan verilerin toplanmasının ardından bir takım düzenlemeler yapılmış, ölçüt verileri oluşturulduktan sonra ağırlıkları verilmiştir. Türbin kurulamayacak yerler de belirlendikten sonra CBS yazılımı ile rüzgar türbini için en uygun konuma karar verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmanın iş akış şeması

4. UYGULAMA

Çalışma alanı Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsüdür. YTÜ Davutpaşa Kampüsü İstanbul Avrupa yakasının orta güney bölgesinde yer almaktadır (Şekil 4a).



(a)



(b)

Şekil 4. Davutpaşa Kampüsü (a) Anemometrenin konumu (b)

Davutpaşa, İstanbul'un diğer ilçeleriyle karşılaştırıldığında rüzgar hızı yüksek olan bir bölgede yer almaktadır (REK, 2011). Bölgede Rüzgar Enerjisi kulübü tarafından yerleştirilen bir anemometre (rüzgar hızı ölçer) bulunmaktadır (Şekil 4b). Bu anemometre ile rüzgar hızı yıllık olarak ölçülmüş ve olası bir rüzgar türbini için en verimli alan bu verilerle belirlenmeye çalışılmıştır.

4.1 Kullanılan Yazılım ve Veriler

Verilerin düzenlenmesi, görüntülenmesi ve analiz işlemleri için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Bir rüzgar türbini yerleştirme çalışmasında bir çok veri kullanılmaktadır. Bunlardan çalışmada kullanılanları aşağıda verilmiştir.

- Rüzgar enerjisi potansiyel atlası: Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından hazırlanan atlas yapılacak çalışmalar için bir rehber niteliğindedir.
- Rüzgar hızı: Anemometre ile elde edilen değerlerdir. Türbinin en verimli şekilde performans göstermesi için ilk ölçüt rüzgarın hızı yani şiddetidir. Davutpaşa'ya yerleştirilen anemometreden elde edilen yıllık rüzgar şiddeti verileri kullanılmıştır. Rüzgar hızı çalışmada doğrudan kullanılmamış güç yoğunluğuna etki etmiştir.
- Rüzgar yönü: Anemometre ile belirlenmiştir. Rüzgarın yönü, rüzgar şiddetinden sonra verimi etkileyen en önemli ölçütlerden biridir. Rüzgar yönleri de kendi aralarında en verimliden en az verimliye doğru sıralanabilir. Her bölgede hâkim rüzgar yönleri belirlenir ve türbinin bu yönden rüzgar alınması sağlanarak en yüksek enerjinin elde edilmesi amaçlanır. Davutpaşa'da yapılan ölçümler sonrasında Matlab ortamında hâkim rüzgar yönü kuzey olarak tespit edilmiştir (REK, 2011). Rüzgar yönü çalışmada doğrudan kullanılmamış güç yoğunluğuna etki etmiştir.
- Güç yoğunluğu haritası: WindPro yazılımıyla oluşturulan bu harita rüzgarın yönü ve şiddetini yükseklik eğrilerine göre enterpole ederek yükseklik ölçütünün de rolünü ortaya koyar.
- Akarsu ve nehirlerle olan uzaklıklar
- Şehir merkezine olan uzaklık
- Radarlara olan uzaklık
- Enerji nakil hatlarına olan uzaklık
- Havalimanına olan uzaklık

4.2 Ölçütlerin Belirlenmesi

Rüzgar türbini yerleştirme çalışmasında bir çok ölçüt kullanılabilir. Bu çalışmada belirlenen ölçütler şunlardır;

