

Heterojen Rüzgâr Çiftliği Saha Seçimi

Heterogeneous Wind Farm Site Selection

Pınar BAYRAM ¹, Ezgi Esi CELEP ², Sultan KOSTAK ³, Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK ⁴

^{1,2,3,4}Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Doi: 10.51764/smutgd.962923

Geliş Tarihi : 05.07.2021

Kabul Tarihi : 24.08.2021

ÖZET

Dünyada gerçekleşen bütün üretim ve tüketim faaliyetleri elektrik enerjisine ihtiyaç duyar. Nüfus artışı ve teknolojinin gelişimi, bu ihtiyacı daha da arttırarak doğal kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesine neden olur. Günümüzde her alanda enerji kullanımı zorunlu olduğundan, yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç da bu zorunluluğa paralel olarak artar. Yenilenebilir enerji kaynakları doğal ve sınırsız olarak bulunsa da kullanım potansiyeli bölgelere göre değişiklik gösterir. Türkiye’de rüzgâr potansiyeli, rüzgâr enerjisi eldesine elverişli olmasına rağmen üretim oranı dış ülkelere göre daha azdır. Bu nedenle, verimli bir rüzgâr çiftliğinin kurulması için en uygun bölgenin seçilmesi önemli bir karar problemidir. Bu çalışmada, Türkiye’de rüzgâr enerjisinden en fazla oranda yararlanabilmek için, kurulacak yeni bir rüzgâr çiftliğinin hem karada hem de denizde rüzgâr türbinlerinin olmasına karar verilmiştir. Öncelikle, Türkiye rüzgâr haritası ve iller temelinde elektrik tüketim verilerinden yararlanılarak bir ön eleme yapılmıştır. Seçim problemleri gerçek hayatta birden fazla ölçüte bağlı olduğundan, bu çalışmada çözüm yaklaşımı olarak bir Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) tekniği olan Analitik Ağ Süreci (ANP) kullanılmıştır. Belirlenen ölçütler temelinde, enerji sektöründeki uzmanlardan oluşan bir karar verici grubunun ikili karşılaştırmaları sonucunda, kurulacak bir rüzgâr türbini çiftliği için en uygun ilin İzmir olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma ile aynı anda hem kara hem denizde kurulacak bir rüzgâr çiftliği için en uygun yer seçimi sistematik bir yaklaşım ile belirlenmiş, literatüre de bu açıdan bir katkı sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Rüzgâr Enerjisi, Çok Ölçütlü Karar Verme, ANP

ABSTRACT

All production and consumption activities in the world require electrical energy. Population growth and the development of technology further increase this need, resulting in rapid consumption of natural resources. Since energy use is mandatory in all areas today, the need for renewable energy also increases in parallel with this requirement. Although renewable energy sources are natural and unlimited, their potential for use varies by region. Although Turkey’s wind potential is favorable for obtaining wind energy, the production rate is less than in foreign countries. Therefore, choosing the most suitable region to establish an efficient wind farm is an important decision problem. In this study, it has been decided that a new wind farm to be established will have wind turbines both on land and at sea in order to benefit from wind energy at the highest rate in Turkey. First of all, a preliminary elimination was made using the Turkish wind map and electricity consumption data on the basis of provinces. Since selection problems depend on more than one measure in real life, the Analytical Network Process (ANP), a Multi-Criteria Decision Making (MCDM) technique, was used as a solution approach in this study. Based on the criteria determined, as a result of the bilateral comparisons of a decision-making group consisting of experts in the energy sector, it was determined that the most suitable province for a wind turbine farm to be established was İzmir. With this study, the most suitable location for a wind farm to be established both on land and at sea was determined with a systematic approach, and a contribution was made to the literature in this respect.

Keywords: Renewable Energy, Wind Energy, Multi-Criteria Decision Making, ANP

Pınar BAYRAM, Orcid: 0000-0002-1281-0778, pinarbayram10@hotmail.com

Ezgi Esi CELEP, Orcid: 0000-0001-5042-6817, ezgiesicelep@gmail.com

Sultan KOSTAK, Orcid: 0000-0002-1647-0248, kostaksu435@gmail.com

Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK, Orcid: : 0000-0003-3156-6464, zkamisli@eskisehir.edu.tr

GİRİŞ

Enerji, dünyada gerçekleşen tüm fiziksel ve kimyasal olaylarla iç içedir. Aynı zamanda günlük yaşamımızın devamı için önemli bir kavramdır. Toplumların gelişmesi ve değişmesi enerjinin de zamanla gelişmesine ve çeşitli türlere bölünmesine sebep olmuştur. Bu gelişim ile enerjinin her alanda kullanılması zorunlu hale gelmiş, ancak diğer yandan da enerji kaynaklarının hızla tükenmeye başlamasına ve enerji potansiyelindeki azalışa sebep olmuştur. Enerji potansiyelindeki azalmanın toplumun geleceği için kaygılanmaya sebep olması bu sektörde yapılan çalışmaları hızlandırmaktadır.

Yirminci yüzyılda petrol sorunu yaşanmasıyla birlikte yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır. Yenilenebilir enerji, fosil kaynaklardan olmayan ve sürekli devam eden doğal kaynakların sahip olduğu enerji akışından elde edilen enerjidir. Elektrik üretirken en az seviyede CO2 emisyonu gerçekleştirildiğinden yenilenebilen enerji kaynaklarına göre çevreye olumsuz etkisi de daha azdır. Hidrolik, güneş, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, dalga, gel-git ve akıntı enerjisi gibi enerji kaynakları sürekli yenilenen ve kullanılmaya hazır halde bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Yıldız, 2019). Bu kaynaklardan rüzgâr enerjisinin çok yaygın kullanılmasının en önemli sebepleri CO2 emisyonunun çok düşük olması, diğer enerji kaynaklarına göre düşük maliyetli olması, rüzgâr türbinlerinin kolay kurulabilmesi ile bu türbinlerin arazide az yer işgal etmesidir. Aynı zamanda enerjinin üretilmesini sağlayan rüzgâr türbinlerinin çeşitliliğinin fazla olması farklı tedarikçi firmalar ile çalışabilme imkanını sağladığından, rüzgâr enerjisinin kullanımı tercih edilmektedir.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) 2019 yılı Türkiye verilerine göre, enerji kaynaklarımızın %82'sini fosil yakıtlar ve %16'sını da yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Elektrik üretiminde ise, üretimin %44,3'ü yenilenebilir enerji kaynakları, %37,3'ü kömür ve linyit, %0,2'si petrol ve %18,1'i doğalgaz olmuştur (TEİAŞ 2019). Ülkemizde rüzgâr potansiyelinin çokluğu da dikkate alınırsa, rüzgâr enerjisinin avantajlarından yeterince faydalanılmadığı söylenebilir. Sanayi ve nüfusla bağlantılı olarak elektrik ihtiyacının günden güne arttığı ülkemizde, rüzgâr enerjisine gerek devlet gerek özel sektör tarafından daha çok yatırım yapılmalıdır. Yatırımın hangi lokasyona yapılması gerektiği ise bir seçim problemidir. Bu seçimi etkileyen karar vermede en iyi sonucu elde etmeyi sağlayan ölçütler ve ölçütler arası ilişkiler incelenerek problem çözümlerine gidilmelidir.

Gerçek hayatta karşılaşılan karar problemleri birbiri ile etkileşim halinde olan birçok ölçütten etkilenmektedir. Rüzgâr türbini çiftliğinin kurulması için de seçenek olarak belirlenen sahaların yıllık veya 5 yıllık ortalama rüzgâr hızı verileri, kullanılacak rüzgâr türbinlerinin fiziki yapısı, pürüzlülük oranı, hava yoğunluğu, rakım ve eğim gibi ölçütler göz önünde bulundurulmaktadır. Dolayısıyla, rüzgâr türbini çiftliği saha seçimi de birçok ölçütlü karar verme problemidir.

