

Yenilenebilir Enerji Üretiminde Rüzgâr Enerji Santralleri Performanslarının Entropi Temelinde MAUT Yöntemi ile Değerlendirilmesi: TR63 Bölgesinde Bir Araştırma

Evaluation of Wind Power Plant Performances in Renewable Energy Production with MAUT Method Based on ENTROPY: A Study in TR63 Region

ÖZET

Son yıllarda yenilenebilir enerji üretimine yönelik küresel ölçekte bir eğilim vardır. Enerji dönüşümü, çevresel ve ekonomik faktörlerin etkileşimiyle günden güne daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle rüzgâr enerjisi gibi yenilikçi çözümler, enerji üretim sistemlerini daha verimli hale getirmek için değerlendirilmektedir. Bu noktada kurulu santrallerin performans analizleri önem kazanmaktadır. Çalışmanın temel amacı, TR63 bölgesindeki rüzgâr enerji santralleri performanslarının değerlendirilmesidir. Bölgede faaliyet gösteren on beş santralin performansının değerlendirilmesinde literatür taraması ve uzman akademisyen görüşleri doğrultusunda dokuz adet kriter belirlenmiştir. Alternatif ve kriterlere ilişkin veriler REPA'dan ve Google Earth'den elde edilmiştir. Karar sürecinin objektifliğini sağlamak adına entropi yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, her bir kriterin karar üzerindeki etkisi nesnel olarak hesaplanmıştır. Daha sonra MAUT yöntemi ile 2025 yılında Kahramanmaraş, Hatay ve Osmaniye'de faaliyet gösteren on beş santralin performansları sıralanmıştır. Yapılan analizler sonucunda ağırlık oranı en yüksek kriterin “yerleşim yerlerine uzaklık”, ağırlık oranı en düşük kriterin ise “rüzgâr hızı” olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bölgede performansı en yüksek rüzgâr enerji santralinin Hatay ilinde, en düşük rüzgâr enerji santralinin ise Kahramanmaraş ilinde bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu kapsamlı analiz, Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarına bilimsel bir temel sunarken, karar vericilere en uygun yatırım seçeneklerini belirleme konusunda veriler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Üretimi, Rüzgâr Enerjisi, MAUT yöntemi, ENTROPİ Yöntemi.

ABSTRACT

In recent years, there has been a global trend toward renewable energy production. Energy transformation, driven by the interaction of environmental and economic factors, is gaining increasing importance. Innovative solutions, particularly wind energy, are being evaluated to make energy production systems more efficient. In this context, performance analyses of installed power plants are gaining importance. The primary objective of this study is to evaluate the performance of wind power plants in the TR63 region. Nine criteria were identified for the performance assessment of fifteen power plants operating in the region, based on a literature review and expert academic opinions. Data related to the alternatives and criteria were obtained from REPA and Google Earth. To ensure objectivity in the decision-making process, the weights of the criteria were determined using the entropy method, and the impact of each criterion on the decision was objectively calculated. The MAUT method was then used to rank the performances of fifteen power plants operating in Kahramanmaraş, Hatay, and Osmaniye in 2025. The analyses revealed that the highest weighted criterion was "distance to settlements," while the lowest weighted criterion was "wind speed." Additionally, it was concluded that the highest-performing wind power plant in the region is in Hatay province, while the lowest is in Kahramanmaraş province. This comprehensive analysis provides a scientific basis for Turkey's renewable energy policies and provides decision-makers with data to identify the most suitable investment options..

Keywords: Renewable Energy Production, Wind Energy, MAUT method, ENTROPY Method

EXTENDED ABSTRACT

Population growth and technological advances have led to an increase in fossil fuel use, which has significant environmental impacts such as global warming and climate change (Makiela et al., 2022, p. 1). This has led researchers to seek different methods to minimize fossil fuel use. Researchers have generally suggested that fossil fuel use can be minimized through three different strategies. One of these strategies is increasing the efficiency of conventional power conversion systems (Shiojiri et al., 2022, pp. 1-2). The other strategy is the development of environmentally friendly, efficient energy conversion devices (Olabi et al., 2020, p. 1). The final strategy is to create renewable energy sources that have minimal negative impact on the environment. This strategy can significantly reduce fossil fuel use and eliminate dependence on fossil fuels (Said et al., 2022, pp. 1-8). There has been an increase in renewable energy production and consumption in recent years. Ocean energy (Garduño-Ruiz, EP et al, 2021), solar energy (Veerendra Kumar et al, 2022), wind energy (Himri et al, 2022), biomass energy (Baba et al, 2020) have been used largely for power generation. Among these alternatives, wind energy causes less damage to the

Zeliha Çakıroğlu ¹ 
Hatice Seçil Fettahloğlu ² 

How to Cite This Article

Çakıroğlu, Z. & Fettahloğlu, H. S. (2025). “Yenilenebilir Enerji Üretiminde Rüzgâr Enerji Santralleri Performanslarının Entropi Temelinde MAUT Yöntemi ile Değerlendirilmesi: TR63 Bölgesinde Bir Araştırma”, International Academic Social Resources Journal, (e-ISSN: 2636-7637), Vol:10, Issue:6; pp:507-519. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18076500>

Arrival: 22 September 2025
Published: 28 December 2025

Academic Social Resources Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

¹ Dr, Kahramanmaraş, Türkiye

² Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

environment during the production and consumption stages compared to other renewable energy source alternatives (Faturay et al, 2020, pp. 4-5).

Sustainability and reducing environmental impacts are among the priority goals of Turkey's energy policies. In this context, the effective use of renewable energy sources, especially the dissemination of environmentally friendly technologies such as wind energy, is of critical importance for energy supply security and carbon emission reduction (Ediz & Altan, 2021, p. 638). The main objective of this study is to evaluate the performance of wind power plants (WPPs) operating in the TR63 region (Kahramanmaraş, Hatay, and Osmaniye provinces) using multi-criteria decision-making (MCDM) methods. For this purpose, based on literature review and expert academic opinions, the criteria to be evaluated in determining performance were determined. The determined criteria were objectively weighted using the entropy method, and the alternatives were ranked using the MAUT method based on the weighted criteria values. This combination of methods ensures that the decision-making process is both objective and multi-dimensional (Kökey, 2018, p. 31). While the literature generally analyzes the Marmara and Aegean regions, this study fills a gap in the literature by focusing on Southeastern Anatolia (Ediz & Altan, 2021, p. 639). This approach provides decision-makers with a scientific basis for determining investment priorities. The next section of the study is structured as a literature review, methodology, findings, and conclusion.

Studies on wind power plant performance have primarily focused on assessment systems and methods. There is a lack of evaluation of wind power plant performance within the framework of economic, geographical, and environmental factors on a country and region-by-country basis. Furthermore, no research has been found on the performance of wind power plants in the TR63 region (Kahramanmaraş, Hatay, Osmaniye). Given the installed power capacity and wind potential in the region, performance assessment is crucial for both existing plants and new installations.

The methodology includes three main stages for evaluating the performance of wind power plants in the TR63 region: determining economic, environmental, and social criteria based on a literature review and expert academic opinions; determining the criteria weights; and ranking the alternatives using the determined criteria weights. In the first stage, the criteria used in the performance evaluation were determined based on a literature review and expert academic opinions. Data related to the determined criteria were obtained from the Wind Energy Potential Atlas (REPA). Distance calculations were obtained from Google Earth using WPP coordinates. In the second stage, the criteria were weighted using the entropy method, which is an objective method. In the third stage, the alternatives were ranked using the MAUT method. There will be fifteen wind power plants (WPPs) operating in the TR63 region in 2025 (two in Kahramanmaraş, ten in Hatay, and three in Osmaniye). In line with the literature review and expert academician opinions, nine criteria were determined to evaluate the performance of wind power plants in the TR63 region, including "production capacity, annual energy production, wind speed, wind capacity factor, installed power, distance to transformer centers, distance to roads and settlements, and wind intensity". The number of turbines at WPPs varies. For this reason, calculations were made per turbine using the numerical values of the variables "generation capacity, annual energy production, wind capacity factor, and installed capacity," which are related to the number of turbines.