- *Güç yoğunluğu*: Rüzgarın yönü, rüzgar hızı ve bölgenin yükseklik eğrileri kullanılarak özel yazılımla oluşturulmuş veridir.
- *Akarsu ve nehirlerle uzaklık*: akarsu ve nehirlerden en az 400m uzaklıkta olmalıdır (Baban, 2001).
- *Şehre uzaklık*: Şehir merkezinden 2.000m uzaklıkta olmalıdır (Baban, 2001).
- *Havaalanına uzaklık*: Havaalanlarından 2.500m uzaklıkta olmalıdır (Nguyen, 2007).
- *Radarlara uzaklık*: Radarların işlevini etkilemeyecek konumda olmalıdır.
- *Enerji nakil hatlarına uzaklık*: Enerji nakil hatları üzerinde olmamalı ve olabildiğince uzakta olmalıdır.
- *Kuş göç yolları*: Yapılacak türbinin kuş göç yollarından 300m uzaklıkta yer alması gerekmektedir (Clarke, 1991). Yapılan araştırmalar İstanbul'un jeopolitik konumu nedeniyle birçok kuş türünün göç yolu üzerinde olduğunu ortaya koymuştur. Türbinlerin bu kuşlara habitat yok oluşu, bariyer etkisi, rahatsızlık ve çarpışma gibi nedenlerden dolayı olumsuz etkileri vardır (Erdoğan vd., 2013). Bu tür etkiler Davutpaşa'da kurulacak olan küçük çaplı bir türbinde ortaya çıkmayacağından bu ölçüt hesaba katılmamıştır. Fakat çevre dengesi açısından rüzgar santrallerinin kurulum aşamasında bu ölçütün de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- *Gürültü etkisi*: Yapılacak çalışmanın kampüs içinde olması gürültü ölçütünü de beraberinde getirmiştir. Uygulamanın bir benzeri İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bulunmaktadır İTÜ Enerji Enstitüsü binası ile rüzgar türbinin uzaklığı 25 metredir. Eğitime engel olacak herhangi bir gürültü yaratmamaktadır. Kataloglardan alınan değerlere göre 30kW gücündeki bir türbinin ortalama 5m/s hızındaki rüzgarda desibel seviyesi 41,5 dB'dir (Buzdolabı ~50 dB).

4.3 Ağırlıkların Belirlenmesi

Bir rüzgar türbininden yüksek verim alınabilmesi için öncelikli ölçütler, bölgeye ait rüzgar şiddeti ve rüzgar yönüdür. Yüksekliđin de rüzgar yönü ve şiddetine olan etkisi göz önünde bulundurulur tüm bu veriler ile ortaya çıkarılan güç yoğunluğu ölçütüne en yüksek ağırlık verilmiştir. Sonra sırasıyla akarsulara, şehre, havaalanına, radarlara ve enerji nakil hatlarına uzaklıklara ağırlıklar verilmiştir.

AHP yöntemi ile ölçütler birbirlerine göre ikili olarak karşılaştırılmıştır. Bu yöntem ile ağırlıklandırmada kullanılacak ölçütler önem katsayıları göz önüne alınarak birbirlerine göre değerlendirilmiş ve çift karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 3). Örneğin, güç yoğunluğu ölçütü, akarsu ve nehirlere olan uzaklık ölçütünden 4 kat daha önemlidir. Son olarak bu değerler normalleştirilmiş ve bu işlem sonrası ağırlıklar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ağırlıklandırmada kullanılan çift karşılaştırma matrisi

ÖLÇÜTLER	Güç Yoğunluğu	Akarsu ve Nehirlere Uzaklık	Şehre Uzaklık	Havaalanına Uzaklık	Radarlara Uzaklık	Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık
Güç Yoğunluğu	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>2</i>
Akarsu ve Nehirlere Uzaklık		<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0.33</i>	<i>0.33</i>	<i>2</i>
Şehre Uzaklık			<i>1</i>	<i>0.50</i>	<i>0.50</i>	<i>2</i>
Havaalanına Uzaklık				<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
Radarlara Uzaklık					<i>1</i>	<i>2</i>
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık						<i>1</i>