Literatürde çeşitli saha/konum seçimi problemlerinin çözümünde AHP (Şimşek, 2014; Solangi, 2018; Talinli, 2011; Al-Shabeb, 2016; Wang, 2018; Sanchez, 2014), ANP (Yeh, 2014;), ELECTRE (Şimşek, 2014; Sanchez-Lozano, 2014; Talinli, 2011; Al-Shabeb, 2016; Wang, 2018), TOPSIS (Solangi, 2018) ve DEMATEL (Yeh, 2014), PROMETHEE (Sennaroglu, 2018; Athawale, 2012; Wiguna, 2016), VIKOR (Sennaroglu, 2018; Villacreses, 2017; Lee, 2014), gibi ÇÖKV yöntemleri kullanılmıştır. Uygun saha seçimi problemlerinden biri olan rüzgâr türbini saha seçimi problemi için yapılan ÇÖKV çalışmaları incelendiğinde ise diğer saha seçimi çalışmalarından görece daha az çalışma olduğu görülmüştür.

Tortumluoğlu (2021) yaptıkları çalışmada, açık deniz rüzgâr türbinlerinin tasarım sürecinin en önemli basamağının yer seçim kriterleri olduğundan bahsetmiş ve WASP paket programı kullanarak analiz etmiştir. Türbin yerleşimi için rüzgâr hızı ve potansiyeli, derinlik koşulları, yasak sahalar ve deniz ulaşımını önemli ölçütler olarak kabul etmiştir.

Can ve Yücel'e (2019) göre Türkiye'nin en fazla rüzgâr alan illerinden biri Çanakkale'dir. Bu durum göz önüne alındığında rüzgâr türbinleri ile elektrik enerjisi üretiminde ülkemizin en önemli mekanlarına sahip olduğu düşünülmüştür. Türbin konumlandırılması enerji üretimini önemli ölçüde etkilediğinden uygun konumlandırma için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve AHP kullanılarak Çanakkale İl sınırları içinde uygun alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ecer'e (2021) göre rüzgâr çiftliği sahasının tercih edilmesi büyük oranda rüzgâr potansiyeline ve yerleşim yerlerine olan uzaklığına bağlıdır.

Uygun yer seçiminde kullanılan ölçütleri FUCOM (Full Consistency Method-Tam Tutarlılık Yöntemi) yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Çalışmanın sonuçlarını rüzgâr enerjisine yönelik politika belirlemede kullanılabileceğini belirtmiştir.

Şimşek (2014) çalışmasında, rüzgâr türbininin karada kurulabileceği uygun alanları belirlemek için türbin yer seçiminde etkili olan ölçütler önermiştir. Electre TRI ve Electre III yöntemlerini kullanarak, uygun yer seçimini yapmıştır. Yeh (2014) ise, çalışmasında belirlediği ölçütler temelinde ilgili karada rüzgâr çiftliği yeri seçimini DEMATEL ve ANP yöntemleri ile yapmıştır.

Açık denizlerde oluşan şiddetli rüzgarlar ile günümüzde kullanılan deniz kıyısı (off-shore) rüzgâr santrallerinde üretilen elektriğin %20-30 daha fazlasını üretmek mümkündür. Açık denizlerde bulunan rüzgâr santrallerinin karada bulunanların aksine sürtünme kuvvetleri oldukça düşüktür ve rüzgârı engelleyebilecek herhangi bir yüzey şekli bulunmamaktadır. Bu nedenle, açık denizlerde kurulacak olan rüzgâr santrallerinin verimi oldukça yüksektir. Ghosh (2016), optimal dalga enerjisi miktarının üretilebileceği uygun yerleri belirlemek için yeni bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde, dalga enerjisi üretimi için konumların uygunluğunu temsil eden bir indeksi tahmin etmek için yapay sinir ağları ve ÇÖKV yöntemleri melez bir şekilde kullanılmıştır.

Sanchez (2014) yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi kurulumu için kriterlerin ağırlıklandırılmasında bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Wang (2018) ve Al-Shabeb (2016) tarafından yapılan çalışmalarda ise rüzgâr türbinleri kurulumu için gerekli olan saha seçiminde AHP ve ELECTRE yöntemleri ele alınmıştır. Solangi (2018) de AHP ile TOPSIS yöntemini melezleyerek bir seçim yapmıştır.

Bu çalışmada ele alınan rüzgâr türbini çiftliği kurulumu problemi hem nitel hem nicel ölçütleri olan bir gerçek hayat problemi ve ölçütleri arasında ilişkiler olduğundan, ölçütler arası bağımlılığı dikkate alan ANP yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca, yine literatürde yer alan çalışmalardan da görüleceği üzere rüzgar çiftliklerinin kurulumunda ya kara ya da deniz bölgeler dikkate alınmıştır. Bu çalışmada ise, rüzgar enerjisinden en fazla oranda yararlanabilmek için, kurulum için seçilecek yerin hem karada hem de denizde olmasına karar verilmiş, literatüre de bu yönde bir katkı sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde Türkiye’de hem deniz hem de karada kurulacak rüzgâr türbini çiftliği için en uygun yerin belirlenebilmesi için öncelikle temel istatistiksel analizler ile yapılan filtreleme işlemi ile ANP yöntemi verilmiştir. Üçüncü bölümde aday iller arasından en uygun ili belirleyecek bir ANP modeli önerilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise sektör uzmanlarının değerlendirmesi sonucu elde edilen çıktılar değerlendirilmiştir.

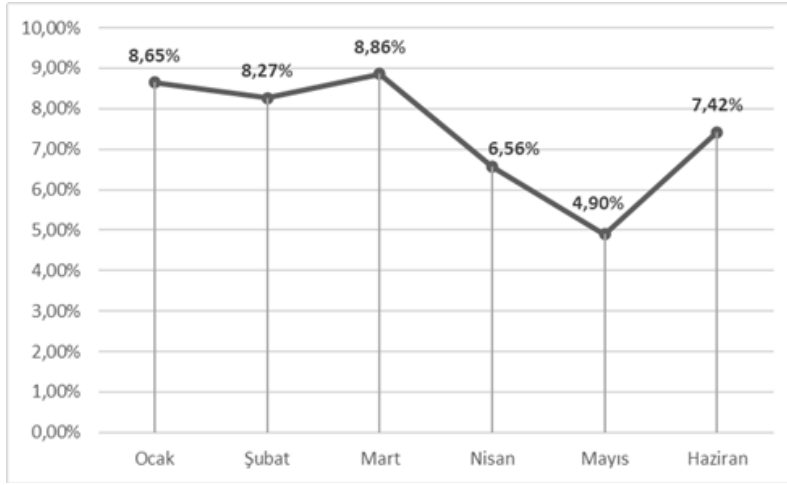
MATERYAL VE METOT

Çok ölçütlü karar verme problemlerinde temel fikir, en uygun seçim için birden fazla ölçüt belirleyerek sistematik bir şekilde karar almak üzere bir karar modeli oluşturmaktır. Gerçek hayat problemlerinin çoğunda belirlenen ölçütler arasında etkileşim olması sebebiyle Analitik Serim Süreci (ANP) bu çalışmada tercih edilen ÇÖKV yöntemi olmuştur. Ancak, ANP yönteminin sınırlılıklarından biri olan seçenek sayısının en fazla yedi olması, çalışmada önce aday illerin belirlenmesi için bir filtreleme işlemi gerekli kılmıştır.

Filtreleme

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB)’in 2019 yılında yayınladığı verilere göre ülkemizde 30 ilde işletilen 183 Rüzgâr Enerji Santrali (RES) 7.615,40 MW kurulu güce sahiptir ve rüzgâr enerji santrallerinde üretilen elektrik ile toplam elektrik ihtiyacımızın %7,40’ı karşılanmaktadır (TÜREB 2019). Yine aynı rapordan alınan bazı istatistikler Şekil 1’de verilmiştir.

Şekil 1’de verilen 183 RES’in bölge bazlı dağılımına bakıldığında, Ege bölgesinin 2.868,05 MW, Marmara bölgesinin 2.603,50 MW, Akdeniz bölgesinin 996,10 MW, İç Anadolu bölgesinin 763,30 MW, Karadeniz bölgesinin 279,70 MW, Güneydoğu bölgesinin 93,05 MW ve Doğu Anadolu bölgesinin 11,70 MW’lık RES kurulu gücüne sahip olduğu görülmektedir. Şehirler için bir istatistik belirtmek gerekirse RES kurulumunun en yüksek olduğu ilk beş şehir: 1.462,20 MW ile İzmir, 1.135 MW ile Balıkesir, 669,95 MW ile Manisa, 505,60 MW ile Çanakkale ve 364,50 MW ile Hatay’ dır.



