

ENTROPI Temelli MAUT Yöntemiyle Balıkesir İlindeki Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Performans Değerlendirmesi

Şenol ALTAN*

Ayşe EDİZ**

Muhammed Ali KAĞIZMAN***

Geliş Tarihi (Received): 23.09.2021 – Kabul Tarihi (Accepted): 11.11.2021

Öz

Rüzgar enerjisi, en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerindedir. Maliyetlerin düşmesi ve kapasite faktörünün artması ile birlikte dünya çapında kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bulunduğu konum ve iklim koşulları açısından ülkemizin sahip olduğu rüzgar enerjisi potansiyeli birçok ülkeye göre çok daha avantajlı durumdadır. Bu çalışmada Balıkesir ilinde bulunan rüzgâr enerjisi santrallerinin (RES) performansları, ekonomik, coğrafi ve çevresel faktörler dikkate alınarak matematiksel açıdan çok kriterli karar verme teknikleri olan ENTROPI ve MAUT yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan her bir kriter ENTROPI yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve MAUT yöntemi kullanılarak da performans sıralaması yapılmıştır. Kriterlerin sayısal değeri için Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA) ile Google Earth'den yararlanılmıştır. Balıkesir ilinde faaliyet gösteren 19 adet Rüzgâr Enerjisi Santralleri (RES) değerlendirilmesi sonucunda performans üzerinde en büyük önem derecesine sahip kriter olarak “Trafo Merkezlerine Uzaklık” bulunurken en düşük öneme sahip kriter ise “Rüzgâr Hızı” çıkmıştır. Tüm ağırlıklandırılmış kriterler dikkate alınarak yapılan sıralamada Poyraz RES ilk sırada yer alırken sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada “Şah Rüzgâr Santrali” ve “Bandırma Kurşunlu RES” yer almıştır.

Anahtar Kelimeler: Entropi, MAUT, Rüzgar Enerjisi, Rüzgar Enerjisi Santralleri, Performans Değerlendirmesi

Performance Evaluation of Wind Power Plants in Balıkesir Province Based on ENTROPI with MAUT Method

Abstract

Wind energy is one of the fastest-growing renewable energy technologies. With the decrease in costs and increase in capacity factor, the use of wind energy is spreading globally. In terms of location and climate conditions, our country is in a much more advantageous position to utilize potential wind energy than most countries. Turkey is one of the world's fastest growing renewable energy markets. In this study, the performances of wind power plants (WPPs) in Balıkesir province were evaluated by using ENTROPI and MAUT methods, which are mathematically multi-criteria decision making techniques, taking into account economic, geographical and environmental factors. Each criterion used in the study was weighted with the ENTROPI method and performance ranking was made using the MAUT method. Wind Energy Potential Atlas (REPA) and Google Earth were used for the numerical value of the criteria. As a result of the evaluation of 19 WPPs operating in Balıkesir province, the criterion that has the highest importance on performance is “Distance to Transformer Centers”, while the lowest criterion is wind speed. . In the ranking made by considering all weighted criteria, Poyraz RES took the first place, while Şah Wind Power Plant and Bandırma Kurşunlu RES took the second and third place.

Keywords: Entropi, MAUT, Wind Energy, Wind Power Plants, Performance Evaluation

* Prof. Dr., Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, senol.altan@hbv.edu.tr ORCID: 0000-0003-4210-3924

** Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, ayse.ediz@hbv.edu.tr ORCID: 0000-0003-3307-3380

*** Araş. Gör., Çukurova Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, alikagizman@gmail.com ORCID: 0000-0002-1732-7216

Giriş

Günümüzde teknoloji kullanımının her alanda yaygınlaşması enerjiye olan ihtiyacın da artmasına neden olmuştur. Geçmişten günümüze ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklarından karşılanırken bu kaynakların hem kısıtlı olması hem de yarattığı yoğun çevresel sorunlar insanoğlunun, başka enerji kaynaklarına yönelmesine yol açmıştır. Bu yeni enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji denilmektedir (Engin, vd. 2018).

Yenilenebilir enerji, dünyanın kendi yaşamsal döngüsü içinde meydana gelen oluşumlardan elde edilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Bu enerji kaynaklarının en önemli özelliği, dünyanın yaşamsal döngüsü devam ettikçe var olmalarıdır. Yani sınırlı değil sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Bu nedenle kısıtlı olan ve dünyanın her yerinde bulunmayan fosil kaynaklı enerji için iyi bir alternatif oluşturmaktadırlar (Genç, 2019). Tüm dünya geneline bakıldığında yenilenebilir enerji kaynakları içinde rüzgâr enerjisinden yararlanma hidroelektrikten sonra ikinci sırada yer almaktadır.

Fosil kaynaklı enerjiye iyi bir alternatif oluşturmasına karşın bu enerji kaynağından yararlanabilmek için ekonomik, çevresel ve coğrafi kriterlerin aynı anda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme ise hem maliyetli, hem zaman alıcı, hem de yanlı olabilmektedir. Bu değerlendirmenin matematiksel bir yapı üzerinden yapılması birçok anlamda avantaj sağlayacaktır.