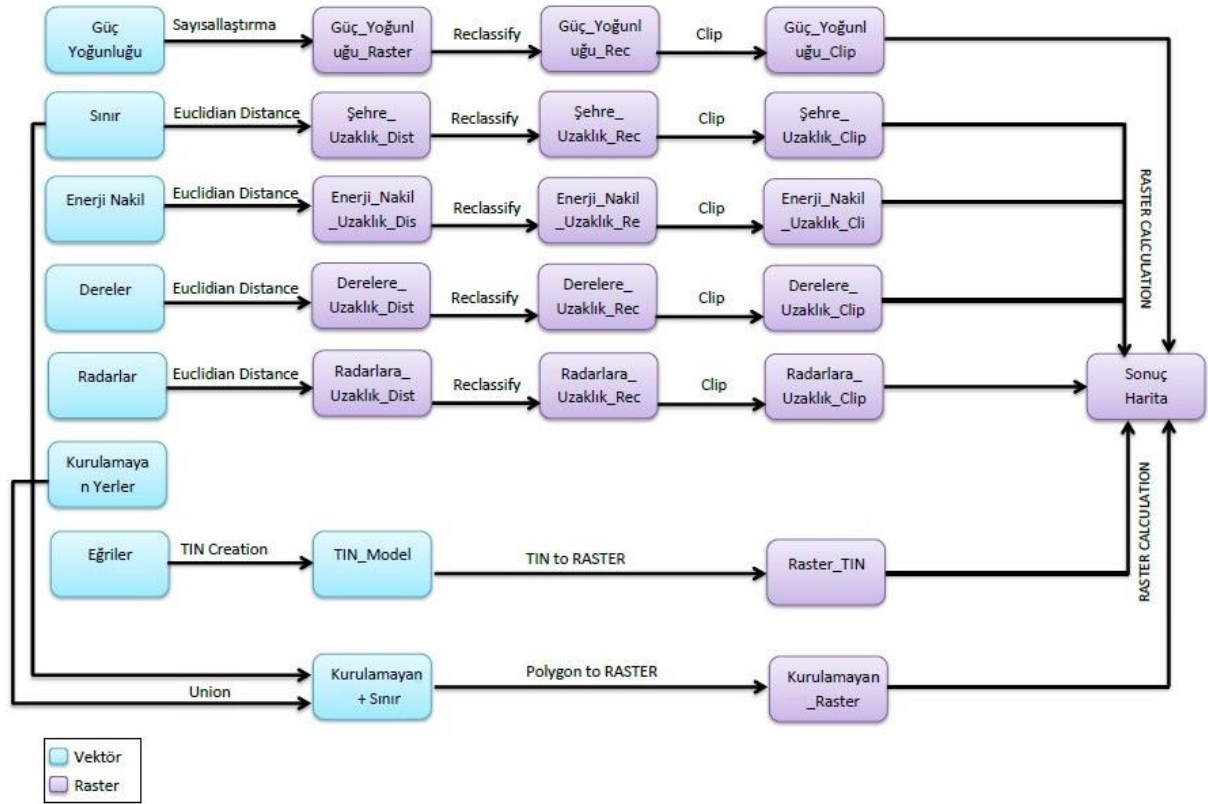
Çizelge 4. Normalleştirme sonrası ağırlıklar tablosu

Ölçütler	Normalleştirme Sonrası Ağırlıklar
Güç Yoğunluğu	0,3675
Radarlara Uzaklık	0,1755
Havaalanına Uzaklık	0,1755
Şehir Merkezine Uzaklık	0,1015
Akarsulara Uzaklık	0,0927
Enerji Nakil Hatlarına Uzaklık	0,0873

4.4 CBS Uygulaması

Çalışmada Şekil 5'teki iş akışı izlenmiştir. Öncelikle güç yoğunluğu haritası sayısallaştırılmıştır ve raster veri formatında CBS ortamına aktarılmıştır. Ardından bu harita rüzgar enerjisi potansiyeline göre uygun bir şekilde sınıflandırılmış ve Davutpaşa sınırlarında kesilmiştir.

Davutpaşa sınırlarının şehir merkezine, derelere, enerji nakil hatlarına, havaalanına ve radarlara olan uzaklıkları "Euclidian Distance" yöntemiyle, raster veri şeklinde oluşturulmuştur. Bu veriler uzaklıklarına göre sınıflandırılmış ve Davutpaşa sınırlarında kesilmiştir. Tüm Sınıflandırmalar 1-9 arasında (9 En uygun, 1 Uygun olmayan şekilde) oluşturulmuştur. Türbin kurulması mümkün olmayan yerler vektör olarak oluşturulduktan sonra raster veri formatına çevrilmiş ve sınır verileriyle birleştirilmiştir.