According to the research findings, the criterion with the highest weighting ratio was identified as K8 (distance to residential areas). The criterion with the lowest weighting ratio was identified as K3 (wind speed). The criteria weighted using the entropy method were ranked according to their performance using the MAUT method. The analysis results indicated that the wind power plant with the highest performance was A3 (Ziyaret WPP), located in Hatay province. The wind power plant with the lowest performance was A1 (Cerit WPP), located in Kahramanmaraş province. Generally speaking, the highest-performing wind power plants are located in Hatay province. The lowest-performing wind power plants are in Kahramanmaraş province. Overall, it was observed that generation capacity alone does not have a strong impact on performance. Furthermore, the significant impact of the "distance to transformer center" criterion on performance should be considered for new installations. The "distance to roads" criterion is also among the top two criteria with high importance. This suggests that locating new installations away from residential areas but closer to roads will have a positive and high impact on performance. In other words, performance is positively affected by the integrated results of the "distance to settlements" criteria for environmental impact and the "distance to roads" criteria for economic impact. This study evaluated the performance of WPPs operating in the TR63 region and provided decision-makers with scientific data for new installations in the region.

GİRİŞ

Nüfusta meydana gelen artış ve teknolojiadaki ilerlemeler, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi büyük ölçüde çevresel etkileri olan fosil yakıt kullanımında da artışa neden olmuştur (Makiela vd, 2022, s.1). Bu durum, araştırmacıları fosil yakıt kullanımının minimize edilmesi için farklı yöntemler aramasına neden olmuştur. Araştırmacılar genel olarak fosil yakıt kullanımının üç farklı strateji ile minimize edilebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu stratejilerden biri, geleneksel güç dönüştürme sistemlerinde verimliliğin artırılmasıdır (Shiojiri vd, 2022, s.1-2).

Diğer strateji çevre dostu verimli enerji dönüştürme cihazlarının geliştirilmesidir (Olabi vd, 2020, s.1). Son strateji ise çevre üzerinde minimum olumsuz etki oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları oluşturulmasıdır. Bu strateji fosil yakıt kullanımını büyük ölçüde düşürülebilir ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı ortadan kaldırabilir (Said vd, 2022, s.1-8). Son yıllarda yenilenebilir enerji üretimi ve tüketiminde bir artış yaşanmıştır. Okyanus enerjisi (Garduño-Ruiz, EP vd, 2021), güneş enerjisi (Veerendra Kumar vd, 2022),], rüzgar enerjisi (Himri vd, 2022), biyokütle enerjisi (Baba vd, 2020) gibi enerjiler büyük ölçüde güç üretimi için kullanılmıştır. Bu alternatifler arasında rüzgar enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları alternatiflerine kıyasla üretim ve tüketim aşamalarında çevreye daha az zarar vermektedir (Faturay vd, 2020, s.4-5).

Yenilebilir enerji kaynakları arasında, rüzgârla üretilen güç düşük maliyetlidir (Balat, 2009, s.1564-1566). Düşük maliyetin yanında küçük boyutlu rüzgâr türbinleri yaklaşık olarak 100 kilovatlık bir güç üretim kapasitesine sahiptir ve bu bir hane için yeterli bir miktardır. 240 metre yüksekliğe sahip büyük türbinler ise 4,8 ila 9,5 megavat arasında önemli miktarda bir güç üretebilmektedirler. 2024 yılı itibarı ile rüzgâr enerjisinden en çok faydalanan ilk beş ülke sırasıyla Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Hindistan ve İspanyadır (Url-1).

2024 yılı Eylül ayı Avrupa Rüzgâr İstatistik verileri, Avrupa'nın 243 GW (gigawatt)'ı karada ve 35 GW açık denizde olmak üzere 278 GW rüzgâr gücü kapasitesi bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca 2024 yılında 6,4 Gw'lık yeni rüzgâr gücü kapasitesi kurulmuştur. Yeni kurulumda Almanya % 27, Fransa % 19, İspanya % 14, İsveç % 8, Türkiye % 7, Finlandiya % 6 diğer ülkeler ise % 19'luk bir paya sahiptir (Url-2). Bu gelişmelerle birlikte, rüzgâr enerjisi gelişiminde piyasa başarısızlıkları, piyasa bozulmaları, ekonomik ve finansal durumlar, kurumsallık, teknik ve sosyal açıdan çeşitli engeller bulunmaktadır. Bu engellerden bazıları geliştirici teşviklerle çözülebilirken, bazıları doğrudan hükümet eylemleri gerektirmektedir (Diógenes vd, 2020, s.1-2).

Günümüzde rüzgâr enerjisi elektrik üretiminde güçlü bir alternatif olarak kabul görmektedir (GWEC, 2019, s.2894). Tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasından rüzgâr enerjisinin tercih edilmesi, rekabetçi maliyetlerle yüksek miktarda güç üretilmesinden kaynaklanmaktadır. Dünya çapında önemli bir enerji kaynağı olarak kabul görmektedir (Changliang & Zhanfeng, 2009, s.1966-1967; REN, 2015 ; Simas & Pacca, 2014, s.84).

Rüzgâr enerjisi tercihinde maliyetin düşük, rüzgârın çok ve yaygın olarak dağıtılmış olması, üretiminin kirlilik içermemesi göz önünde bulundurulmaktadır. Rüzgâr enerjisi, havanın kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır (Zhang vd, 2020, s.1-2). Sonuç olarak, türbin kurulumunun daha fazla enerji üretimi, ekonomik ve çevresel verimlilik açısından değerlendirilerek yapılması gerekmektedir. Çünkü türbin konumları rüzgâr enerjisi üretim sistemlerinin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Wu vd, 2020, s.109-110). Seçilen konum, enerji potansiyelinin en iyi şekilde kullanılması üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Rüzgâr enerjisinin doğasında bulunan konuma ve iklim özelliklerine bağlı olan zorluklar bir bölgeden diğerine farklı seviyelerde enerji üretimine neden olmaktadır. Aralıklı ve kontrol edilemeyen bir kaynak olan rüzgârın enerjiye dönüştürülmesinde sermaye yatırımı, ekipman maliyeti, iletim hatları, arazi kullanımı ve bakım gibi unsurların dikkate alınması gerekmektedir (Bina vd, 2018, s.344-345).

Wu vd, (2020, s.109)'nin belirtildiği gibi rüzgâr enerjisi üretim sistemlerinde konum, ekonomik ve çevresel gibi bir çok kriter açısından değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) ise karar vermenin en doğru yöntemlerinden biridir. Bu yöntem problemler için en iyi çözüm alternatifinin bulunmasını sağlamaktadır. Son yıllarda farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen yada iyileştirilen farklı ÇKKV yöntemi türleri bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında kriterler için ağırlıklandırma yöntemleri, veri toplama türü, algoritmaların karmaşıklık düzeyi gibi bir takım temel farklılıklar bulunmaktadır (Taherdoost, H., & Madanchian, 2023, s..77-78). ÇKKV yöntemleri kullanılırken karar vericilerin yargılarına bağlı (öznel) yada karar vericilerin tercihlerinden bağımsız (nesnel) yöntemler tercih edilebilmektedir. Karar vericilerin yargılarının probleme yansımadağı durumlarda kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, karmaşık matematiksel hesaplamalar gerektirmemesi ve çok farklı kriterli problemlere kolayca uygulanabilmesinden dolayı yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de ENTROPİ yöntemi. MAUT (Çok Nitelikli Fayda Teorisi) Von Neumann ve Morgenstern'in fayda teorisinin temelinde Keeney ve Raiffa tarafından geliştirilen bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntemin amacı çok nitelikli fayda değerlendirme sürecinin basitleştirilmesidir. MAUT yöntemi, sistematik olarak en iyi alternatif seçilmesine olanak tanımaktadır (Çetinkaya vd, 2023, s.3-4).