Şekil 1. Türkiye’de RES’lerinin Elektrik Üretimindeki Payı

Bu çalışmada, rüzgâr çiftliğinin deniz ve karaya kurulması hedeflendiği için ilk olarak Türkiye’de denize kıyısı olmayan şehirler elenmiştir. Ardından, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nün yayınlamış olduğu Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası temel alınarak şehirlerin rüzgâr hızı sınıflandırılması yapılmış ve Tablo 1’de belirtilmiştir. Bu sınıflandırma sonucunda da hızı düşük olan iller elenmiş ve en yüksek rüzgâr hızına sahip üç il (Çanakkale, Balıkesir, Bartın) seçilmiştir.

Tablo 1. Rüzgâr hızı 5,1 m/s’den büyük olan araziler (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2007)

Şehirler	Kapalı Arazi	Açık Arazi	Kıyıları	Açık Deniz	Tepe ve Bayırlar
Edirne		X	X	X	X
Kırklareli		X	X	X	X
Tekirdağ		X	X	X	X
Çanakkale	X	X	X	X	X
Balıkesir	X	X	X	X	X
İzmir		X	X	X	X
Aydın		X	X	X	X
Muğla		X	X	X	X
Antalya		X	X	X	X
Mersin		X	X	X	X
Adana		X	X	X	X
Hatay		X	X	X	X
Artvin				X	X
Rize				X	X
Trabzon				X	X
Giresun				X	X
Ordu				X	X
Samsun		X	X	X	X
Sinop		X	X	X	X
Kaştamonu		X	X	X	X
Bartın	X	X	X	X	X
Zonguldak		X	X	X	X
Düzce		X	X	X	X
Sakarya		X	X	X	X
İzmit		X	X	X	X
İstanbul		X	X	X	X
Yalova		X	X	X	X
Bursa		X	X	X	X

Bir sonraki adımda ise Tablo 2 ve 3' teki veriler göz önünde bulundurularak, denize kıyısı olan iller içerisinde en yüksek verim alınabilecek beş il daha (Kırklareli, Tekirdağ, İzmir, Muğla, Sakarya) seçilmiştir. Böylece elimizde gelecek beş yıl için enerji tüketimi tahminlemesi yapılacak sekiz il kalmıştır.

Tablo 2. 2018-2019 yılı enerji kullanımları ve nüfusları (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. 2018-2019, Türkiye Nüfusu. 2018-2019)

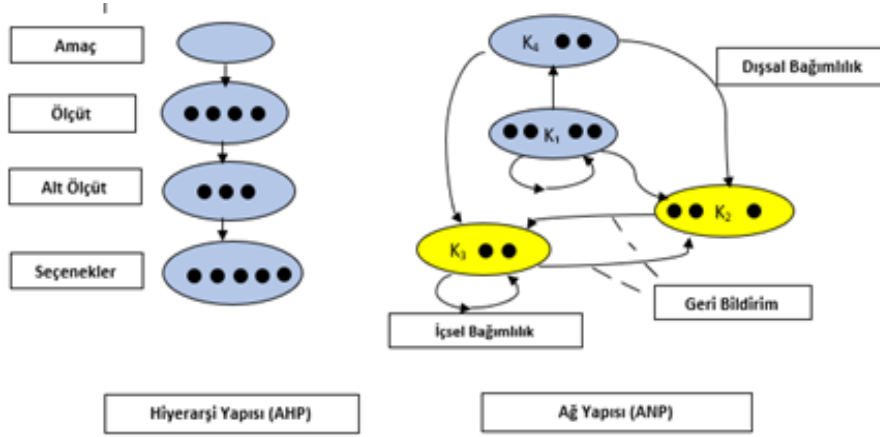
Şehirler	İlin 2018 yılı enerji kullanımı	İlin 2018 yılı nüfus	Bireysel enerji kullanım oranı (2018)	İlin 2019 yılı enerji kullanımı	İlin 2019 yılı nüfus	Bireysel enerji kullanım oranı (2019)
Edirne	91.901,96	406.855	0,2259	88.702,25	411.528	0,2155
Kırklareli	176.065,38	356.050	0,4945	173.537,29	360.860	0,4809
Tekirdağ	563.680,99	1.005.000	0,5609	577.332,38	204.001	0,5605
Çanakkale	253.246,79	530.417	0,4774	204.539,66	540.662	0,3783
Balıkesir	309.553,09	1.205.000	0,2569	298.913,25	1.228.620	0,2433
İzmir	1.362.494,80	4.320.519	0,3154	1.274.024,79	4.367.000	0,2917
Aydın	219.833,34	1.081.000	0,2034	232.543,77	1.098.000	0,2118
Muğla	280.419,50	967.487	0,2898	302.626,39	967.487	0,3128
Antalya	603.384,51	2364000	0,2552	646.505,69	2.511.700	0,2574
Mersin	401.288,59	1.794.000	0,2237	404.863,71	1.840.425	0,2200
Adana	591.000,63	2.216.000	0,2667	589.635,21	1.769.000	0,3333
Hatay	400.522,23	1.575.000	0,2543	346.487,97	1.610.000	0,2152
Artvin	28.431,03	166.143	0,1711	35.615,65	174.010	0,2047
Rize	53.883,71	331.041	0,1628	50.753,90	348.608	0,1456
Trabzon	126.194,68	786.326	0,1605	131.605,81	808.974	0,1627
Giresun	56.895,87	437.393	0,1301	57.469,05	453.912	0,1266
Ordu	95.534,38	771.932	0,1238	103.040,19	771.932	0,1335
Samsun	221.071,04	1.313.000	0,1684	221.146,31	1.348.542	0,1640
Sinop	22.513,37	219.733	0,1025	32.014,18	219.733	0,1457
Kastamonu	71.250,28	372.373	0,1913	74.442,40	383.373	0,1942
Bartın	41.317,70	198.999	0,2076	35.944,71	198.999	0,1806
Zonguldak	109.043,07	596.892	0,1827	100.186,80	599.698	0,1671
Düzce	85.709,50	377.610	0,2270	80.717,58	387.844	0,2081
Sakarya	321.099,99	271.515	1,1826	279.475,39	276.385	1,0112
İzmit	827.029,89	1.883.000	0,4392	830.713,73	1.906.000	0,4358
İstanbul	3.747.476,51	15.067.724	0,2487	3.627.327,60	15.520.00	0,2337
Yalova	53.354,07	251.203	0,2124	65.258,25	262.234	0,2489
Bursa	1.019.962,31	2.937.000	0,3473	1.029.565,99	3.056.120	0,3369

Tablo 3. Son 5 yılın enerji kullanımları ve OSB sayıları (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. 2016-2017-2018-2019-2020, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. 2018)

Şehirler	İlin 2016 yılı enerji kullanımı	İlin 2017 yılı enerji kullanımı	İlin 2018 yılı enerji kullanımı	İlin 2019 yılı enerji kullanımı	İlin 2020 yılı enerji kullanımı	OSB sayıları
Kırklareli	171.415,79	133.740,95	176.065,38	173.537,29	170.919,20	4
Tekirdağ	518.174,33	491.888,68	563.680,99	577.332,38	621.162,28	13
Çanakkale	331.652,88	313.312,78	253.246,79	204.539,66	211.545,53	3
Balıkesir	324.409,62	281.737,92	309.553,09	298.913,25	303.948,91	8
İzmir	1.287.212,72	1.468.637,68	1.362.494,80	1.274.024,79	1.355.834,21	13
Muğla	253.533,88	268.477,99	280.419,50	302.626,39	254.666,24	1
Bartın	34.379,90	38.719,75	41.317,70	35.944,71	38.564,65	1
Sakarya	285.226,91	325.536,94	321.099,99	279.475,39	333.618,20	7

Analitik Serim Süreci (ANP)

Saaty tarafından geliştirilen ANP yöntemi, sonlu sayıda seçeneğe sahip olan karar problemlerini, kararı etkileyen ölçütleri ve seçenekleri hiyerarşik bir düzende ele alarak modelleyen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yönteminin genelleştirilmiş halidir (Saaty, 2001). Ölçüt ve seçeneklerin birbirleriyle etkileşim halinde olması durumunda ise (Şekil 2) tüm ölçüt ve seçeneklerin ağırlıklarını bulabilmek için oluşturulan karar modeli bir ağ yapısına sahip olmaktadır. ANP yönteminde olduğu gibi ANP yönteminde de hem nitel hem de nicel ölçütler aynı anda karar modelinde yer alabilmektedir.