Birçok kriterin olduğu durumlarda optimal karar vermek için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri, sayısal olarak ifade edilebilen ya da edilemeyen birden fazla kriteri bir bütün halinde değerlendirme imkanı sunan analitik yöntemlerdir. Bu yöntemlerden biri olan ENTROPİ, kriter ağırlıklarının nesnel olarak hesaplanmasını sağlamaktadır. MAUT ise farklı veri setleri ve birden çok kriteri olan problemlerde maksimum faydayı elde etmeyi amaçlayan bir yöntemdir.

Türkiye coğrafi açıdan rüzgâr potansiyeli yüksek bir ülke olması nedeniyle son yıllarda bu enerji kaynağına önemli yatırımlar yapılmaktadır. Türkiye’de rüzgâr enerjisi kullanımı bakımından Marmara bölgesi ilk sıralarda yer almaktadır. Bu çalışmada Balıkesir ilinde bulunan rüzgâr enerji santrallerinin (RES) performansları çok kriterli karar verme teknikleri olan ENTROPİ ve MAUT yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın uygulaması için Balıkesir ilinde faaliyet gösteren RES’ler alınmıştır. Bu ildeki 19 adet RES için ulaşılan sayısal veriler ışığında bu RES’lerin performansları ENTROPİ ve MAUT yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Performans değerlendirmesi için; trafo merkezlerine uzaklık, yollara uzaklık, yerleşim yerine uzaklık, üretim kapasitesi, yıllık elektrik üretimi, kurulu güç, rüzgâr hızı ve kapasite faktör dağılımı kriterleri kullanılmıştır. Tüm bu kriterlerin sayısal

verileri için Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA) ile Google Earth'den yararlanılmıştır. ENTROPİ ile yapılan ağırlıklandırma sonuçlarına göre en önemli kriter trafo merkezlerine olan uzaklık çıkmıştır. Bu kriteri sırasıyla yerleşim yerlerine uzaklık, yollara uzaklık, yıllık elektrik üretimi, üretim kapasitesi, kurulu güç, kapasite faktör dağılımı ve sonuncu olarak da rüzgâr hızı çıkmıştır. MAUT yöntemi sonuçlarına göre ise Balıkesir ilinde faaliyet gösteren RES'ler içinde performansı en yüksek Poyraz rüzgâr santrali çıkarken bunu Şah rüzgâr santrali ve Bandırma Kurşunlu rüzgar santrali izlemektedir. Model sonuçlarına göre performansı en düşük olan ise Ortamandıra RES olmuştur.

1. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, yeryüzünün kendi döngüsü içindeki doğal oluşumlardan yararlanılarak elde edilen bir enerjidir. Bu enerji kaynakları hem sürdürülebilir hem de daha az çevresel etkilere yol açtığı için fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bazılarında daha yüksek verimlilik alınırken bazıları yeterli verimliliği sağlayamamaktadır. Bununla birlikte amaç sadece enerji üretimi olmayıp, bu enerji üretiminin doğaya verdiği zararı ve tehditi en aza indirmek olduğundan her yenilenebilir enerji kaynağının önemi de bu anlamda gün geçtikçe daha da artmaktadır (Genç, 2019:). Dünya geneline bakıldığında yenilenebilir olmayan enerji kullanımı yaklaşık olarak % 76 iken yenilenebilir olan enerji kullanımı ise % 24'tür (Karagöl ve Kavaz, 2017). Güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, biyokütle, deniz ve okyanus dalgaları, deniz ve okyanuslardaki gelgit hareketleri yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. (Supçiller ve Bayramoğlu, 2020). Tüm bu yenilenebilir enerji kaynakları içinde % 70 ile ilk sırada hidroelektrik gelirken bunu %17 ile rüzgâr enerjisi takip etmektedir. Biokütleden elde edilen enerji % 8, güneşten elde edilen enerji üretimi % 4'tür. Jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı ise %1 ile en son sırada yer almaktadır.

Türkiye açısından bakıldığında ise yenilenebilir olmayan enerji kullanımı % 60 iken yenilenebilir enerji kullanımı % 40 kadardır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki en büyük paya % 68 ile hidroelektrik sahipken, sırasıyla rüzgâr % 17, güneş % 8 ve jeotermal % 7'lik bir paya sahiptir (www.enerjiatlasi.com).