Türkiye'nin enerji politikalarında sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin azaltılması öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, özellikle rüzgâr enerjisi gibi çevre dostu teknolojilerin yaygınlaştırılması, enerji arz güvenliği ve karbon salınımının azaltılması açısından kritik bir önem taşımaktadır (Ediz & Altan, 2021, s. 638). Bu çalışmanın temel amacı, TR63 bölgesinde (Kahramanmaraş, Hatay ve Osmaniye illerinde) faaliyet gösteren rüzgâr enerji santrallerinin (RES) performanslarını çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleriyle değerlendirmektir. Bu amaçla literatür taraması ve uzman akademisyen görüşleri doğrultusunda performansın belirlenmesinde değerlendirmeye alınacak kriterler belirlenmiş, belirlenen kriterlerin objektif olarak entropi yöntemi ile ağırlandırılmış ve ağırlıklandırılan kriter değerleri üzerinden MAUT yöntemi ile

alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Bu yöntem kombinasyonu, karar sürecinin hem objektif hem de çok boyutlu olmasını sağlamaktadır (Kökey, 2018, s. 31). Literatürde genellikle Marmara ve Ege bölgeleri analiz edilirken, bu çalışma Güneydoğu Anadolu'ya odaklanarak literatürdeki boşluğu doldurmaktadır (Ediz & Altan, 2021, s. 639). Bu yaklaşım, karar vericilere yatırım önceliklerini belirlemede bilimsel bir temel sunmaktadır. Çalışmanın sonraki kısmı sırasıyla literatür taraması, metodoloji, bulgular ve sonuç olarak yapılandırılmıştır.

LİTERATÜR TARAMASI

Sadorsky (2021, s.2) genel olarak, enerji ekonomisi literatürünün ekonomik faaliyetler ve nüfusta meydana gelen artışla birlikte enerji tüketiminde de bir artış meydana geldiğini, enerji yoğunluğun meydana gelen artışında enerji tüketimini azalttığını belirtmiştir. Ayrıca, genel olarak yenilenebilir enerji tüketimine ve özel olarak rüzgâr enerjisine odaklanan ayırıştırma çalışmalarının büyük ölçüde eksik olduğu ifade etmiştir.

Gökçek vd, (2007) Türkiye'nin Kırklareli ilinin alınarak rüzgâr karakteristikleri ve rüzgâr enerjisi potansiyeli analiz etmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden (EİEİ) 2004 yılına ait saatlik zaman serisi olarak ölçülen rüzgâr verileri kullanılmıştır. Lokasyonun Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları hesaplanmış ve Weibull şekil parametresi k ve ölçek parametresi c 2004 yılı için sırasıyla 1,75 ve 5,25 m/s olarak bulunmuştur. Araştırma sonuçları incelenen sahanın rüzgâr enerjisi potansiyelinin kullanılabilir düzeyde olduğunu göstermiştir. İlkiliç (2012) Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyelini ve gelecekteki rüzgâr dönüşüm sistemleri projelerini araştırmak amacıyla Etüt İdaresi'nden (EİEİ) 2010 yılı saatlik zaman serisi olarak ölçülen rüzgâr verileri ile çeşitli bölgelerin rüzgar enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Çalışma sonucunda Türkiye'deki kullanılabilir rüzgâr enerjisi kapasitesinin 2010 yılında 1522,20 MW'a çıktığı, üretim lokasyonlarının hepsinin düşük rakımlarda olduğu gibi değerlendirmeler yapılmıştır. Zhang vd, (2017) iç, kıyı ve açık denizde bulunan sekiz rüzgâr enerji santralinin enerji performanslarını enerji tüketim yoğunluğu (EI), enerji geri ödeme süresi (EPT), enerji geri ödeme oranı (EPR) ve enerji geri dönüş yoğunluğu (ERI) göstergeleri üzerinden ölçümlemiştir. Araştırma sonuçları, iç ve kıyı rüzgâr çiftliklerinin benzer enerji performansına sahip olduğunu ve açık deniz rüzgâr çiftlikleriyle önemli bir fark oluşturduğunu göstermektedir. Enerji performansı açısından, kara tabanlı rüzgâr santralleri daha hızlı getiri sağlayan ve daha düşük riskli yatırımlardır olduğu, açık deniz rüzgâr santrallerinin ise daha yüksek girdi-çıktı yatırımlar olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Liu vd. (2018), rüzgâr kaynağının potansiyelini Weibull fonksiyonu, rüzgâr atlası analiz ve uygulama programı (WAsP) yazılımını kullanarak değerlendirmiştir. Araştırma sonucunda Pekin'deki rüzgâr kaynağının küçük rüzgâr türbinleri için uygun olduğu ifade edilmiştir. Wu vd, (2018) hızlı rüzgâr türbinleri için dört ana rüzgar santrali türüne göre frekans düzenlemesinin performansını karşılaştırmıştır. Hızlı rüzgâr türbinleri tarafından etkili frekans regülasyonu sağlamak için çeşitli etkili yöntemler bulunduğunu ve bazı açılardan geleneksel jeneratörlerin sunduğu hizmetleri aştığını belirtmiştir. Dong & Shi (2019) Çin'in farklı bölgelerdeki rüzgar enerjisi üretim performans farklılıklarının incelenmesi amacıyla Veri Zarflama Analizi (DEA) ve İdeal Bir Çözüme Benzerliğe Göre Sıra Tercihi Tekniği'ni (TOPSIS) birleştirerek 2011'den 2018'e kadar Çin'in 29 şehrinin rüzgar enerjisi performansını değerlendirmiştir. Rüzgâr gücü üretiminin kümülatif kurulu gücünü ve rüzgar gücü santrallerinin yıllık işletme ve bakım maliyetini girdi göstergeleri olarak seçilmiş, şebekeye bağlı rüzgar gücü ve rüzgar gücü üretiminin enerji ikame geliri ise çıktı göstergeleri olarak seçilmiştir. Araştırma sonuçları, Çin'in rüzgar enerjisi üretiminin performansını etkileyen ana faktörlerin yerel güç tüketim kapasitesi, ekonomik kalkınma derecesi ve rüzgar terk oranı olduğunu göstermektedir. Heiba vd. (2021) Moritanya'daki 30 MW'lık bir rüzgar santralinin 2015-2019 yılları arası performansını güç üretimi, kapasite faktörü, makine kullanılabilirliği, şebeke kullanılabilirliği ve sistem kullanılabilirliği parametreleri üzerinden analiz etmiştir. Analiz sonuçları, rüzgar çiftliğinin elektrik şebekesine toplam 507,39 GWh enerji sağladığı ve %42,55'lik yüksek bir ortalama kapasite faktörüne sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca işletmenin ilk yılında türbinlerin %97,06'sı kullanılabilir durumda olduğu ancak, rüzgâr santralinin toplam çalışma süresi boyunca ortalama kullanılabilirliği yaklaşık %94 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Altan vd. (2021) Balıkesir ilindeki on dokuz rüzgâr enerjisi santralinin performanslarını rüzgâr hızı, trafo merkezlerine uzaklık, yerleşim yerlerine uzaklık, yollara uzaklık, kapasite faktör dağılımı, kurulu güç, yıllık elektrik üretimi ve üretim kapasitesi kriterlerini Entropi yöntemi ile ağırlıklandırarak MAUT yöntemi ile analiz etmiştir. Analiz sonuçları performansın değerlendirilmesinde en büyük öneme sahip kriterin "Trafo Merkezlerine Uzaklık" olduğunu göstermektedir. Performans sıralamasında ilk sırada Poyraz Rüzgâr Enerji Santrali yer almaktadır. Rediske vd, (2021) rüzgâr enerji santralleri kurulum alanı seçiminde kısıtlayıcı, ekonomik, çevresel ve sosyal yönler perspektifinden analiz etmiştir. Çalışma sonuçları rüzgâr hızının yer seçiminde en belirleyici faktörü olduğunu, bunu rüzgâr yoğunluğu ve yollara yakınlığın izlediğini, korunan alanların, su yollarının ve tür göç yollarının ise literatürde en çok listelenen kısıtlayıcı faktörler olduğunu göstermiştir.