Şekil 2. Hiyerarşi ve ağ yapısı (Yıldız, 2014)

Şekil 2’de görülen serim yapısı ile ANP’de, ölçütlerin önemi, bir hiyerarşide olduğu gibi, seçeneklerin önemini belirlemekle kalmaz, aynı zamanda seçeneklerin kendileri de ölçütlerin önemini belirlemek için kullanılır.

Bir hiyerarşide bağlantılar yalnızca alt düzeylerdeki öğelere yöneliktir. Bir ağda ise bir kümedeki öğeler başka bir kümedeki öğelere (dışsal bağımlılık) veya aynı kümedeki (içsel bağımlılık) bağlanan öğe kümelerine sahiptir. Unutulmamalıdır ki hiyerarşi, bağlantıların yalnızca tek yönde gittiği özel bir ağ durumudur.

İçsel ve dışsal bağlantıları daha detaylı açıklayacak olursak, ilkinde bir gruptaki öğelerin birbirleri üzerindeki etkisini karşılaştırır. Dışsal bağlantılar ile de bir kümedeki öğelerin başka bir kümedeki öğeler üzerindeki etkisi bir kontrol kriterine göre karşılaştırılır. İçsel bağımlılığı Sagir ve Kamisli Ozturk (2010) tarafından verilen enerji sektöründen bir örnek ile açıklayalım. Elektrik endüstrisinin elektrik üretmek için türbin yapmak için çeliğe ve ayrıca yakıta ihtiyacı vardır. Bu durumda dikkate almamız gereken üç sektör vardır elektrik endüstrisi, çelik endüstrisi ve yakıt endüstrisi. “Elektrik endüstrisi elektriği yapmak için daha çok neye bağlıdır, kendisi mi yoksa çelik endüstrisi mi?” Cevap, çeliğin daha önemli olmasıdır. Kendisine mi yoksa akaryakıt endüstrisine mi daha çok bağlı olduğu sorulduğunda cevap, akaryakıt endüstrisinin çok daha önemli olduğudur. Çeliğe mi yoksa akaryakıt endüstrisine mi bağlı olduğu sorulduğunda yakıt daha önemlidir. Elektrik endüstrisinin elektrik üretmek için kendi elektriğine ihtiyacı yoktur, yakıta ihtiyacı vardır.

ANP yönteminin uygulama aşamaları şu şekilde sıralanmaktadır:

1. Adım: Problemin Tanımlanması ve Modelin Kurulması: Bu aşamada karar probleminin amaçları, ölçütleri, alt ölçütleri ve ölçütler arası ilişkiler net olarak tanımlanmaktadır. Problem tanımlandıktan sonra problemin ortaya çıkmasındaki etkenler detaylı bir şekilde ifade edilmektedir.

2. Adım: Etkileşimlerin Belirlenmesi ve İkili Karşılaştırma Matrislerinin Elde Edilmesi: Tanımlanan problemde kararı etkileyen ölçütler ve alt ölçütler ile kümeler arası ve küme içi etkileşimleri belirlenmektedir. İkili etkileşimler arasındaki önem derecelerine göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır.

Önem değerleri 1’den 9’a kadar ölçekle belirlenir. Örneğin 1, iki seçenek arasında eşit önem olduğunu belirtirken; 9, bir seçeneğin karşılaştırıldığı diğer seçenektan çok daha önemli olduğunu belirtmektedir (Öztürk, 2014). İkili karşılaştırmalarda kullanılan bu “Önem Dereceleri” tablosu Tablo 4’te ayrıntılı gösterilmektedir.

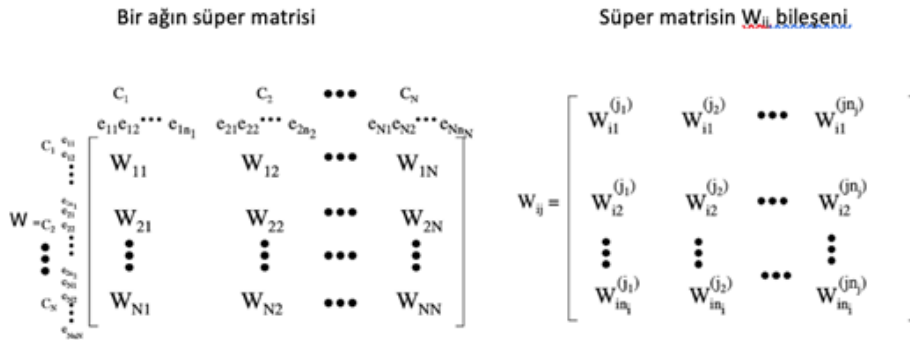
Tablo 4. İkili Karşılaştırmalardaki Önem Dereceleri (Saaty, 2001)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemde	İki kriterde eşit öneme sahip.
3	Biraz Önemli	Deneyimler ve yargılar bir ölçütü diğerine karşı biraz önemli kılar.
5	Fazla Önemli	Deneyimler ve yargılar bir ölçütü diğerine karşı güçlü şekilde önemli kılar.
7	Çok fazla Önemli	Ölçüt diğerine göre çok güçlü şekilde üstündür.
9	Son Derece Önemli	Eldeki bilgiler ve deneyimler bir ölçütün diğerine göre çok büyük oranda üstün olduğunu gösterir.
2,4,6,8	Ara Önem Dereceleri	Ara rakamlar gerektiğinde kullanılabilir.

Modelin gelişimi sırasında, tüm ölçütler ve alt ölçütler için geçerli olan en genel kümeler ağı ve bu kümelerin elementleri belirlenmekte ve belli bir düzende gösterilmektedir. Bu esnada, aynı kümeler ve aynı elementler için aynı etiketler kullanılmaktadır.

3.Adım: Süpermatris Oluşumu: İkili karşılaştırma matrisinden elde edilen öncelikler ile süpermatrisin sütunları oluşturulmaktadır. Süpermatris, matrisin solundaki bir ana ölçüt ya da alt ölçütün, matrisin üstündeki ana ölçüt ya da alt ölçüt üzerindeki etki önceliğini temsil etmektedir (Saaty, 2001).

N kümeden oluşan bir sistemin genel süpermatris hali Şekil 3'te gösterilmektedir. Örneğin, süpermatristeki bileşen (C1), (C1)'nin "ebeveyn" 'düğümüleri olan düğümler için türetilen tüm öncelik vektörlerini içerir. Ana ölçüt, yani (C1) 'deki alt ölçütler (C1) 'i besleyen alt ölçütlerin bir kısmını veya tamamını etkiler (Sagir ve Kamisli Ozturk, 2010). Wij'ler ise süpermatrisin elemanıdır. Örneğin, (W12) 1. ölçütün 2. ölçüt üzerindeki etkisinin ana özvektörüdür (Yang, 2008).

**Şekil 3.** Süpermatris oluşumu

4.Adım: En İyi Seçeneğin Seçilmesi: Seçenekler arasından en iyisi, limit süpermatris ve ölçüt ağırlıklarının bulunduğu değerler arasından en yüksek olanının seçilmesi ile gerçekleştirilmektedir (Özcan, 2017).

Rüzgâr türbini çiftliği saha seçimi probleminde de etkili olan ölçütler, alt ölçütler ve seçenekler birbirleri ile etkileşim halindedir. Bu etkileşimler karar problemini daha karmaşık hale getirmektedir. ANP yöntemi bu etkileşimleri göz önünde bulunduran ve sayısal faktörlerin daha iyi çözümlenmesi sağlayan bir yöntemdir. Bu nedenle saha seçiminde gerçek hayata uygunluğu sağlayan; karmaşık problemlerin çözülmesinde tercih edilen ANP yöntemi kullanılmıştır.