1.1. Rüzgâr Enerjisi

Atmosferdeki basınç farklılıklarından dolayı sirkülasyon halinde olan havanın sahip olduğu kinetik enerji, rüzgâr enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbinleri vasıtasıyla mekanik enerjiye çevrilir. Bu enerji, doğrudan kullanılabilmesinin yanı sıra jeneratör yardımıyla da elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Bahadır, 2014). Rüzgâr enerjisi yenilenebilir ve sürdürülebilir olan önemli bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağı ilk kurulum aşamasında yüksek maliyet ve teknoloji gereksinimine karşın üretim aşamasında ekstra bir girdi ihtiyacı doğurmadığı için bu maliyetleri kısa zamanda aşağıya çekmektedir. Rüzgâr enerjisi teknolojisindeki gelişmeler bu maliyetleri daha da düşürmektedir (Aydın, 2014). Rüzgâr enerjisinin çevresel etkilerine bakıldığında fosil kaynaklı enerji üretiminden kaynaklı olumsuz çevresel sorunların, bu enerji kaynağında hemen hemen hiç olmadığı görülmektedir (Engin, vd. 2018).

Rüzgâr enerjisi maliyetlerinin zaman içinde düşmesi, çevreye minimum düzeyde zarar vermesi ve elde edilen enerjinin verimliliğinin yüksek olması tüm dünyada bu enerji kaynağının yoğun şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Dünya geneline bakıldığında rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi yapan çok fazla ülke bulunmaktadır. Bu ülkeler içerisinde Çin, ilk sırada yer almaktadır. Çin'in ardından sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya gelmektedir. Türkiye ise rüzgâr enerjisi üretiminde dünya sıralamasında onbirinci sırada yer alırken, Avrupa sıralamasında altıncı sırada yer almaktadır (Can ve Yücel, 2019). Rüzgâr enerjisi verimliliği açısından ise Türkiye, AB ülkelerinin birçoğuna göre avantajlı konumda olup, İrlanda ve İngiltere'nin ardından üçüncü sırada yer almaktadır (Aydın, 2014).

Türkiye sahip olduğu coğrafi konumu ve yapısı nedeniyle verimli ve yüksek rüzgâr enerjisi elde etmeye uygun bir ülkedir. Rüzgâr enerjisi konusunda sahip olduğu bu potansiyelden dolayı bu enerji üretiminin toplam enerji üretimi içindeki oranı gün geçtikçe artmaktadır. Bu amaçla 2006 yılından itibaren Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA) yayınlanmaktadır. Bu atlas, vermiş olduğu detaylı rüzgâr haritaları ve diğer bilgilerle, rüzgâr enerjisiyle elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılacak bir altyapı sağlamaktadır. Yıllık değerlerin ortalamasına bakıldığında, yüksek bayırlar, kıyı şeritleri, açık alanların yakınları ve dağların tepesi Türkiye'nin en iyi rüzgâr kaynağı alanlarıdır (Molla Hasan, 2018). REPA verilerine göre rüzgâr enerjisi potansiyeline bakıldığında, Balıkesir İli 13.827 mw ile birinci sırada yer almaktadır. Çanakkale İli 13.013 mw ile ikinci sırada yer alırken, İzmir 11.854 mw ile üçüncü sırada

görülmektedir. 2015 yılı TEİAŞ verilerine göre Türkiye'deki rüzgâr enerji santralleri, kurulu güçler içerisinde %5,5'lik bir paya sahiptir (İskender, vd. 2015).

1.2. Rüzgâr Enerjisi İle İlgili Alan Yazında Yapılan Çalışmalar

Türkiye'de rüzgâr enerjisinin öneminin ve kullanımının gün geçtikçe artması, araştırmacıları bu alanda araştırma yapmaya yöneltmiştir. Bir matematiksel model çerçevesinde analiz yapmak için sağlam ve güvenilir sayısal verilere ihtiyaç vardır. Hala gelişme sürecinde olan bu alanda sayısal verilere ulaşmak çok da kolay olmamaktadır. Bu nedenle matematiksel modelleme çerçevesinde yapılan araştırmalar kısıtlı sayıdadır. Bu çalışmada da matematiksel model kullanılarak rüzgâr enerjisi incelendiğinden Türkiye'deki rüzgâr enerjisini matematiksel açıdan değerlendiren çalışmaların bir derlemesi verilmiştir.

Atıcı ve Ulucan (2009), çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarında Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerini kullanmayı hedefleyerek, ELECTRE yöntemiyle hidroelektrik santral projelerini, PROMETHEE yöntemiyle de rüzgâr santral projelerini değerlendirmiştir.

Sarucan, Akkoyunlu ve Baş (2010), çalışmasında daha önceden kurulmuş olan RES için rüzgâr türbin markası seçimi yapmıştır. Belirlenen alternatifler için Analitik Hiyerarşi Proses (AHS) yöntemi uygulanmıştır.

Özşahin ve Kaymaz (2013), Hatay İlinde Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) için kurulum yeri seçimi yapmıştır. Çalışmada yer seçiminin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Şenel ve Koç (2015) yaptıkları çalışmada Türkiye ve Dünya genelinde rüzgâr enerjisinin durumunu analiz etmiştir. Aynı zamanda rüzgâr enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki payı incelenmiştir.

Engin, Sarucan ve Basyal (2018), çalışmasında yenilenebilir enerji kaynakları arasından en uygununun belirlenmesi konusunda literatürde son yirmi yılda kullanılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemiyle yapılan çalışmaları gözden geçirmiştir.