Özetle, rüzgâr enerji santralleri performansları üzerine yapılan çalışmalar temelde değerlendirme sistem ve yöntemlerine odaklanmıştır. Rüzgâr enerji santralleri performanslarının ülke ve bölge bazlı ekonomik, coğrafi ve çevresel faktörler çerçevesinde değerlendirilmesinde bir eksiklik bulunmaktadır. Ayrıca TR63 bölgesi(Kahramanmaraş, Hatay, Osmaniye) rüzgâr enerji santrallerinin performansına ilişkin herhangi bir

araştırmaya rastlanmamıştır. Bölgedeki kurulu güç kapasitesi ve rüzgâr potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda performansın değerlendirilmesi mevcut santraller ve yeni kurulumlar açısından önem arz etmektedir.

METODOLOJİ

Metodoloji, TR63 bölgesinde bulunan rüzgâr enerji santrallerinin performanslarının değerlendirilebilmesi için ekonomik, çevresel ve sosyal kriterlerin literatür taraması ve uzman akademisyen görüşleri doğrultusunda belirlenmesi, belirlenen kriter ağırlıklarının bulunması ve bulunan kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin sıralanması olmak üzere üç temel aşama içermektedir. İlk aşamada, performansın değerlendirmesinde kullanılan kriterler literatür taraması ve uzman akademisyen görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Belirlenen kriterlere ilişkin veriler Rüzgâr Enerji Potansiyel Atlası (REPA)’ndan elde edilmiştir. Uzaklık hesaplamaları ise RES koordinatları kullanılarak Google Earth’den elde edilmiştir. İkinci aşamada, objektif yöntemlerden entropi yöntemi kullanılarak kriterler ağırlıklandırılmıştır. Üçüncü aşamada ise MAUT yöntemi kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. TR63 bölgesinde 2025 yılında faaliyette gösteren on beş (Kahramanmaraş’ta iki, Hatay’da on ve Osmaniye’de üç) Rüzgâr Enerji santrali bulunmaktadır (RES). RES’lerde bulunan türbin sayıları farklılık göstermektedir. Bu nedenden dolayı türbin sayısı ile ilişkili olan “üretim kapasitesi, yıllık enerji üretimi, rüzgâr kapasite faktörü, kurulu güç” değişkenlerinin sayısal değerlerinde türbin başına hesaplama yapılmıştır.

Alternatiflerin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında TR63 bölgesinde bulunan RES’lerin performanslarının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma amacı doğrultusunda REPA’ndan elde edilen bilgilerden belirlenen alternatifler aşağıda verilmiştir.

Tablo 1: TR63 Bölgesinde Bulunan Rüzgâr Enerji Santralleri ve Kodlar

Alternatif Kodları	Rüzgâr Enerji Santrali	Rüzgâr Enerji Santralinin Bulunduğu İlçe	Rüzgâr Enerji Santralinin Bulunduğu İl	Rüzgâr Enerji Santralinde Bulunan Türbin Sayısı
A1	Cerit RES	Kahramanmaraş	Çağlayancerit	25
A2	Dilek RES	Kahramanmaraş	Andırın	12
A3	Ziyaret (Türbe) RES	Hatay	Samandağ	31
A4	Sebenoba RES	Hatay	Samandağ	27
A5	Çerçikaya RES	Hatay	İskenderun	19
A6	Belen RES	Hatay	Belen	16
A7	Şenköy RES	Hatay	Antakya	12
A8	.Şenbük RES	Hatay	İskenderun	12
A9	Karlıtepe RES	Hatay	Belen	10
A10	Zaf Grup Şenbük RES	Hatay	Belen	9
A11	Özbek RES	Hatay	Belen	6
A12	Atık RES	Hatay	İskenderun	9
A13	Gökçedağ (Rotor) RES	Osmaniye	Bahçe	54
A14	Hasanbeyli RES	Osmaniye	Hasanbeyli	20
A15	Sarıtepe RES	Osmaniye	Bahçe	20

Kaynak: Url-3

Kriterlerin Belirlenmesi

Literatür taraması ve uzman akademisyen görüşleri doğrultusunda TR63 bölgesi rüzgâr enerji santralleri performanslarının değerlendirilmesi için “üretim kapasitesi, yıllık enerji üretimi, rüzgâr hızı, rüzgâr kapasite faktörü, kurulu güç, trafo merkezlerine uzaklık, yollara uzaklık ve yerleşim yerlerine uzaklık, rüzgâr yoğunluğu” olmak üzere dokuz adet kriter belirlenmiştir.

Tablo 2: Kriter Kodları ve Birimleri

Kod	Kriter	Birim	Kaynak
K1	Üretim Kapasitesi	Gigawatt-saat (GWh)	Kang vd., 2011; Altan vd., 2021; Dash vd., 2025; Ömürgönülşen vd., 2016;
K2	Yıllık Enerji Üretimi	Gigawatt-saat (GWh)	Kang vd., 2011; Dash vd., 2025; Altan vd., 2021; Ömürgönülşen vd., 2016;
K3	Rüzgâr Hızı	Metre/ saniye (m/s)	Kang vd., 2011; Dash vd., 2025; Ömürgönülşen vd., 2016; Villacreses vd., 2017; Altan vd., 2021;
K4	Rüzgâr Kapasite Faktörü	Yüzde (%)	Kang vd., 2011; Dash vd., 2025; Ömürgönülşen vd., 2016; Altan vd., 2021;
K5	Kurulu Güç	Megawatt-saat (MWh)	Kang vd., 2011; Dash vd., 2025; Altan vd., 2021; Ömürgönülşen vd., 2016;
K6	Trafo Merkezlerine Uzaklık	Kilometre (km)	Kang vd., 2011; Altan vd., 2021; Ömürgönülşen vd., 2016; Fetanat & Khorasaninejad, 2015; Villacreses vd., 2017
K7	Yollara Uzaklık	Kilometre (km)	Kang vd., 2011; Altan vd., 2021;

			Ömürgönülşen vd., 2016; Villacreses vd., 2017
K8	Yerleşim Yerlerine Uzaklık	Kilometre (km)	Kang vd., 2011; Dash vd., 2025; Altan vd., 2021; Ömürgönülşen vd., 2016; Fetanat & Khorasaninejad, 2015; Villacreses vd., 2017;
K9	Rüzgâr Güç Yoğunluğu	Watt /metre kare(W/m2)	Kang vd., 2011;

Entropi Yöntemi

Entropi yöntemi ilk olarak 1948’de Claude Shannon tarafından "İletişimin Matematiksel Teorisi" isimli çalışmasında ortaya atılmıştır (Dwivedi & Sharma, 2024, s.90).Kriterler ağırlıklandırılırken insan algılarının dikkate alınmadığı nesnel bir ağırlıklandırma yöntemidir. Düzensizlik derecesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Entropi değerinin küçülmesi sitemde daha az düzensizlik anlamına gelmektedir ve bu kriter ağırlığının daha yüksek olduğunu ifade etmektedir. Entropi, kriter ağırlıklarının hesaplanması için etkili bir yöntemdir ve sıklıkla kullanılmaktadır (Ali vd, 2024, s.4-5). Bu yöntem beş adımda uygulanmaktadır ve uygulama adımları aşağıda sıralanmıştır (Chen vd, 2015,s.2356; Yazdani vd., 2019, 2507-2058).