Rüzgâr Türbini Çiftliği Saha Seçimi ANP Modeli

Bu çalışmada ele alınan problem Türkiye'de rüzgâr türbini çiftliğinin kurulacağı alanın seçilmesidir. Bu seçimin yapılabilmesi için göz önünde bulundurulması gereken çeşitli ölçütler vardır. Ancak bu ölçütlerin hepsi aynı önem derecesine sahip değildir. Farklı öneme sahip ve birbiri ile etkileşim halinde olan nitel ve nicel ölçütlerin gerçek hayata uygun bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla bir ANP modeli önerilmiştir.

Ölçütlerin belirlenmesi

ANP modelinde aday şehirlerden en iyisinin belirlenebilmesi için öncelikle bu kararı etkileyecek ölçütler belirlenmiştir (Tablo 5). İzleyen aşamada ölçüt ve alt ölçütleri ile ölçütler arasındaki ilişkiler açıklanmıştır.

Tablo 5. Ölçüt tablosu

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler
Güvenlik C1	C11 Güvenli kurulum mesafesi
	C12 Emniyet
	C13 Düzenli tesis testleri
	C14 Bilgi yönetimi
	C15 Doğal afet
Ekonomi C2	C21 Maliyet
	C22 Makul güç fiyatlandırma
	C23 Enerji giderleri
Sosyal C3	C31 İstihdam
	C32 Sosyal kabul
	C33 Yerel faydalar
	C34 Turizm
Çevre C4	C41 Canlılara etkisi ve ekolojiyi koruma
	C42 Arazi yapısı
	C43 Uzaklık
	C44 Gürültü
	C45 Havacılık
Politika C5	C51 Enerji sübvansiyonu politikası
	C52 Standartlara ve yönetmeliklere uyum
Teknik C6	C61 Verimlilik
	C62 Tesis kalitesi
	C63 Stoktaki yedek parçalar

C1 Güvenlik: Rüzgâr türbinlerinin güvenli bölgede kurulması, kurulum anında ve kurulduktan sonra oluşabilecek arızaları önlemektedir. Bu arızaların öngörülmesi ve kurulumun bu analizlere göre seçilmesi maliyet kaybını da azaltmaktadır. Ana ölçütün güvenlik olarak seçilmesinin ardından bu başlık altında altı alt ölçüt belirlenmiştir:

C11 Güvenli kurulum mesafesi: Rüzgâr çiftliği içerisinde meydana gelebilecek herhangi bir arıza veya güvenlik sorunu gibi riskli durumlarda civar canlılarının en az etkileneceği güvenli bir mesafe bırakılması gerekmektedir (Yeh, 2014).

C12 Emniyet: Dışarıdan gelebilecek beşerî zararlara karşı rüzgâr çiftliğinin korunması oluşabilecek sorunları önemli ölçüde önlemiş olur. Bu nedenle sahanın emniyetinin sağlanabileceği alanların seçilmesi bu ölçüt için etkileyicidir (Arı, 2017).

C13 Düzenli tesis testleri: Rüzgâr çiftliği kurmak büyük bir yatırımdır. Tesis içinde meydana gelebilecek arızalar üretimin aksamasına ve maliyet artmasına sebebiyet vermektedir. Bu olumsuzlukları önlemek adına yapılacak düzenli test ve gerekli bakımlar uzun vadede fayda sağlamaktadır. Tesis testlerinin yapımına uygun saha seçimi yapılmalıdır (Yeh, 2014).

C14 Bilgi yönetimi: Kurulan çiftliğe ve elde edilen enerji gücüne dair bilgi sahibi olunması, oluşabilecek güvenlik ihlallerinin ve risklerinin öngörülmesi gerekmektedir. Bu donanımın ve sahip olunan bilginin yer seçimine aktarılması ve kullanılması avantajlıdır (Yeh, 2014).

C15 Doğal afet: Yıldırım düşmesi, heyelan, çığ, deprem vb. doğal afetlere karşı riski en az olan arazi seçimi hayati önem arz etmektedir (Yeh, 2014).

C2 Ekonomi: Yeni kurulacak rüzgâr türbini sahasının en önemli ölçütlerinden biri de ekonomidir. Maliyetleri en aza indirmek ve en büyük karı elde etmek amacıyla dikkat edilmesi gerekenler ekonomi başlığının altında beş alt ölçüt ile açıklanmıştır.

C21 Maliyet: Çiftliğin kurulacağı arazinin satın alınması veya kiralanması, ihtiyaç duyulması halinde yol yapımı, türbin satın alınması ve tesisin kurulum maliyeti yatırım maliyeti kapsamına girmektedir. Genel enerji üretim maliyeti, çalışan maliyeti ve amortisman maliyeti işletme maliyeti başlığı altında toplanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre yatırım maliyeti genel maliyetin %30'unu, işletme maliyeti ise yaklaşık %25-30 kadarını oluşturmaktadır. Bakım onarım ve diğer maliyet kalemleri geri kalan yüzdeleri oluşturmaktadır (Arı, 2017; Yeh, 2014).

C22 Makul güç fiyatlandırma: Genel pazar durumu ve yönetmelik kuralları çerçevesindeki sınırlara uygun fiyatlandırma yapılmalıdır. Bunu sağlamak için de elde edilen enerjinin şebekeye iletim ve dağıtım gibi maliyetleri en aza indirecek yer seçilmelidir (Yeh, 2014).

C23 Enerji giderleri: Tesisin yukarıda belirtilmiş olan maliyet kalemleri haricindeki dağıtım, enerjinin kullanılabilir hale getirilmesi gibi giderleridir (Arı, 2017).

C3 Sosyal: Rüzgâr türbinlerinin kurulmasının ardından bu bölgede üretilecek rüzgâr enerjisinin kullanım oranı da oldukça önemlidir. Sahanın çevresinde bu enerjiyi kullanılmasını gerektirecek sosyal alanın artması talebi artırır. Artan taleple birlikte yenilenebilir enerji kaynakların faydasının arttığında gözle görülebilecek düzeye gelir. Bu ana ölçütün etkilendiği dört alt ölçüt belirlenmiştir.

C31 İstihdam: RES'in kurulduğu alanda yaratacağı istihdam önemli bir faktördür. Bölge işsizliğinin azalmasına ve refah artışına önemli katkı sağlamaktadır. Vardiyalı çalışan güvenlik görevlisi ile sahadan sorumlu mühendis haricinde santral sahalarının işgücüne ihtiyaç duymaması istihdam faktörünün etkisini azaltmıştır. Bu etki daha sonra kullanılacak olan kriter ağırlıkları matrisinde de kendisini göstermektedir (Arı, 2017).

C32 Sosyal kabul: Çiftlik kurulmasının civar yerleşkeler tarafından kabul görmesi sosyal açıdan önemlidir (Arı, 2017; Yeh, 2014).

C33 Yerel faydalar: Çiftliğin olduğu bölgenin bu tesisten elde ettiği faydalar (ucuz ve erişilebilir elektrik ve olası istihdam) önemli bir kriteri oluşturmaktadır. Yerel fayda, sosyal kabulünü de etkilemektedir (Arı, 2017).

C34 Turizm: Turizm bölgelerinde ses ve görüntü kirliliği olmaması gerekmektedir. Bunun yanında otel ve eğlence işletmelerinin yoğunluğu sebebi ile çiftlik için uygun arazi bulmak zordur. Bu sebeple, turizm bölgelerine rüzgâr çiftliği kurulması tercih edilmez (Ghosh, 2016).

C4 Çevre: Yapılan her yeni projede canlıların etkilenebileceği olumsuz durumları en aza indirgemek gerekmektedir. Bunun için kurulacak türbinlerin çıkaracağı gürültü en aza indirilmeli, doğal hayatı koruma alanları içerisinde bulunmamalıdır. Ayrıca rüzgâr türbinlerinin konumu her arazi için uygun değildir. Arazi yüksekliği, yapısı, ulaşım yerleri vb. gibi alanlara uzaklığı, bölgedeki yıllık rüzgâr yoğunluğu, rakım gibi kısıtlamalar çiftlik kurulumunu etkilemektedir. Bütün bunlar baz alındığında saha seçiminde önemli rol oynadığını belirlediğimiz 6 alt ölçüt bu ana başlık altında toplanmıştır.