Taraf ve Yazgan (2018), çalışmasında jeotermal ve rüzgâr santrallerinin kuruluşunda karşı karşıya kalınan yer seçimi problemini ele almış ve problemin çözümü için analitik ağ sürecini kullanmıştır.

Can ve Yücel (2019), çalışmasında Çanakkale İlinde türbin kurulumunda en iyi alanların belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklar oluşturulmuş, uygunluk haritası için CBS'de mekânsal analiz sistemleri kullanılmıştır.

Genç (2019), çalışmasında Amasya İlinde bulunan üç RES için en uygun kurulum yerini bulmayı amaçlamış ve yer seçiminde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden MOORA yöntemini kullanmıştır.

Supçiller ve Bayramoğlu (2020), enerji konusundaki problemlerin belirsizliğinin giderilmesi için aralıklı gri sayılar ile birlikte uygulanmış SWARA, A-GIA ve Gri EDAS yöntemlerini kullanarak çalışmasında RES yer seçimini ele almıştır.

2. Yöntem

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, sayısal olarak ifade edilebilen ya da edilemeyen birden fazla kriteri bir bütün halinde değerlendirme imkânı sunan analitik yöntemlerdir (Özcan vd. 2017). Bu çalışmada, ÇKKV yöntemlerinden Entropi ve MAUT yöntemleri bütünleşik olarak kullanılmıştır. Bu bölümde, çalışmada kullanılan söz konusu yöntemlerin algoritmaları anlatılacaktır.

2.1. ENTROPİ Yöntemi

Entropi bilginin içindeki belirsizliğin hesaplanması olarak tanımlanabilir (Shannon ve Weaver (1948). Bu kavram Wang ve Lee tarafından bir ağırlık ölçme yöntemi olarak geliştirilmiştir. ENTROPİ, karar matrisinin verileri bilindiği durumlarda ağırlıkları nesnel olarak hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir (Konuşkan ve Uygun, 2014). Objektif olması nedeniyle literatürde çok sık tercih edilmektedir (Küçükönder ve Demirarslan, 2017). ENTROPİ yönteminde kriterlerin ağırlıkları objektif olarak belirlenirken, veri setinde bulunan alternatiflerin kriterlere göre oluşturulmuş değerlerindeki farklılaşma ve uzaklaşmalardan yararlanılmaktadır. Bu değerler arasındaki farkın fazla olması da bilgi düzensizliğinin artışı ifade eder (Koçoğlu, 2019).

Entropi yönteminde uygulanan adımlar aşağıdaki gibidir;

m alternatifi ve n kriterleri gösteren çok kriterli karar verme problemi için $i = 1,2,\dots,m$ ve $j = 1,2,\dots,n$ ve x_{ij} , i. alternatif ve j. kriteri ifade edecek şekilde karar matrisi aşağıdaki gibi olsun.

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

1. Adım: Karar matrisinin normalize edilmesiyle normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. Normalizasyon işlemi için Eşitlik (1)' de verilen kullanılır.

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

p_{ij} : normalize edilmiş değerler,

x_{ij} : verilen fayda değerleri

2. Adım: Normalize edilmiş tüm değerler için Eşitlik (2) kullanılarak Entropi değerleri hesaplanır.

$$k = (\ln(n))^{-1} \text{ olmak üzere} \quad e_j = -k \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2)$$

k : Entropi Katsayısı,

e_j : j . kriter için entropi değeri

3. Adım: Her kriter için ağırlık değeri Eşitlik (3) kullanılarak hesaplanır.

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \text{ olmak üzere,} \quad w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (3)$$

2.2. MAUT Yöntemi

MAUT farklı veri setleri ve birden çok kriteri olan problemlerde maksimum faydayı elde etmeyi amaçlayan sistematik bir yöntemdir (Ömürbek ve Kişi, 2019). Yöntemin mantığı; problemin alternatifleri üzerinden tanımlı bir fayda fonksiyonu olduğuna ve karar verici ya da karar vericilerin seçim yaparken bu fonksiyonu en büyük kılmaları üzerine kuruludur (Koçoğlu, 2019).

MAUT yönteminde uygulanan adımlar aşağıdaki gibidir;(Ömürbek vd. 2016), (Ömürbek ve Kişi, 2019)

1.Adım: Karar probleminde kullanılacak olan mevcut kriterler (a_n) ve alternatifler (x_m) belirlenmelidir.

2. Adım: Alternatiflerin doğru şekilde değerlendirilmesini sağlayan ağırlık değerlerinin (w_j) ataması yapılır. Ağırlık değerlerinin toplamı 1'e eşit olmalıdır Eşitlik (4).

$$\sum_{j=1}^q w_j = 1 \quad (4)$$

3. Adım: Nicel ve nitel kriterler için ikili karşılaştırmalar dikkate alınarak değer ölçülerinin ataması yapılır ve karar matrisi belirlenir.