1.Adım:Karar matrisi oluşturulması;

Eşitlik (1)’de verildiği gibi satırlara alternatiflerin, sütunlara ise kriterlerin yerleştirildiği bir matris oluşturulmaktadır:

$$X = [X_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}; i = 1,2, \dots, m; j = 1,2, \dots, n \quad (1)$$

2.Adım: Karar matrisinin normalizasyonu;

Karar matrisinde bulunan ölçü birimlerinden kaynaklanan karşıtlıkların giderilmesi amacıyla matris normalize edilmekte ve U_{ij} değeri hesaplanmaktadır. Hesaplama formülü eşitlik (2)’de verilmiştir:

$$U_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (2)$$

X_{ij} : (j) indekisinde (i) alternatifinin değeri

U_{ij} : (i) alternatifinde (j) indeksinin değeri

3.Adım:: Entropi (E_j) değerinin hesaplaması;

$$E_j = \left(\frac{1}{\ln m} \right) \sum_{n=1}^m [U_{ij} \ln U_{ij}] \quad (3)$$

$\ln$: Doğal logaritma

$k=1/\ln(m)$ üzerinden hesaplanan $0 \leq E_j \leq 1$ olmak üzere sabit sayı

4.Adım: d_j (çeşitlendirme derecesi) değerinin hesaplaması;

$$d_j = 1 - e_j \in [1, \dots, n] \quad (4)$$

d_j : herhangi bir X_j kriterinde bulunan zıtlık yoğunluğu

5.Adım: W_j (kriter ağırlığı) değerinin hesaplaması;

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$

(5)

MAUT Yöntemi

MAUT yöntemi Von Neumann ve Morgensterntarafından geliştirilen fayda teorisine dayanmaktadır. Bu yöntem karar vericilerin birden çok kriter çerçevesinde bir karar vermeleri gerektiğinde optimum sonuca ulaşmak için kullanılan bir çok kriterli karar verme yöntemidir. MAUT yöntemini diğer çok kriterli karar verme yöntemleri (MCDM)’nden ayıran bu yöntemin karar vericinin risk algısını karar verme sürecine dahil etme yeteneğidir. Bu diğer MCDM araçlarında bulunmamaktadır. Pratik durumlarda, karar vericinin her karar kriteri için risk tercihini doğru bir şekilde tahmin etmek için büyük miktarda veri gerekebilmekte ve değerlendirme süreci oldukça zor olabilmektedir.

MAUT yöntemi süreci kolaylaştırmak için birkaç varsayımda bulunmaktadır. Yöntemde sorunun ana hatlarının tespit edilmesi için kriterler, sıfır (en kötü) -bir (en iyi) olmak üzere sıfır (0) – bir (1) ölçeğinde değerlere dönüştürülmektedir (Emovon vd, 2016,s.144-146). Bu yöntem aşağıda sıralanan altı adımdan oluşmaktadır (Fajarika, 2019; Tunca vd, 2016, s.4-5):

1.Adım: Karar probleminde yer alan alternatifler kümesi (a_n) ve alternatiflerin seçilmesinde yardımcı olacak nitelikler (kriterler) (x_m) belirlenmektedir.

2.Adım: Önceliklerin belirlenmesi amacıyla ağırlık değerleri (w_j) hesaplamaları yapılmaktadır. W_j değerleri toplamının 1'e eşit olması gerekmektedir.

$$\sum_1^m w_j = 1$$

(6)

3.Adım: Kriterlere ilişkin veri değerleri girilir ya da hesaplanır. Hesaplama yapılırken deneysel sonuçlardan elde edilen nicel kriterlere-nicel değerler, nitel kriterlere ise (x_m) belirtilmiş olan değerler atanır.

4.Adım: Farklı ölçülerdeki değerler normalize edilir. Bu işlemde öncelikle “en iyi” ve “en kötü” değerler belirlenmektedir. En iyi değere bir (1), en kötü değere ise sıfır (0) değeri atanmaktadır. Bir (1) ile sıfır (0) arasındaki diğer değerler aşağıdaki formülün uygulanması ile elde edilmektedir:

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

(7)

x_i^+ :Kriterler için en iyi değer

x_i^- :Kriterler için en kötü değer

X: Hesaplanan satırdaki mevcut fayda değeri

5.Adım: Fayda değerleri belirlenmektedir. Bu değerlerin hesaplanması için kullanılan formül aşağıda verilmektedir:

$$U_x = \sum_1^m u_i(x_i) * (w_j)$$

(8)

U_x : Alternatifin fayda değeri

$u_i(x_i)$: Her kriter ve her alternatif için normalleştirilmiş fayda değerleri

w_i :Ağırlık değerleri

6.Adım: Kriterlerin ağırlıklandırılmış toplam değerleri üzerinden alternatifler hesaplanmaktadır. Alternatifler, “en çok fayda sağlayan” alternatiften “en az fayda sağlayan” alternatife bir sıralama yapılmaktadır.

BULGULAR

Aşağıda çalışma kapsamında oluşturulan alternatif ve kriterlerin yer aldığı karar matrisi verilmiştir.

Tablo 3: Karar Matrisi

	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	11,98	7,4	4,74	20,6	3,60	0,28	0,76	1,26	169,849
A2	7,52	4,42	4,74	20,6	2,29	0,75	0,08	0,42	169,849
A3	8,81	7,71	5,04	25,06	2,45	0,70	0,07	60,64	210,45
A4	5,80	4,07	5,04	25,06	2,22	0,18	0,05	0,71	210,45
A5	9,76	9,47	5,04	25,06	3,00	0,51	0,26	4,69	210,45
A6	8,44	7,87	5,04	25,06	3,00	0,09	0,08	0,82	210,45
A7	8,69	6,75	5,04	25,06	3,23	0,22	0,06	0,15	210,45
A8	8,44	6,83	5,04	25,06	3,18	0,34	0,14	3,95	210,45
A9	12,00	8,60	5,04	25,06	23,00	0,09	0,06	0,63	210,45
A10	11,11	11,44	5,04	25,06	3,18	0,17	0,09	1,90	210,45
A11	14,00	7,17	5,04	25,06	4,00	0,20	0,07	1,96	210,45
A12	10,90	5,33	5,04	25,06	2,00	0,23	0,03	0,36	210,45
A13	9,44	6,39	3,95	15,16	2,50	0,07	0,09	1,77	130,54
A14	10,84	7,75	3,95	15,16	2,50	0,08	0,07	1,00	130,54
A15	11,80	7,40	3,95	15,16	2,50	0,28	0,06	0,63	130,54

Entropi Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırılması

1.Adım: Tablo 3'te verilen karar matrisi oluşturulmuştur.

2.Adım: Oluşturulan karar matrisi normalize edilmiş ve Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4: Normalize Edilmiş Karar Matrisi

	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Min.	Min.	Max.	Max.
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A1	0,080118	0,068139	0,06608	0,06108	0,0575	0,06683	0,3858	0,01558	0,059894
A2	0,050291	0,040699	0,06608	0,06108	0,0366	0,178997	0,0406	0,00519	0,059894
A3	0,058918	0,070995	0,07026	0,07430	0,0391	0,16706	0,036	0,74966	0,074211
A4	0,038788	0,03748	0,07026	0,07430	0,035	0,04296	0,0254	0,00878	0,074211
A5	0,065271	0,087201	0,07026	0,07430	0,0479	0,12172	0,1319	0,05798	0,074211
A6	0,056444	0,072468	0,07026	0,07430	0,0479	0,02148	0,0406	0,01014	0,074211
A7	0,058115	0,062155	0,07026	0,07430	0,0516	0,05251	0,0305	0,00185	0,074211
A8	0,056444	0,062891	0,07026	0,07430	0,0508	0,08115	0,071	0,04883	0,074211
A9	0,080252	0,079189	0,07026	0,07430	0,3671	0,02148	0,0305	0,00779	0,074211
A10	0,074299	0,1053	0,07026	0,07430	0,0508	0,04058	0,0457	0,02349	0,074211
A11	0,093627	0,066022	0,07026	0,07430	0,0639	0,0478	0,036	0,02423	0,074211
A12	0,072895	0,04908	0,07026	0,07430	0,0319	0,0549	0,0152	0,00445	0,074211
A13	0,063131	0,058839	0,05507	0,04495	0,0399	0,01671	0,0457	0,02188	0,046033
A14	0,072494	0,071363	0,05507	0,04495	0,0399	0,01909	0,036	0,01236	0,046033
A15	0,07892	0,068139	0,05507	0,04495	0,0399	0,06683	0,0305	0,00779	0,046033

3.Adım: Bu adımda E_j ve K değerleri hesaplanmıştır.