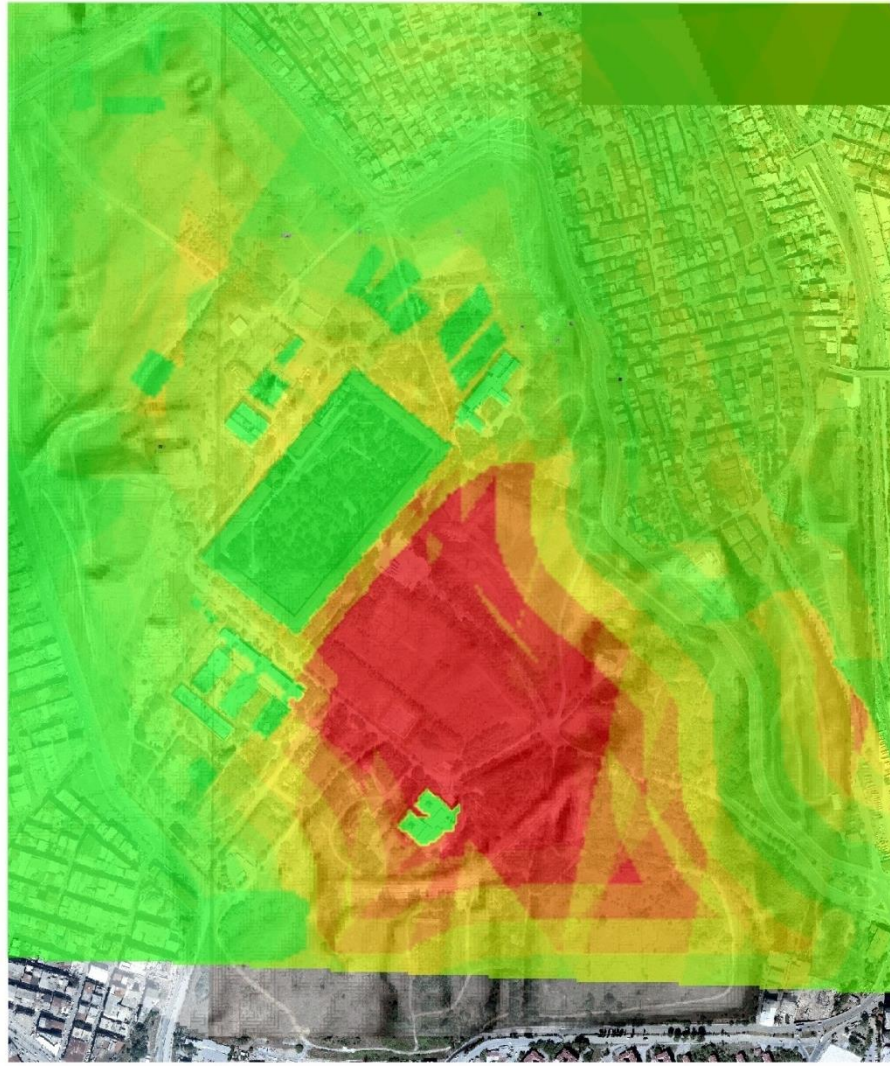


Şekil 5. CBS uygulaması akış şeması

Vektör formatındaki yükseklik verileriyle Sayısal Yükseklik Modeli oluşturulmuş ve raster veri formatına çevrilmiştir. SYM güç yoğunluk verisi oluşum aşamasında kullanıldığından ölçüt olarak alınmamış sadece sonuç haritaya gölgelendirme (hillshade) olarak eklenmiştir.

Tüm ölçütler ArcGIS yazılımında ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra sonuç harita elde edilmiştir (Şekil 6).