4. Adım: Normalizasyon için her kriter için en iyi ve en kötü değerler belirlenir. En iyi değere 1, en kötü değere 0 değeri atanır. Diğer değerlerin hesaplanması için Eşitlik (5)'teki formül kullanılır.

$$u_i(x_i) = \frac{x - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (5)$$

x_i^+ : *i. alternatifin en iyi değeri,*

x_i^- : *i. alternatifin en kötü değeri,*

5. Adım: 5. ve son aşamada fayda değerleri belirlenir. Fayda fonksiyonun formülü Eşitlik (6)'daki gibidir.

$$U(x) = \sum_{i=1}^n u_i(x_i) * w_j \quad (6)$$

$U(x)$: *Alternatif Fayda Değeri,*

$u_i(x_i)$: *Normalize Fayda Değeri,*

w_j : *Ağırlık Değeri*

Elde edilen fayda değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanmasıyla en yüksek fayda değerine ulaşmış olan alternatif en iyi alternatifi, en düşük fayda değerine sahip alternatif ise en kötü alternatifi gösterir.

3. Uygulama

Türkiye, rüzgâr enerjisi açısından yüksek potansiyele sahip bir ülkedir. Bu rüzgâr enerjisinin en etkin olduğu bölgelerin başında ise Marmara Bölgesi gelmektedir. Bu çalışmada Marmara Bölgesinde yer alan Balıkesir ilindeki RES'lerin performans değerlendirmesi incelenmiştir. Performans değerlendirmesi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan MAUT yöntemi ile yapılmıştır. MAUT yönteminde kullanılacak olan kriter ağırlıkları ENTROPİ yöntemi ile elde edilmiştir.

3.1. Modeldeki Alternatifler

Balıkesir İlinde toplamda 27 adet RES halen faaliyet göstermektedir. Bu çalışma kapsamı içerisinde 19 adet RES değerlendirmeye alınmıştır. Bu RES'ler modelin alternatiflerini oluşturmaktadır. Kullanılan tüm RES'ler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Balıkesir İlinde Değerlendirilen RES'ler (Alternatifler)

Sıra No	Alternatifler
1	Balıkesir Rüzgâr Santrali
2	Şamlı Rüzgâr Santrali
3	Şah Rüzgâr Santrali
4	Bandırma Kurşunlu RES
5	Edincik Rüzgâr Santrali
6	Susurluk Rüzgâr Santrali
7	Poyraz Rüzgâr Santrali
8	Kavaklı Rüzgâr Santrali
9	Bandırma 3 RES
10	Umurlar Rüzgâr Santrali
11	Cunda Adası Alibey RES
12	Poyraz RES
13	Balıkesir Keltepe RES
14	Ayyıldız RES
15	Kapıdağ Rüzgâr Santrali
16	Havran Çataltepe RES
17	Günaydın RES
18	Kalfaköy RES
19	Ortamandıra RES

3.2. Değerlendirme Kriterleri

Bir RES'in kurulumu için birçok kriterin değerlendirilmesi gerekmektedir. RES'ler ile ilgili çalışmalara bakıldığında bir RES'in kurulumu için genel olarak değerlendirilen kriterler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. RES Kurulum ve Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler

Ekonomik	Çevresel Faktörler	Coğrafi
Arazi Maliyeti	Gürültü	Zemin Yapısı
Trafo Merkezlerine Uzaklık	Kuş Habitatlarına Uzaklık	Eğim
Rüzgâr Kapasite Faktörü	Havaalanlarına Uzaklık	Yükseklik
Yıllık Enerji Üretimi	Yerleşim Yerine Uzaklık	Fay Hatlarına Yakınlık
Yollara Uzaklık	Korunan Miras Alanlarına Uzaklık	Litoloji
Kurulu Güç	Askeri Bölgelere Olan Uzaklık	Rüzgâr Hızı
Üretim Kapasitesi	Ormanlara Uzaklık	
	Maden Sahalarına Uzaklık	
	Arkeolojik Alanlara Uzaklık	
	Akarsulara Uzaklık	

Tablo 2’de görüldüğü üzere kriterler temel olarak ekonomik, çevresel, coğrafi kriterler başlığı altında incelenebilir. Ekonomik kriterler RES’lerle ilgili mali yönleri kapsarken, çevresel faktörler RES’lerin çevreye verebileceği olası zararları en aza indirmek açısından değerlendirilmektedir. Coğrafi kriterler ise daha çok RES’lerin kurulum alanlarının uygun olup olmadığına yönelik kriterlerdir.