C41 Canlılara etkisi ve ekolojiyi koruma: Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın orman ve ağaçlandırma alanları ile korunan alanları (milli park, sulak alan, yaban hayatı geliştirme sahası, çevre koruma bölgeleri, vb.), göç yolları, marina hayatı, yer altı kaynakları, akarsu ve balıkçılık üzerine etkisi seçilecek sahada önemli bir yere sahiptir (Arı, 2017; Yeh, 2014; Sarucan, 2010).

C42 Arazi yapısı: Seçilecek arazinin çiftlik kurulumu için uygun özelliklere (toprak yapısı, derinlik, ormanlık alan olmaması, eğim, rakım, yükseklik) sahip olması gerekmektedir. Rüzgâr türbin sahası, tarım ve hayvancılık gibi başka amaçlar için de kullanılabilir. Bu nedenle çiftliğin düz bir araziye kurulması daha kullanışlıdır (Arı, 2017; Yeh, 2014; Ghosh, 2016; Baban, 2001; Van Haaren, 2011).

C43 Uzaklık: Yollara, fay hattına, yerleşim yerine ve şebekeye olan uzaklık projede daha düşük inşaat maliyeti sağlar. Böylece seçilen saha, yoldan ve şebekeden 10 km'den uzakta olmamalıdır (Solangi, 2018; Ghosh, 2016).

C44 Gürültü: Türbinlerden gelen yüksek gürültü seviyesi nedeni ile proje yakınlarında yaşayan insanlar bu sorunlardan şikayetçi olabilir. Ancak gürültünün insan sağlığı üzerinde doğrudan etkisi yoktur. Yine de çevresel memnuniyetsizlik oluşmaması açısından çiftlik, yerleşim yerinden uzağa kurulmalıdır (Arı, 2017; Yeh, 2014).

C45 Havacılık: Türbinlerin yaydığı parıltının hava trafiği ve navigasyon üzerinde olumsuz etkisi olabilmektedir (Fetanat, 2015).

C5 Politika: Çiftliğin kurulması için devletin ve bazı kurum/kuruluşların koyduğu uyulması gereken kısıtlamalar ve yönetmelikler vardır. Bu kısıtlamalara göre, 3 önemli alt ölçüt seçilmiştir.

C51 Enerji sübvansiyonu politikası: Bütçe dahilinde olan ödenekler, devlet harcaması olarak görünür. Devletten sübvansiyon almak için yer seçimi konusunda da politika kapsamındaki maddelere uyulmalıdır (Yeh, 2014).

C52 Standartlara ve yönetmeliklere uyum: Hükümet yenilenebilir enerji politikalarını, yönergelerini ve kurulumunu açıkça belirtir. Rüzgâr teknolojisinin teşvik edilmesi ve kullanılması için belirlenen çerçevenin yanı sıra, rüzgâr projesi saha seçimini teşvik etmektedir (Yeh, 2014; Solangi, 2018).

C6 Teknik: Rüzgâr çiftliği kurmak maliyetli bir yatırım olduğu için, kurulan sahadan en yüksek verim elde edilmeye çalışılmalıdır. Rüzgâr çiftliğinin saha seçiminde kullanılacak teknik konular üç alt ölçüte ayrılmıştır.

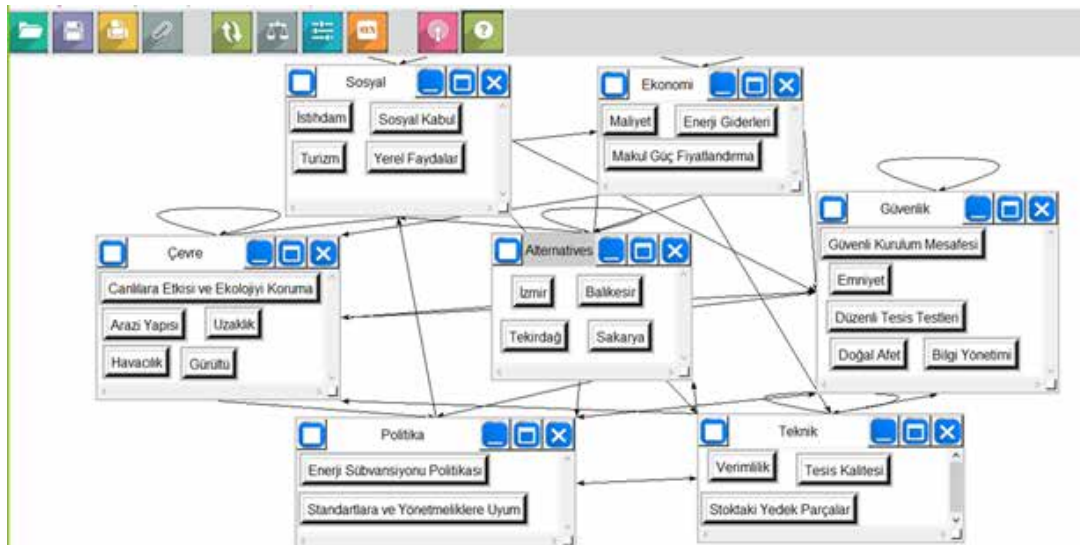
C61 Verimlilik: Dünya Enerji Ajansı, rüzgâr hızının 5,1 m/s ve üzeri olan yerlerdeki rüzgâr türbinlerinin verimli olduğu açıklamasında bulunmuştur. Rüzgâr verisi ve nitelikli insan gücü kullanılabilirliği çiftlik yeri seçimi için önemlidir çünkü yeterli ve mevcut veriler alındıktan sonra sürdürmek ve koordine etmek saha içerisinde verimliliği arttırmaktadır (Arı, 2017; Yeh, 2014).

C62 Tesis kalitesi: Tesis kurulurken seçilen malzeme, arazi yapısı ve işçilik kalitesi sürdürülebilirliği sağlar. Bu da kullanım ömrünü artırırken arıza maliyetini azaltmaktadır (Yeh, 2014).

C63 Stoktaki yedek parçalar: Arıza durumunda stokta yedek parça bulundurmak üretimin devamlılığı açısından önemlidir. Bu nedenle, kurulacak çiftlik alanı depo kurulumuna uygun veya mevcut bir depoya yakın olmalıdır (Yeh, 2014).

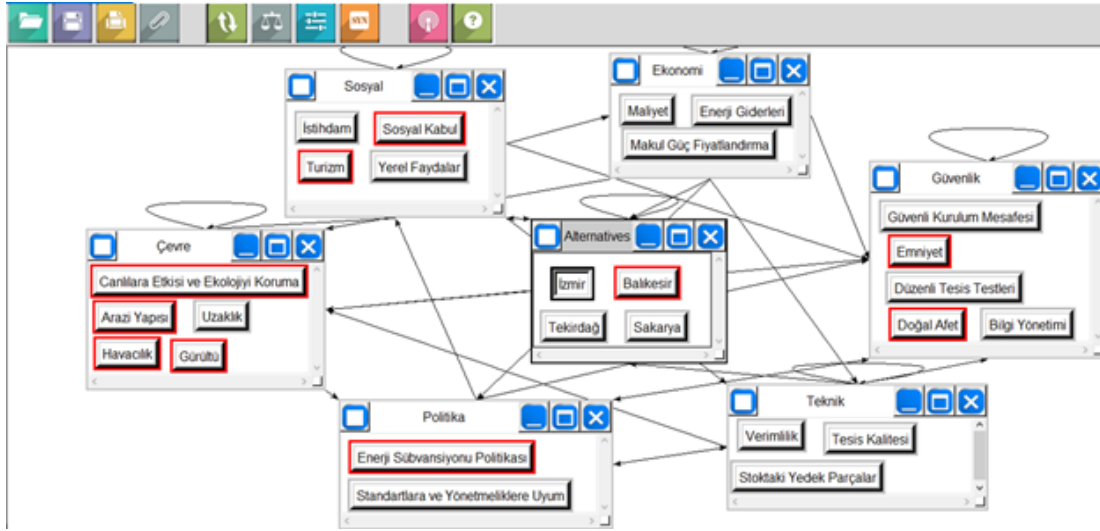
Ana ölçütler ve alt ölçütler belirlendikten sonra ANP modelinin kurulabilmesi için Super Decision yazılımı kullanılmıştır.