Formül (3)’ün matrise uygulanması ile Entropi katsayısı $K=1/\ln 15=0,3692694$ olarak hesaplanmıştır. E_i değerleri ise Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5: Kriterlere İlişkin E_i Değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
e_j	0,99214	0,9886	0,99846	0,99384	0,856	0,90917	0,8111	0,41964	0,99425

4.Adım: Formül (4) kullanılarak d_j değerleri hesaplanmış ve Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6: Kriterlere İlişkin D_i Değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
d_j	0,00787	0,01140	0,00154	0,00617	0,145	0,09083	0,189	0,58037	0,005756

5.Adım: Formül (5) kullanılarak W_j değerleri hesaplanmış ve Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7: Kriterlere İlişkin W_i Değerleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
w_j	0,00758	0,01099	0,0015	0,00594	0,1396	0,08754	0,1820	0,5593	0,00555

Tablo 7’de verilen bilgiler incelendiğinde ağırlık oranı en yüksek kriterin K8 (yerleşim yerlerine uzaklık) olduğu ve sırasıyla; K7 (yollara uzaklık), K5 (kurulu güç), K6 (trafo merkezlerine uzaklık), K2 (yıllık enerji üretimi), K1 (üretim kapasitesi), K4 (rüzgâr kapasite faktörü), K9 (rüzgâr yoğunluğu) olurken en düşük kriter ağırlığı ise K3 (rüzgâr hızı) kriterine aittir.

Entropi Temelinde MAUT Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

1.Adım: Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi

Araştırma kapsamında belirlenen kriter ve alternatifler Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

2.Adım: Araştırma kapsamında oluşturulan karar matrisi Tablo 4’te verilmiştir.

3.Adım: Kriterlerin veri değerleri girilir/hesaplanır. Bu adımda nicel kriterlere-nicel değerler, nitel kriterlere ise (x_m) belirtilmiş değerler atanmaktadır.

4.Adım: Formül (7)’nin uygulanmasıyla karar matrisinde yer alan her bir kritere “en iyi” ve “en kötü” değer ataması yapılmış ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Karar Matrisi Değer Atamaları

	Max. K1	Max. K2	Max. K3	Max. K4	Max. K5	Min. K6	Min. K7	Max. K8	Max. K9
A1	11,98	7,4	4,74	20,6	3,6	0,28	0,76	1,26	169,849
A2	7,52	4,42	4,74	20,6	2,29	0,75	0,08	0,42	169,849
A3	8,81	7,71	5,04	25,06	2,45	0,7	0,07	60,64	210,45
A4	5,8	4,07	5,04	25,06	2,22	0,18	0,05	0,71	210,45
A5	9,76	9,47	5,04	25,06	3	0,51	0,26	4,69	210,45
A6	8,44	7,87	5,04	25,06	3	0,09	0,08	0,82	210,45
A7	8,69	6,75	5,04	25,06	3,23	0,22	0,06	0,15	210,45
A8	8,44	6,83	5,04	25,06	3,18	0,34	0,14	3,95	210,45
A9	12	8,6	5,04	25,06	23	0,09	0,06	0,63	210,45
A10	11,11	11,44	5,04	25,06	3,18	0,17	0,09	1,9	210,45
A11	14	7,17	5,04	25,06	4	0,2	0,07	1,96	210,45
A12	10,9	5,33	5,04	25,06	2	0,23	0,03	0,36	210,45
A13	9,44	6,39	3,95	15,16	2,5	0,07	0,09	1,77	130,54
A14	10,84	7,75	3,95	15,16	2,5	0,08	0,07	1	130,54
A15	11,8	7,4	3,95	15,16	2,5	0,28	0,06	0,63	130,54
mak.	14	11,44	5,04	25,06	23	0,75	0,76	60,64	210,45
min.	5,8	4,07	3,95	15,16	2	0,07	0,03	0,15	130,54

5.Adım: Bu adımda matris formül (8) kullanılarak normalize edilmiş ve ağırlıklandırılarak Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

	Max. K1	Max. K2	Max. K3	Max. K4	Max. K5	Min. K6	Min. K7	Max. K8	Max. K9
A1	0,00571	0,00496	0,00109	0,003	0,0106	0,06051	0	0,01026	0,00273
A2	0,00159	0,00052	0,00109	0,003	0,0019	0	0,1695	0,00249	0,00273
A3	0,00278	0,00543	0,0015	0,0059	0,00299	0,00644	0,1720	0,55931	0,0056
A4	0	0	0,0015	0,0059	0,0015	0,07338	0,1770	0,00518	0,0056
A5	0,00366	0,00805	0,0015	0,0059	0,0067	0,03089	0,1247	0,0419	0,0056
A6	0,00244	0,00567	0,0015	0,0059	0,0067	0,08497	0,1695	0,00619	0,0056
A7	0,00267	0,00399	0,0015	0,0059	0,0082	0,06823	0,1745	0	0,0056
A8	0,00244	0,00412	0,0015	0,0059	0,0078	0,05278	0,1546	0,03514	0,0056
A9	0,00573	0,0068	0,0015	0,0059	0,1396	0,08497	0,1745	0,00444	0,0056
A10	0,00491	0,01099	0,0015	0,0059	0,0078	0,07467	0,1670	0,01618	0,0056
A11	0,00758	0,0046	0,0015	0,0059	0,01329	0,07080	0,1720	0,01674	0,0056
A12	0,00471	0,00188	0,0015	0,0059	0	0,06694	0,182	0,00194	0,0056
A13	0,00337	0,00346	0	0	0,0033	0,08754	0,1670411	0,01498	0
A14	0,00466	0,00549	0	0	0,0033	0,08625	0,1720274	0,00786	0
A15	0,00555	0,00496	0	0	0,0033	0,06051	0,1745205	0,00444	0

6. Adım: Son olarak alternatiflerin kriterlerine ait ağırlıklandırılmış toplam alınmış ve alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

Tablo 10: Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifler	U _x	Sıra
A3	0,761961	1
A9	0,428995	2
A11	0,298051	3
A10	0,294615	4
A6	0,288435	5
A13	0,279707	6
A14	0,279608	7
A7	0,270581	8
A12	0,270464	9
A4	0,27002	10
A8	0,269879	11
A15	0,253299	12
A5	0,228878	13
A2	0,18315	14
A1	0,099162	15

Yapılan analizler sonucunda TR63 bölgesinde faaliyet gösteren on beş RES’i arasında en iyi performans gösteren RES A3 (Ziyaret RES/Hatay) olarak tespit edilmiştir. Daha sonra sırasıyla A9 (Karlitepe RES/Hatay), A11 (Özbek RES/Hatay), A10 (Zaf Grup RES/Hatay), A6 (Belen RES/Hatay), A13 (Gökçedağ RES/Osmaniye), A14 (Hasanbeyli RES/Osmaniye), A7 (Şenköy RES/Hatay), A12 (Atik RES/Hatay), A4 (Sebenoba RES/Hatay), A8

(Şenbük RES/Hatay), A15 (Saritepe RES/Osmaniye), A5 (Çerçikaya RES/Hatay), A2 (Dilek RES/Kahramanmaraş), A1 (Cerit RES/Kahramanmaraş) olarak tespit edilmiştir.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma TR63 (Kahramanmaraş, Hatay, Osmaniye) bölgesinde faaliyet gösteren RES performanslarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Performansın değerlendirilmesi amacıyla literatür taraması ve uzman akademisyen görüşleri ile K1 (üretim kapasitesi), K2 (yıllık enerji üretimi), K3 (rüzgâr hızı), K4 (rüzgâr kapasite faktörü), K5 (kurulu güç), K6 (trafo merkezlerine uzaklık), K7 (yollara uzaklık), K8 (yerleşim yerlerine uzaklık), K9 (rüzgâr yoğunluğu) olmak üzere dokuz adet kriter belirlenmiştir. Belirlenen kriterlere ilişkin veriler REPA ve Google Eart üzerinden elde edilerek kriterler ağırlıklandırılmıştır. Kriterlerin ekonomik, çevresel ve sosyal etki gibi çok yönlü ve göreceli kriterler olmasından dolayı yenilenebilir enerji konularında da sıklıkla kullanılan nesnel yöntemlerden biri olan entropi yöntemi ile kriter ağırlıklandırılması yapılmıştır. Entropi yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre;