Bu çalışma kapsamında RES’lerin değerlendirilmesi matematiksel bir model çerçevesinde yapılmıştır. Bu nedenle, bu kriterlerin sayısal değerleri önemlidir. Balıkesir İlinde faaliyet gösteren 27 adet RES’in 19’unun sayısal değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca Tablo 2’de verilmiş olan kriterlerden; Rüzgâr Hızı, Trafo Merkezlerine Uzaklık, Yerleşim Yerlerine Uzaklık, Yollara Uzaklık, Kapasite Faktör Dağılımı, Kurulu Güç, Yıllık Elektrik Üretimi ve Üretim Kapasitesi kriterlerinin sayısal değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA)’dan alınmıştır. Bunun yanı sıra RES’lerin koordinatları kullanılarak Google Earth üzerinden uzaklık hesaplamaları yapılmıştır. 19 adet RES’in sahip olduğu türbin sayıları farklılık göstermektedir. Bu nedenle hesaplamalar yapılırken türbin sayısı ile ilişkili olan değişkenlerin sayısal değerleri türbin başına hesaplanmıştır.

Modelde kullanılan kriterlerin kısaca tanımları şu şekildedir:

Rüzgâr Hızı: Rüzgârdan elde edilen elektrik enerjisi rüzgâr hızının küpü ile orantılıdır. RES’lerin kurulumu ve performansı için önemli bir değişkendir (Genç, 2019).

Trafo Merkezlerine Uzaklık: Elektrik enerjisinin nakli sırasında sürtünmeden dolayı bir miktar enerji ısıya dönüşerek kaybolur. Bu kaybın en aza indirilmesi için mümkün olduğunca elektrik şebekesine yakın alanlar türbin kurulumu için seçilmelidir. Türbin sahası ile

şebeke bağlantı noktası arasındaki uzunluk arttıkça bakım ve ilk inşa maliyetleri artacaktır (Bahadır, 2014).

Yerleşim Yerlerine Uzaklık: Rüzgâr türbinleri fiziksel olarak büyük yapılardır. Bu büyüklükleri ile orantılı olarak oluşturdukları gürültü ve titreşim; yakın çevrede ikamet eden insanlarda uyku bozukluğu, baş ağrısı ve bulanık görme gibi rahatsızlıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle santrallerin yerleşim yerlerine uzak olması tercih sebebidir (Bahadır, 2014).

Yollara Uzaklık: Rüzgâr türbinleri fiziksel olarak ağır ve büyük parçalardan oluşmaktadır. Bu parçaların RES'lerin kurulum bölgesine nakli hem ekonomik hem de fiziksel uygunluk açısından önemlidir. Bu nedenle santral bölgesinin ana yollara olan uzaklığı önemli bir kriterdir.

Rüzgâr Kapasite Faktörü: Kapasite faktörü, rüzgâr enerji santralının elektrik enerjisi üretimindeki verimliliğini gösteren verilerden biridir (Genç, 2019).

Kurulu Güç: Bir rüzgâr enerji santralının karşılayabileceği, şebekesinin taşıyabileceği ya da bir tesisatın kaldırabileceği maksimum kapasitedir.

Üretim Kapasitesi: Rüzgâr enerjisi santralının üretebileceği maksimum enerji miktarıdır.

Yıllık Elektrik Üretimi: Enerji santrallerinin bir yıl içinde gerçekleşen enerji üretimini göstermektedir.

3.3. ENTROPİ Yöntemi ile Kriterlerin Ağırlıklandırılması

ENTROPİ yöntemi kullanılarak her bir kriterin ağırlık değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Ağırlık Değerlerinin Hesaplanması

Kriterler	w _j Değerleri	Kriterler	w _j Değerleri
Trafo Merkezlerine Uzaklık	0,3328	Üretim Kapasitesi	0,0596
Yerleşim Yerine Uzaklık	0,2378	Kurulu Güç	0,0388
Yollara Uzaklık	0,2042	Rüzgar Kapasite Faktörü	0,0187
Yıllık Elektrik Üretimi GWH	0,1010	Rüzgâr Hızı	0,0072

Tablo 2'den görüldüğü üzere 0,3328 ağırlık değeriyle trafo merkezlerine uzaklık kriteri en yüksek ağırlığa sahip kriterdir. Bu kriteri 0,2378 ağırlık değeriyle yerleşim yerlerine uzaklık kriteri izlemektedir. Diğer kriterler ise sırasıyla yerleşim yerlerine uzaklık, yollara uzaklık, yıllık elektrik üretimi, üretim kapasitesi, kurulu güç, kapasite faktör dağılımı ve rüzgâr hızıdır.