Seçenekler, ana ve alt ölçütler aralarındaki ilişkiler de göz önüne alınarak Şekil 4'te verilen ANP modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4. Programda oluşturulan ANP modeli

Tüm ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu görüldükten sonra, ölçüt ve seçenek ağırlıkları EK-1'de verilen limit matristen elde edilmiştir. En uygun aday ilin belirlenmesi için Tablo 6'da verilen ağırlık matrisinin Normal sü-tunu değerleri dikkate alınmıştır. Uzman değerlendirmelerine göre ülkemizde rüzgâr türbini çiftliği kurulumu için en uygun seçenek en yüksek ağırlıkla (0,3664) İzmir ili olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. İzmir ilinin ilişkileri

İkili Karşılaştırma Matrisleri

Modelin oluşturulmasının ardından ikili karşılaştırmalar konu uzmanları tarafından yapılmıştır. Birden fazla karar verici olduğu için de değerlendirmelerin geometrik ortalaması alınmıştır.

Hem kümeler arası hem de küme içi ölçütler arası bağımlılıklar olduğundan, ikili karşılaştırma matrislerinin değerlendirilmesinde farklı sorular sorulmuştur. Bu sorulardan bazıları:

1. Balıkesir iline göre arazi yapısı, canlılara etki ve ekolojiyi koruma üzerinde kaç kat önemlidir?
2. Enerji giderleri ölçütüne göre İzmir ili, Balıkesir ilinden kaç kat önemlidir?
3. Maliyet ölçütüne göre doğal afet, bilgi yönetiminden kaç kat önemlidir?

İkili karşılaştırma matrislerine bir örnek Şekil 6'da verilmiştir. Örneğin; bir karar vericiye göre enerji giderleri ölçütüne göre İzmir ili, Balıkesir iline göre dört kat, Sakarya iline göre beş kat ve Tekirdağ iline göre de iki kat önemlidir.

2. Node comparisons with respect to Enerji Giderleri																				
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct																				
Comparisons wrt "Enerji Giderleri" node in "Alternatives" cluster																				
İzmir is moderately to strongly more important than Balıkesir																				
1. Balıkesir	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Izmir
2. Balıkesir	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Sakarya
3. Balıkesir	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Tekirdağ
4. İzmir	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Sakarya
5. İzmir	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Tekirdağ
6. Sakarya	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	Tekirdağ

Şekil 6. "Enerji giderleri ölçütüne göre İzmir ili, Balıkesir ilinden kaç kat önemlidir?" sorusunun ikili karşılaştırma matrisi

Tüm ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu görüldükten sonra, ölçüt ve seçenek ağırlıkları EK-1'de verilen limit matristen elde edilmiştir. Uzman görüşlerine göre belirlenen ölçüt ağırlıklarına göre en çok önem verilen ilk beş ağırlık Tablo 6'da verilmiştir. En önemli ölçüt, 0,195 ağırlık ile Politika kümesinde yer alan enerji sübvansiyonu politikası olarak belirlenmiştir. Ardından bilgi yönetimi, düzenli tesis testleri, arazi yapısı ve standartlara ve yönetmeliklere uyum ölçüleri gelmiştir.

Tablo 6. ANP modelinden elde edilen ölçüt ağırlıkları

Ana Ölçüt	Ölçüt	Ağırlık
Politika	Enerji Sübvansiyonu Politikası	0.194768
Güvenlik	Bilgi Yönetimi	0.169777
Güvenlik	Düzenli Tesis Testleri	0.126153
Çevre	Arazi Yapısı	0.091529
Politika	Standartlara ve Yönetmeliklere Uyum	0.058156

En uygun aday ilin belirlenmesi için Tablo 6'da verilen ağırlık matrisinin Normal sütunu değerleri dikkate alınmıştır. Uzman değerlendirmelerine göre ülkemizde rüzgâr türbini çiftliği kurulumu için en uygun seçenek en yüksek ağırlıkla (0,3664) İzmir ili olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. ANP modelinden elde edilen şehir ağırlıkları

Şehir	İdeal	Normal	İşlenmiş
Balıkesir	0,572783	0,209880	0,005157
İzmir	1,000000	0,366422	0,009003
Sakarya	0,585154	0,214414	0,005268
Tekirdağ	0,571154	0,209284	0,005142

SONUÇLAR

Enerji kaynaklarının hızla tükenmesini gözlemlediğimiz ve bunu önlemek istediğimiz bu çalışmada, öncelikle Türkiye'deki rüzgâr enerji potansiyeli dikkate alınmıştır.

Tüm dünyada rüzgâr enerjisi, 651 GW kapasiteye ulaşmıştır. İstatistiklere ve uzman tahminlerine göre 2030 yılında rüzgâr enerji santrallerinin şu anki kurulu gücünün iki katı kadar güç elde edileceği öngörülmektedir. Dünya piyasasında rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi konusunda başı Çin, ABD, Almanya çekmektedir. Türkiye, kurulu güç bakımından dünya sıralamasında üst sıralara yakın olsa da kişi başına düşen rüzgâr enerji santrali kurulu gücü açısından bir sıralama yapıldığında diğer ülkelerden oldukça geride kalmaktadır. Bu da gösteriyor ki ülkemizdeki RES sayısı ve üretilen elektrik ülkemizin ihtiyacının oldukça küçük bir kısmını karşılamaktadır (TÜREB 2019, Temmuz).

Bu potansiyelin kullanımını artırmak için rüzgâr türbinlerinin sayısını ve kullanımını yaygınlaştırmak hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda Türkiye'de hem kara hem de denizde yeni kurulacak rüzgâr türbin çiftliği için uygun yer seçiminin yapılması gerekmektedir. Yer seçimi problemi birçok ölçütlü karar verme problemidir. Ayrıca, seçim kararını etkileyen ölçütlerin de birbiri arasında etkileşimin olması söz konusudur. Araştırmalar sonucunda, ÇÖKV yöntemlerinden ölçütler arası ilişkileri dikkate alan ANP yönteminin diğer yöntemlere göre daha az kullanıldığı görülmüştür. Dolayısıyla, yeni kurulacak sahanın maliyetini, çevresel özelliğini ve sürdürülebilirliğini göz önünde bulunduran ve belirlenen tüm ölçütlerin ilişkilerini de dikkate alan bir ANP modeli oluşturulmuştur.

Çalışmada hem açık denizde hem de karada rüzgâr türbinlerinin kurulması ve birlikte incelenmesi hedeflendiğinden öncelikle Türkiye çapında bir aday il belirlenmesi yapılmıştır. ÇÖKV tekniklerine destek olacak şekilde, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlasından şehirlerin rüzgâr hızı sınıflandırılması yapılmış ve en yüksek rüzgâr hızına sahip üç il (Çanakkale, Balıkesir, Bartın) seçilmiştir. Ayrıca, denize kıyısı olan iller arasından dalga derinlikleri ve kıyıya olan uzaklık göz önünde bulundurulmuş ve kurulum için en verimli olabilecek beş il daha seçilmiştir. Son olarak, belirlenen toplam sekiz ilin 2018 yılından itibaren enerji tüketimleri ve OSB sayıları incelenerek gelecek beş yılın enerji tüketim tahminleri yapılmıştır. Böylece ANP modeli için gerekli aday iller oluşturulmuştur.

Çalışmada deneysel veriler kullanılmamış, sektör uzmanları ile iletişime geçilerek ANP modelinin ikili karşılaştırmaları uzman görüşleri ile yapılmıştır. Böylece çalışmada önerilen ANP modeli ile başlıca çevresel ve ekonomik açıdan göz önünde bulundurulması gereken birçok ölçüte sahip rüzgâr çiftliği saha seçimi gibi karmaşık bir karar probleminin analiz edilmesi sağlanmıştır.