- ✓ Ağırlık oranı birinci derece yüksek kriter K8 (yerleşim yerlerine uzaklık) olarak tespit edilmiştir.
- ✓ Ağırlık oranı ikinci derece yüksek kriter K7 (yollara uzaklık),
- ✓ Ağırlık oranı üçüncü derece yüksek kriter) K5 (kurulu güç),
- ✓ Ağırlık oranı dördüncü derece yüksek kriter K6 (trafo merkezlerine uzaklık),
- ✓ Ağırlık oranı beşinci derece yüksek kriter K2 (yıllık enerji üretimi),
- ✓ Ağırlık oranı altıncı derece yüksek kriter K1 (üretim kapasitesi),
- ✓ Ağırlık oranı yedinci derece yüksek kriter K4 (rüzgâr kapasite faktörü),
- ✓ Ağırlık oranı sekizinci derece yüksek kriter K9 (rüzgâr yoğunluğu),
- ✓ Ağırlık oranı dokuzuncu derece yüksek kriter K3 (rüzgâr hızı) olarak tespit edilmiştir.

Altan vd., (2021, s.647) tarafından Balıkesir ilindeki RES performanslarının değerlendirilmesine yönelik yapılan bir çalışmada da “rüzgâr hızı” en düşük önem derece sahip kriter olarak belirlenmiştir. “Yerleşim yerlerine uzaklık” kriteri ise yine en yüksek önem derece sahip ilk iki kriter arasındadır. “Yerleşim yerlerine uzaklık” sosyal kabul ve sürdürülebilirlik açısından da önemli bir kriterdir.

Entropi yöntemi ile ağırlıklandırılan kriterler MAUT yöntemi ile performanslarına göre sıralanmıştır. Analiz sonuçlarına göre TR63 bölgesinde faaliyet gösteren on beş RES’i arasında;

- ✓ Performansı birinci derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A3) Ziyaret RES,
- ✓ Performansı ikinci derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A9) Karlıtepe RES,
- ✓ Performansı üçüncü derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A11) Özbek RES,
- ✓ Performansı dördüncü derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A10) Zaf Grup RES,
- ✓ Performansı beşinci derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A6) Belen RES,
- ✓ Performansı altıncı derece yüksek olan RES Osmaniye ilinde bulunan (A13) Gökçedağ RES,
- ✓ Performansı yedinci derece yüksek olan RES Osmaniye ilinde bulunan (A14) Hasanbeyli RES,
- ✓ Performansı sekizinci derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A7) Şenköy RES,
- ✓ Performansı dokuzuncu derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A12) Atik RES,
- ✓ Performansı onuncu derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A4) Sebenoba RES,
- ✓ Performansı on birinci derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A8) Şenbük RES,
- ✓ Performansı on ikinci derece yüksek olan RES Osmaniye ilinde bulunan (A15) Saritepe RES,
- ✓ Performansı on üçüncü derece yüksek olan RES Hatay ilinde bulunan (A5) Çerçikaya RES,
- ✓ Performansı on dördüncü derece yüksek olan RES Kahramanmaraş ilinde bulunan (A2) Dilek RES,
- ✓ Performansı on beşinci derece yüksek olan RES ise Kahramanmaraş ilinde bulunan (A1) Cerit RES olarak tespit edilmiştir.

Genel olarak bakıldığında performansı yüksek rüzgâr enerji santralleri Hatay ilinde bulunmaktadır. En düşük performansı gösteren rüzgâr enerji santralleri ise Kahramanmaraş ilindedir. Bunun en büyük nedeninin ağırlık oranı en yüksek kriterin (K8) yerleşim yerlerine uzaklık olması ve Kahramanmaraş’ta faaliyet gösteren RES’nin Hatay

ilinde bulunanlara kıyasla yerleşim yerlerine daha yakın mesafede olmaları olarak değerlendirilmiştir Hatay ilinde bulunan rüzgâr enerji santralleri sosyal sürdürülebilirlik kapsamında “yerleşim yerlerine uzaklık” kriteri bazında diğer illere kıyasla daha doğru konumlandırılmıştır. Üretim kapasitesi, yıllık enerji üretimi ve kurulu güç kriterleri bölgede bulunan santrallerdeki türbin sayılarının farklılık göstermesi nedeniyle türbin başına hesaplanmıştır. Bölgedeki santrallere kıyasla türbin sayısı yüksek olan Osmaniye/ (A13) Gökçedağ RES ve Hatay/ (A4) Sebenoba gibi RES’nin performansında ilk sıralarda yer almadıklarını göstermektedir. Genel olarak bakıldığında üretim kapasitesinin performans üzerinde tek başına güçlü bir etkisi olmadığı görülmüştür. Ayrıca yeni kurulumlarda “trafo merkezine uzaklık” kriterinin performans üzerindeki güçlü etkisinin önemi göz önünde bulundurulmalıdır. “Yollara uzaklık” kriteri de önem ağırlığı yüksek ilk iki kriter arasındadır. Bu yeni kurulumlar için yerleşim yerlerine uzak fakat yollara yakın konumlandırmanın performans üzerinde pozitif yüksek etki yaratacağı anlamına gelmektedir. Başka ifade ile çevresel etki kapsamında “yerleşim yerlerine uzaklık” ile ekonomik etki etki kapsamında “yollara uzaklık” kriterlerinin bütüncül sonucu olarak performans pozitif yönde etkilenmektedir. Bu çalışmada TR63 bölgesinde faaliyet gösteren RES’nin performansları değerlendirilmiş ve bölgedeki yeni kurulumlar için karar vericilere bilimsel temelde veriler sağlanmıştır. Türkiye’deki diğer bölgelerde faaliyet gösteren RES’nin performanslarının mevcut durum analizleri ile bölgesel kalkınma ve yeni kurulumlara bilimsel temel sunulması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKÇA

- Ali, S. I., Lalji, S. M., Haider, S. A., Haneef, J., Husain, N., Yahya, A., ... & Arfeen, Z. A. (2024). Risk prioritization in a core preparation experiment using fuzzy VIKOR integrated with Shannon entropy method. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), 102421.
- Altan, Ş., Ediz, A., & Kağızman, M. A. (2021). ENTROPİ temelli MAUT yöntemiyle Balıkesir ilindeki rüzgâr enerjisi santrallerinin performans değerlendirmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 637-652.
- Altan, Ş., Ediz, A., & Kağızman, M. A. (2021). ENTROPİ temelli MAUT yöntemiyle Balıkesir ilindeki rüzgâr enerjisi santrallerinin performans değerlendirmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 637-652.
- Baba, Y., Pandyaswargo, A. H., & Onoda, H. (2020). An analysis of the current status of woody biomass gasification power generation in japan. *Energies*, 13(18), 4903.
- Balat, M. (2009). A review of modern wind turbine technology. *Energy Sources, Part A*, 31(17), 1561-1572.
- Bina, S. M., Jalilinasrabady, S., Fujii, H., & Farabi-Asl, H. (2018). A comprehensive approach for wind power plant potential assessment, application to northwestern Iran. *Energy*, 164, 344-358.
- Changliang, X., & Zhanfeng, S. (2009). Wind energy in China: Current scenario and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1966-1974.
- Chen, J., Zhang, Y., Chen, Z., & Nie, Z. (2015). Improving assessment of groundwater sustainability with analytic hierarchy process and information entropy method: a case study of the Hohhot Plain, China. *Environmental Earth Sciences*, 73, 2353-2363.
- Çetinkaya, C., Erbaş, M., Kabak, M., & Özceylan, E. (2023). A mass vaccination site selection problem: An application of GIS and entropy-based MAUT approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85, 101376.
- Dash, S., Chakravarty, S., Giri, N. C., & Khargotra, R. (2025). Evaluating sustainable wind energy sources with multiple criteria decision-making (MCDM) techniques. *Computers and Electrical Engineering*, 123, 110285.
- Diógenes, J. R. F., Claro, J., Rodrigues, J. C., & Loureiro, M. V. (2020). Barriers to onshore wind energy implementation: A systematic review. *Energy Research & Social Science*, 60, 101337.
- Dong, F., & Shi, L. (2019). Regional differences study of renewable energy performance: A case of wind power in China. *Journal of Cleaner Production*, 233, 490-500.
- Dwivedi, P. P., & Sharma, D. K. (2024). A study for an optimization of cutting fluids in machining operations by TOPSIS and Shannon Entropy methods. *WSEAS Transactions on Fluid Mechanics*, 19, 83-98.
- Ediz, A., & Altan, Ş. (2021). Entropi Temelli MAUT Yöntemiyle Balıkesir İlindeki Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Performans Değerlendirmesi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 23(3), 637-652.
- Emovon, I., Norman, R. A., & Murphy, A. J. (2016). Methodology of using an integrated averaging technique and MAUT method for failure mode and effects analysis. *Journal of Engineering and Technology*, 7(1), 140-155.