3.4. MAUT Yöntemi ile RES'lerin Performans Sıralaması

ENTROPİ yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklar MAUT yönteminde kullanılmış ve RES'lerin toplam fayda değerlerine göre performans sıralaması yapılmıştır. Bu sıralama RES'lerin Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. MAUT Yöntemine Göre Toplam Fayda ve Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler	Toplam U(A _i)	Sıralama
Poyraz RES	0,7362	1
Şah Rüzgâr Santrali	0,7080	2
Bandırma Kurşunlu RES	0,6882	3
Balıkesir Rüzgâr Santrali	0,6688	4
Şamlı Rüzgâr Santrali	0,6583	5
Kapıdağ Rüzgâr Santrali	0,6503	6
Cunda Adası Alibey RES	0,6311	7
Bandırma 3 RES	0,6073	8
Ayyıldız RES	0,5736	9
Edincik Rüzgâr Santrali	0,4743	10
Kalfaköy RES	0,4487	11
Poyraz Rüzgâr Santrali	0,4094	12
Umurlar Rüzgâr Santrali	0,4010	13
Ortamandıra RES	0,3817	14
Susurluk Rüzgâr Santrali	0,3536	15
Kavaklı Rüzgâr Santrali	0,3074	16
Balıkesir Keltepe RES	0,2458	17
Havran Çataltepe RES	0,2207	18
Günaydın RES	0,1682	19

Tablo 4'ten görüldüğü üzere Poyraz RES en yüksek fayda seviyesine sahiptir. Bunu sırasıyla Şah Rüzgâr Santrali, Bandırma Kurşunlu RES, Balıkesir Rüzgâr Santrali, Şamlı Rüzgâr Santrali, Kapıdağ Rüzgâr Santrali, Cunda Adası Alibey RES, Bandırma 3 RES, Ayyıldız RES, Edincik Rüzgâr Santrali, Kalfaköy RES, Poyraz Rüzgâr Santrali, Umurlar Rüzgâr Santrali, Ortamandıra RES, Susurluk Rüzgâr Santrali, Kavaklı Rüzgâr Santrali, Balıkesir Keltepe RES, Havran Çataltepe RES ve Günaydın RES izlemektedir.

4. Sonuç

Günümüz ekonomilerinde her gün yeni teknolojilerin kullanılması üretimde artışlara yol açmakla birlikte beraberinde enerjiye olan talebin de artmasına yol açmıştır. Ülke ekonomilerin en önemli problemlerinden biri de bu artan enerji ihtiyacının hem ekonomik hem de çevresel açıdan en az maliyetle kendi içinde karşılanmasıdır. Fosil kaynaklı enerji dünya üzerindeki tüm ekonomilerin bolca sahip olduğu bir kaynak olmadığı gibi sürekliliği de bulunmamaktadır. Bu nedenle alternatif enerji kaynaklarını devreye sokmak ekonomilerin başlıca arayışlarından biri olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları yeryüzünün kendi var olma döngüsü içinde oluşan ve yeryüzü var olmaya devam ettikçe var olacak olan enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Yani bu kaynaklar sınırlı değil süreklilik arz etmektedir. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ,hidrojen, dalga, biokütle yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yeryüzünde bu enerji kaynaklarının kullanımına bakıldığında rüzgar enerjisi kullanımı ikinci sırada yer almaktadır.

Fosil kaynaklı enerjiye iyi bir alternatif oluşturmasına karşın bu enerji kaynağından yararlanabilmek için ekonomik, çevresel ve coğrafi kriterlerin aynı anda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme ise hem maliyetli, hem zaman alıcı, hem de yanlı olabilmektedir. Bu değerlendirmenin matematiksel bir yapı üzerinden yapılması birçok anlamda avantaj sağlayacaktır.

Birçok kriterin olduğu durumlarda optimal karar vermek için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri, sayısal olarak ifade edilebilen ya da edilemeyen birden fazla kriteri bir bütün halinde değerlendirme imkanı sunan analitik yöntemlerdir. Bu yöntemlerden biri olan ENTROPİ, kriter ağırlıklarının nesnel olarak hesaplanmasını sağlamaktadır. MAUT ise farklı veri setleri ve birden çok kriteri olan problemlerde maksimum faydayı elde etmeyi amaçlayan bir yöntemdir.

Türkiye rüzgar enerjisi elde edilmesi için oldukça avantajlı bir coğrafi yapıya sahiptir. Özellikle Marmara ve Ege bölgelerinde bu enerji kaynağının kullanımı oldukça fazladır. Türkiye Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA) ortalama verilerine göre Balıkesir ili rüzgar enerjisi konusunda ilk sırada yer almaktadır.

Bu çalışmada Balıkesir ilinde faaliyet gösteren Rüzgar Enerjisi Santrallerinin (RES) performans değerlendirmesi matematiksel olarak yapılmıştır. Kurulan modelin alternatiflerini bu RES'ler oluştururken kriterler coğrafi, ekonomik ve çevresel faktörler adı altında belirlenmiş ve bu kriterlerin RES'lerin performansları üzerindeki etki ağırlıkları ENTROPİ yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre tüm kriterler içinde en büyük etkinin Trafo Merkezlerine Uzaklık kriterine ait olduğu görülmüştür. Diğer kriterler ise sırasıyla Yerleşim

Yerlerine Uzaklık, Yollara Uzaklık, Yıllık Elektrik Üretimi, Üretim Kapasitesi, Kurulu Güç, Kapasite Faktör Dağılımı ve Rüzgâr Hızdır.