Uzman görüşlerine göre belirlenen ölçüt ağırlıklarına göre en çok önem verilen ölçüt Enerji Sübvansiyonu Politikası olarak belirlenmiştir. Diğer ölçütler de sırası ile bilgi yönetimi düzenli test tesisleri, arazi yapısı ile standartlara ve yönetmeliklere uyum olarak belirlenmiştir. Buradan da görülmektedir ki, tesis kurulumunda her ne kadar maliyet önemli bir unsur olsa da ele alınan problem uzun dönemli sonuçları olan stratejik bir karara ait olduğundan politika ve güvenlik ana ölçütlerine öncelik verilmelidir. Ayrıca elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere, tesis kurulumunda arazi yapısının uygunluğu da dördüncü sırada önemli ölçüt olarak belirlenmiştir. Kurulacak bu tesis, sürdürülebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması adına çevreye karşı olumlu bir stratejik katkı sunacaktır. Önerilen model ve uzaman yargıları sonucunda da hem deniz hem karada kurulacak bir rüzgâr çiftliği için ülkemizde İzmir ili yaklaşık 0,367 önem derecesi ile en uygun aday il olarak belirlenmiştir. Türkiye’de hem kara hem de denizde aynı anda rüzgâr türbini bulduran bir rüzgâr çiftliği sahasının bulunmaması üzerine, böyle bir sahanın kurulabileceği alanı belirlemek çalışmanın literatüre yaptığı en büyük katkısıdır. Aynı zamanda, araştırmalar sonucu yer seçimi problemlerinde az kullanılan ANP yönteminin sistematik bir yaklaşım sergilenerek kullanılmış olması da literatüre yapılan bir diğer katkıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir bir modelinin oluşturulması da çalışmanın çevreye yapmış olduğu katkıyı göstermektedir.

Devam etmekte olan, uzun soluklu ve aşamalardan oluşan bu çalışma için ileride İzmir ilinde kurulacak olan sahaya yerleştirilecek rüzgâr türbinlerinin çeşidi ve sayısı bir optimizasyon modeli ile belirlenecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209/A programı ve Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Komisyonu Proje No: 21LTP014 tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Yıldız, E. (2019). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları, uygulama: Güneş enerji santrali ve rüzgâr enerji santrali kuruluş maliyetleri (Master’s thesis, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- TEİAŞ (2019). 2019 Yılı Elektrik Üretim-Tüketim Raporları. Erişim adresi: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari>
- Tortumluoğlu, M. İ., & Doğan, M. Açık Deniz Rüzgâr Türbinleri için Uygun Yer Seçim Kriterlerinin İrdelenmesi ve Kuzey Ege Kıyılarına Uygulanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 23(67), 25-41.
- Can, G., & Yücel, M. A. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerji Santralleri için Yer Tespiti, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27.
- Fatih, E. C. E. R. (2021). FUCOM subjektif ağırlıklandırma yöntemi ile rüzgâr çiftliği yer seçimini etkileyen faktörlerin analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(1), 24-34.
- Bahadır Şimşek, A. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizinin Rüzgâr Türbini Yer Seçim Probleminde Uygulanması (Master’s thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Solangi, Y. A., Tan, Q., Khan, M. W. A., Mirjat, N. H., & Ahmed, I. (2018). The selection of wind power project location in the Southeastern Corridor of Pakistan: a factor analysis, AHP, and fuzzy-TOPSIS application. Energies, 11(8), 1940.
- Sennaroglu, B., & Celebi, G. V. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 59, 160-173.
- Athawale, V. M., Chatterjee, P., & Chakraborty, S. (2012). Decision making for facility location selection using PROMETHEE II method. International Journal of Industrial and Systems Engineering 1, 11(1-2), 16-30.
- Wiguna, K. A., Sarno, R., & Ariyani, N. F. (2016, October). Optimization solar farm site selection using multi- criteria decision making fuzzy AHP and PROMETHEE: case study in Bali. In 2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS) (pp. 237-243). IEEE.
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. Renewable energy, 109, 275-286.
- Lee, W. S. (2014). A new hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR for the selection of location— real estate brokerage services. International Journal of Information Technology & Decision Making, 13(01), 197-224.
- Talinli, I., Topuz, E., Aydin, E., & Kabakçı, S. B. (2011). A holistic approach for wind farm site selection by FAHP. Wind farm: technical regulations, potential estimation and siting assessment. InTech, Croatia, 3(1), 213-234.

- Al-Shabeeb, A. R., Al-Adamat, R., & Mashagbah, A. (2016). AHP with GIS for a preliminary site selection of wind turbines in the North West of Jordan. *International Journal of Geosciences*, 7(10), 1208.
- Wang, C. N., Huang, Y. F., Chai, Y. C., & Nguyen, V. T. (2018). A multi-criteria decision making (MCDM) for renewable energy plants location selection in Vietnam under a fuzzy environment. *Applied Sciences*, 8(11), 2069.
- Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2014). Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain. *Energy*, 73, 311-324.
- Yeh, T. M., & Huang, Y. L. (2014). Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP. *Renewable Energy*, 66, 159-169.
- Ghosh, S., Chakraborty, T., Saha, S., Majumder, M., & Pal, M. (2016). Development of the location suitability index for wave energy production by ANN and MCDM techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1017-1028.
- TÜREB (2019, Temmuz). Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu. Erişim adresi <https://tureb.com.tr/lib/uploads/4e77501b714739a9.pdf> TÜREB (2019, Temmuz). GWEC Global Wind Report. Erişim adresi <https://tureb.com.tr/lib/uploads/12288d020bbbcd29.pdf>
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2007) Rüzgâr Enerji Potansiyeli Atlası. Erişim adresi: <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-kaynaklar>
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2018). Elektrik Piyasası Sektör Raporu: Ocak 2018. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2019). Elektrik Piyasası Sektör Raporu: Ocak 2019. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- Türkiye Nüfusu. (2018). Türkiye İl ve İlçelere Göre Nüfusu. Erişim adresi: <https://www.nufusu.com/> Türkiye Nüfusu. (2019). Türkiye İl ve İlçelere Göre Nüfusu. Erişim adresi: <https://www.nufusu.com/>
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2016). Elektrik Piyasası Sektör Raporu: Ocak 2016. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2017). Elektrik Piyasası Sektör Raporu: Ocak 2017. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2020). Elektrik Piyasası Sektör Raporu: Ocak 2020. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2018). 81 İl Sanayi Durum Raporu:2018 yılı. Erişim Adresi: <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/81-il-sanayi-durum-raporlari>
- Saaty, T. L. (1996). Decision making with dependence and feedback: The analytic network process (Vol. 4922). Pittsburgh: RWS publications.
- YILDIZ, A. (2014). EN İYİ ÜNİVERSİTE SEÇİMİNDE ANALİTİK AĞ PROSESİNİN KULLANIMI. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), 108-119.
- Sagir, M., & Ozturk, Z. K. (2010). Exam scheduling: Mathematical modeling and parameter estimation with the Analytic Network Process approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 52(5-6), 930-941.
- ÖZTÜRK, Z. K. (2014). Using a multi criteria decision making approach for Open and distance learning system selection. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 15(1), 1-14.
- Yang, Y. P. O., Shieh, H. M., Leu, J. D., & Tzeng, G. H. (2008). A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications. *International journal of operations research*, 5(3), 160-168.
- Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Tamer, E. R. E. N. (2017). ANP ve TOPSIS yöntemleriyle türkiye’de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219.
- Arı, S. E. (2017). Rüzgâr enerji santrali kuruluş yeri seçimi için farklı yaklaşımlar: bir model önerisi ve Türkiye’de bir uygulama. (Phd thesis, Gazi Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı).
- SARUCAN, A., AKKOYUNLU, M. C., & Aydoğan, B. A. Ş. (2010). Analitik hiyerarşi proses yöntemi ile rüzgâr türbin seçimi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25(1), 11-18.
- Baban, S. M., & Parry, T. (2001). Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable energy*, 24(1), 59-71.
- Van Haaren, R., & Fthenakis, V. (2011). GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(7), 3332- 3340.
- Fetanat, A., & Khorasaninejad, E. (2015). A novel hybrid MCDM approach for offshore wind farm site selection: A case study of Iran. *Ocean & Coastal Management*, 109, 17-28.