- Fajarika, S. (2019). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Balita Sehat Se-Kecamatan Sei Lapan Menggunakan Metode Multi Atributte Utility Theory (Maut)(Studi Kasus: Puskesmas Desa Lama). *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 3(1).
- Faturay, F., Vunnavu, V. S. G., Lenzen, M., & Singh, S. (2020). Using a new USA multi-region input output (MRIO) model for assessing economic and energy impacts of wind energy expansion in USA. *Applied Energy*, 261, 114141.
- 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.
- Garduño-Ruiz, EP, Silva, R., Rodríguez-Cueto, Y., García-Huante, A., Olmedo-González, J., Martínez, ML, ... ve Cerdeira-Estrada, S. (2021). Meksika'daki okyanus termal enerji dönüşümü (Otec) tesisleri için en uygun yer seçimine yönelik kriterler. *Enerjiler*, 14 (8), 2121.
- Gökçek, M., Bayülken, A., & Bekdemir, Ş. (2007). Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kırklareli, Turkey. *Renewable Energy*, 32(10), 1739-1752.
- GWEC, G. (2019). Global wind energy outlook. *Brussels*. ISSN, 2525-3409.
- Heiba, B., Yahya, A. M., Taha, M. Q., Khezam, N., & Mahmoud, A. K. (2021). Performance analysis of 30 MW wind power plant in an operation mode in Nouakchott, Mauritania. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 12(1), 532.
- Himri, Y., Rehman, S., Mostafaeipour, A., Himri, S., Mellit, A., Merzouk, M., & Merzouk, N. K. (2022). Overview of the role of energy resources in Algeria's energy transition. *Energies*, 15(13), 4731.
- İlkiliç, C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1165-1173.
- Jobert, A., Laborgne, P., & Mimler, S. (2007). Local acceptance of wind energy: Factors of success identified in French and German case studies. *Energy policy*, 35(5), 2751-2760.
- Kang, H. Y., Hung, M. C., Pearn, W. L., Lee, A. H., & Kang, M. S. (2011). An integrated multi-criteria decision making model for evaluating wind farm performance. *Energies*, 4(11), 2002-2026.
- Kökey, İ. (2018). Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi ve Rüzgar Enerji Santrallerinin Performans Değerlendirmesinde Ekserji Analizinin Önemi. *UTES'2008 Bildiriler Kitabı*, 29–35.
- Liu, J., Gao, C. Y., Ren, J., Gao, Z., Liang, H., & Wang, L. (2018). Wind resource potential assessment using a long term tower measurement approach: A case study of Beijing in China. *Journal of cleaner production*, 174, 917-926.
- Makieła, K., Mazur, B., & Głowacki, J. (2022). The impact of renewable energy supply on economic growth and productivity. *Energies*, 15(13), 4808.
- Olabi, A. G., Wilberforce, T., Sayed, E. T., Elsaid, K., & Abdelkareem, M. A. (2020). Prospects of fuel cell combined heat and power systems. *Energies*, 13(16), 4104.
- Ömürgönülşen, M., Emre, T., & Atıcı, K. B. (2016). Türkiye'deki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Görelî Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Ölçümü. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 34(2), 79-96.
- Rediske, G., Burin, H. P., Rigo, P. D., Rosa, C. B., Michels, L., & Siluk, J. C. M. (2021). Wind power plant site selection: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111293.
- REN, R. (2017). Global status report. *Renewable energy policy network for the 21st century: Paris, France: REN21 Secretariat*.
- Sadorsky, P. (2021). Wind energy for sustainable development: Driving factors and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125779.
- Said, R., Bhatti, M. I., & Hunjra, A. I. (2022). Toward understanding renewable energy and sustainable development in developing and developed economies: a review. *Energies*, 15(15), 5349.
- Shiojiri, D., Iida, T., Hirayama, N., Imai, Y., Sugawara, H., & Kusaka, J. (2022). Recent studies on the environmentally benign Alkaline-earth silicide Mg₂Si for middle-temperature thermoelectric applications. *Energies*, 15(13), 4859.
- Simas, M., & Pacca, S. (2014). Assessing employment in renewable energy technologies: A case study for wind power in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 83-90.

- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87.
- Tunca, M. Z., Ömürbek, N., Cömert, H. G., & Aksoy, E. (2016). Opec ülkelerinin performanslarının çok kriterli karar verme yöntemlerinden Entropi ve Maut ile değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 7(14), 1-12.
- Veerendra Kumar, D. J., Deville, L., Ritter III, K. A., Raush, J. R., Ferdowsi, F., Gottumukkala, R., & Chambers, T. L. (2022). Performance evaluation of 1.1 mw grid-connected solar photovoltaic power plant in louisiana. *Energies*, 15(9), 3420.
- 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.
- Wu, X., Zhang, C., Jiang, L., & Liao, H. (2020). An integrated method with PROMETHEE and conflict analysis for qualitative and quantitative decision-making: case study of site selection for wind power plants. *Cognitive Computation*, 12, 100-114.
- Wu, Z., Gao, W., Gao, T., Yan, W., Zhang, H., Yan, S., & Wang, X. (2018). State-of-the-art review on frequency response of wind power plants in power systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 6(1), 1-16.
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519.
- Zhang, J., Zhang, J., Cai, L., & Ma, L. (2017). Energy performance of wind power in China: A comparison among inland, coastal and offshore wind farms. *Journal of cleaner production*, 143, 836-842.
- Zhang, P., Wang, Y., Liang, L., Li, X., & Duan, Q. (2020). Short-term wind power prediction using GA-BP neural network based on DBSCAN algorithm outlier identification. *Processes*, 8(2), 157.

İnternet Kaynakları

- URL-1.[https://www.evwind.es/2024/10/07/top-6-countries-using-wind-energy/101572#:~:text=China%20tops%20the%20list%20with,hours%20\(TWh\)%20of%20electricity](https://www.evwind.es/2024/10/07/top-6-countries-using-wind-energy/101572#:~:text=China%20tops%20the%20list%20with,hours%20(TWh)%20of%20electricity). E.T: 31.01.2025.
- URL-2.<https://windeurope.org/intelligence-platform/product/latest-wind-energy-data-for-europe-autumn-2024/> E.T: 31.01.2025.
- URL-3. <https://www.enerjiatlasi.com/> E.T: 10.01.2025.

Makale Bilgi Formu

Yapay Zeka Bildirimi: Bu makale yazılırken hiçbir yapay zeka aracı kullanılmamıştır.

İntihal Beyanı: Bu makale iThenticate tarafından taranmıştır.