Elde edilen bu kriter ağırlıkları MAUT yönteminde kullanılarak RES'lerin performans sıralaması yapılmıştır. MAUT yöntemi sonuçlarına göre en yüksek performans değerine sahip olan RES Poyraz RES olmuştur. Performans sıralaması; Şah Rüzgâr Santrali, Bandırma Kurşunlu RES, Balıkesir Rüzgâr Santrali, Şamlı Rüzgâr Santrali, Kapıdağ Rüzgâr Santrali, Cunda Adası Alibey RES, Bandırma 3 RES, Ayyıldız RES, Edincik Rüzgâr Santrali, Kalfaköy RES, Poyraz Rüzgâr Santrali, Umurlar Rüzgâr Santrali, Ortamandıra RES, Susurluk Rüzgâr Santrali, Kavaklı Rüzgâr Santrali, Balıkesir Keltepe RES, Havran Çataltepe RES ve Günaydın RES şeklinde devam etmiştir.

Kaynakça

- Atıcı, K. B. ve Ulucan, A. (2009). “Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi ile Rüzgâr Türbin Seçimi”, *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 161-186
- Aydın, İ. (2014). “Balıkesir’de Rüzgâr Enerjisi”, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 18 (29) , 29-50.
- Bahadır, A. (2014). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizinin Rüzgâr Türbini Yer Seçimi Probleminde Uygulanması*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 1-231.
- Can, G. ve Yücel, M. A. (2019). “Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi Kullanarak Rüzgâr Enerji Santralleri İçin Yer Tespiti”, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 1-7.
- Engin, O., Sarucan A. ve Baysal, M. E. (2018). “Türkiye İçin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Analizi”, *Journal of Social And Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 23(5), 1223-1231.
- Genç, M. (2019). *Rüzgâr Enerji Santrallerinin Yerleşim Yeri Tespitinde MOORA Yönteminin Kullanılması*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Amasya, 1-99.
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ. (2017). “Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji”, *SETA*, 197, 1-32.
- Koçoğlu, S. (2019). *ENTROPİ Tabanlı TOPSIS ve MAUT Yöntemleri ile Acil Servislerde Risk Değerlendirme: Samsun İli Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bolu, 1-285.
- Konuşkan, Ö. ve Uygun, Ö. (2014). “Çok Nitelikli Karar Verme (MAUT) Yöntemi ve Bir Uygulaması”, *Akademik Platform*, 1403-1412.

- Kul, Y. (2012). *Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Metotlarının Kullanılması*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-179.
- Küçükönder, H. ve Demirarslan, P. (2017). “PROMETHEE ve MAUT Yöntemlerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma: Karadeniz Bölgesi Örneği “, *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8 (16) , 203-228.
- Molla Hasan, H. (2018), *Türkiye’de Rüzgâr Enerjisinin Ekonomik Etkileri*, Yüksek Lisans Programı, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-37.
- Ömürbek, N, Karaatlı, M. ve Balcı, H. (2016). “Entropi Temelli MAUT ve SAW Yöntemleri İle Otomotiv Firmalarının Performans Değerlemesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31 (1) , 227-255.
- Ömürbek, N. ve Kişi, E. (2019). “ENTROPİ Temelli MAUT Yöntemi İle Yenilikçi Girişimlerin Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi İİBF Dergisi*, 12(2), 264-288.
- Özcan, C. E, Ünlüsoy, S. ve Eren, T. (2017). “ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi”, *SUJEST*, 5(2), 205-219.
- Özşahin, E. ve Kaymaz, Ç. K. (2013). “Rüzgâr Enerji Santrallerinin (RES) Yapım Yeri Seçimi Üzerine Bir CBS Analizi: Hatay Örneği”, *TUBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 1-18.
- Sarucan, A., Akkoyunlu, M. C. ve Baş, A. (2010). “ Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi İle Rüzgâr Türbin Seçimi”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1), 1-8.
- Supçiller, A. A. ve Bayramoğlu, S. (2020). “Aralıklı Gri Sayı Tabanlı A-GİA Ve Gri EDAS Yöntemleriyle Rüzgâr Santrali Yeri Seçimi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(4), 1847-1860.
- Şenel, M. C. Ve Koç, E. (2015), “Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Durumu-Genel Değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, Cilt 56, Sayı 663, s. 46-56.
- Taraf F. ve Yazgan, H. R. (2018). “Jeotermal ve Rüzgâr Enerjisi Santrallerinde Yer Seçimi Probleminin Analitik Ağ Süreci ile Çözülmesi”, *Teknik ve Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(2), 42-55.

<https://www.enerjiatlası.com/ruzgar/>

<https://www.enerjiatlası.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/balikesir/>

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjc1ZjU1N2EtMDU0MS00OGUyLThjM2ItYTdlMWE4ZDMwZjYzIiwidCI6ImU5YzY0NjU4LWFKMWQtNDUwOS1hODk0LTE2NWZhYjU2NjEyMyIsImMiOiI9&pageName=ReportSection8015113d5c5203d1d8c9>

<https://repa.enerji.gov.tr/REPA/BALIKESIR-REPA.pdf>