Rüzgar Türbini için En Uygun Yer



0 60 120 240 360 480 Metre

Lejant

En Uygun Deđer
En Düşük Deđer

Şekil 6. Rüzgar türbini için en uygun yer haritası

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Belirlenen ağırlıklar dolayısıyla çalışmada kullanılan ölçütlerden sonuca en yüksek etkiyi güç yoğunluğu, en düşük etkiyi ise enerji nakil hatlarına olan uzaklık yapmıştır. Tüm ağırlıkların raster olarak birbirleriyle çarpılması sonucunda Şekil 6'daki haritada kırmızı tonlarıyla gösterilen alan rüzgar türbini için en uygun alan olarak tespit edilmiştir. Bu alan kampüsün orta kısmında ve en yüksek olan konumda yer almaktadır. Bölgenin orta kısmına kurulacak olan bir türbinin rüzgar hızını etkileyecek herhangi bir bina veya yapay obje bulunmaması ve açık bir arazi olması bu alanın doğru bir konum olması ihtimalini güçlendirmektedir.

Rüzgar türbini konumlandırma çalışmalarında CBS – ÇÖKA ve AHP yöntemleri kullanılarak seçilen bölgenin güvenilirliği artırılabilir. Doğaya verilecek zararın veya çevre rahatsızlığının en aza indirgenmesi için önemli olan bu yöntemlerle ölçütler ağırlıklandırılarak amaç için en uygun alan ortaya çıkarılmıştır.

Yenilenebilir ve temiz bir enerji türü olan rüzgar enerjisinden maksimum düzeyde fayda sağlanabilmesi için uygun olan yerlere ve uygun güç kapasitesine sahip rüzgar türbinleri yerleştirilmelidir. Bu çalışmada yerleştirilecek olan rüzgar türbinin güç kapasitesi veya boyutuyla ilgili herhangi bir bilgi ve analiz yapılmamıştır. Gelecekteki çalışmalarda gerekli rüzgar türbin bilgileri ve güçleri de CBS ortamına aktarılarak en uygun güç kapasitesinde ve boyutta kurulabilecek rüzgar türbinin de belirlenmesi sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Baban, S. M. J., Parry, T.,** 2001, Developing And Applying A GIS-Assisted Approach To Locating Wind Farms In The UK, *Renewable Energy*, 24, 59–71.
- Clarke, A.,** 1991, Wind Energy Progress and Potential, *Energy Policy*, 19, 742-755.
- EİE,** 2006, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Erdoğan, A., vd.,** 2013, Rüzgar Enerji Santralleri Ekosistem Değerlendirme ve Ornitolojik İzleme (Monitoring) Çalışmaları ve Raporlama Süreci, *Türkiye Rüzgar Enerjisi Kongresi*, İstanbul.
- Erdoğan, E.,** 2009, On The Wind Energy in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1361-1371.
- Güler, Ö.,** 2009, Wind Energy Status in Electrical Energy Production of Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 473–478.
- GWEC,** 2013, Global Wind Energy Council, *Global Wind Statistics*.
- Karamanhođlu, T.,** 2011, Farklı Rüzgar Türbini Tasarımları İçin Santral Yeri Seçimi Ve Rüzgar Enerji Potansiyelinin Belirlenmesinde Yapay Zeka Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Köksal, S.,** 2012, Manisa/Kırkağaç Rüzgar Potansiyelinin İncelenmesi, *Kırkağaç Araştırmaları Sempozyumu*, Manisa
- Nguyen, K. Q.,** 2007, Wind Energy in Vietnam: Resource Assessment, Development Status and Future Implications, *Energy Policy*, 35, 1405–1413.
- REK,** 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Rüzgar Enerjisi Kulübü, *Rüzgar Türbini Projesi*.
- Turhan, F.,** 2009, Rüzgar Enerjisinin Dünya’da ve Türkiye’de Kullanımı, Eskişehir Merkezinin Rüzgar Değerlerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- YEGM,** 2013, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx, (10.10.2013).
- YEGM,** 2014, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Rüzgar Türbinin Kullanımı Ve Gelişimi, http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_turbin.html, (01.08.2014)
- Yılmaz, M.,** 2012 Türkiye’nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 4(2), 33-54.