



Megaron

<https://megaron.yildiz.edu.tr> - <https://megaronjournal.com>
DOI: <https://doi.org/10.14744/MEGARON.2022.26097>

MEGARON

Makale [Article in Turkish]

Hibrit yenilenebilir enerji potansiyelinin mekânsal analizi için yöntem önerisi

Ahmet ŞEKEROĞLU^{1*}, Demet EROL²

¹Amasya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Amasya, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara, Türkiye

¹Department of Urban and Regional Planning, Amasya University Faculty of Architecture, Amasya, Türkiye

²Department of Urban and Regional Planning, Gazi University Faculty of Architecture, Ankara, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Makale Hakkında

Geliş: 08 Kasım 2021

Revizyon: 20 Ağustos 2022

Kabul: 20 Ağustos 2022

Anahtar sözcükler:

Coğrafi bilgi sistemleri; çok kriterli karar verme yöntemleri; hibrit enerji santralleri; VİKOR yöntemi; yenilenebilir enerji

ARTICLE INFO

Article history

Received: 08 November 2021

Revised: 20 August 2022

Accepted: 20 August 2022

Key words:

Geographic information system; multi-criteria decision making methods hybrid power plant; VIKOR method; renewable energy

Methodology for spatial analysis of hybrid renewable energy potential

EXTENDED ABSTRACT

The increasing growth trends in the urban population and the continuous transformation of management concepts in urban environments have led to an increasing need for integrated and interoperable systems to support and enable the intelligent management of complex systems in cities. The questions of the research; (i) What is the relationship between investment areas and potential areas for wind power plants (WPP), solar power plants (SPP) and biomass power plants (BPP) in Turkey? (ii) What are the regional priority areas for hybrid power plants based on WPP, SPP and BPP in the form?

The aim of this article is to reveal the development of Turkey within the global policies that have necessarily evolved into hybrid energy production based on wind, solar and biomass, and to test a method for determining hybrid renewable energy potential areas.

The study basically includes two stages. In the first stage, to present the general view and development, the installed power data according to the provinces from the annual reports of the Energy Market Regulatory Authority (EMRA) were mapped with the ArcMap 10.5 interface of ArcGIS software, which is one of the GIS system applications.

In the second stage, VIKOR analysis, one of the MCDM methods, was performed to identify potential areas suitable for hybrid use. Accessibility of data, finding, collecting, and transforming the data set is an important step in studies carried out on indicators. Data for 81 provinces were obtained over the 2020 indicators regarding the determination of potential areas. For wind power plants, average wind speed; for solar power plant, average solar radiation times; for a biomass power plant, the amount of waste per capita and the energy equivalents of plant and animal wastes were obtained by requesting the General Directorate of Renewable Energy under the Ministry of Energy and Natural Resources. The data at this stage were transformed and priority areas were determined through numerical indicators.

The limitations of this research, which reveal the empirical and methodological contribution, are listed in terms of energy type and scale. While the limitation in terms of energy type is hybrid systems based on wind, solar and biomass, in terms of scale, it covers the determination of potential areas in terms of strategic spatial planning.

Within the scope of the study, the adoption of the VIKOR method includes the method to

*Sorumlu yazar / Corresponding author

*E-mail adres: ahmet.sekeroglu@amasya.edu.tr



Published by Yıldız Technical University Press, İstanbul, Turkey

Copyright 2022, Yıldız Technical University. This is an open access article under the CC BY-NC license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

reveal the result based on consensus. In addition to providing this consensus, the method highlights the majority decision in terms of $q=0.75$ and $q=1.00$ values and reveals the minority group's decisions in terms of $q=0.25$ and $q=0.00$ conditions. Since the main axis of the study is based on consensus, ranking according to $q=0.50$ conditions was taken as the basis for potential prioritisation. The results reveal TR52, TR33, TR62, TR72 and TR63 regions as first-order potential regions for hybrid power plants.

The replacement of traditional central electricity grid infrastructures with hybrid energy systems will provide opportunities for the integration of renewable energy sources into such systems, as well as reduce energy losses. Such systems will facilitate and accelerate the transition to the energy cooperative system. In addition, it will positively affect the innovative development of countries by increasing the orientation to regional storage and production.

Today, the understanding of urban planning has taken "consensus" as its main axis. The VIKOR method, in which multiple decision-making is at the forefront, also emerges as a method that supports the understanding of urban planning. The VIKOR method reveals important information to grasp the potential of renewable energy sources. In the study where hybrid potential areas were determined, TR52, TR33, TR62, TR72 and TR63 regions were in the first place as potential. This information can facilitate the transition of national energy and environmental development to sustainability by helping to establish a developmental vision for sustainable energy systems based on natural resources in the Strategic Spatial Planning process.

When it comes to an energy policy developed with plans, the questions for whom, how much, where, what type of resource, how it will be managed, how it will be shared and how it will be distributed remain in the void. In this context, the fact that the VIKOR method answers these questions and is based on multiple decision-making in terms of the answers reveals that it can be used in planning processes.

ÖZ

Son yıllarda ülkelerin politikaları yenilenebilir enerji üretimine yoğunlaşsa da dünya genelinde fosil yakıtlara bağımlılık oranı oldukça yüksektir. Yenilenebilir enerjiye artan ilgi, beraberinde ülkelerin yenilikçi enerji politikalarını çeşitlendirmiştir. Tek bir yenilenebilir enerji kaynağına bağlı üretim, toplam enerji talebi karşısında yetersiz kalmaktadır. Yenilenebilir kaynakların ikili veya daha fazla kullanımını içeren hibrit sistemler birden fazla enerji sistemini bir araya getirerek, bölgedeki enerji talebini karşılamakta ve ülkelerin enerji stratejisi için umut verici olmaktadır. Araştırma yenilenebilir enerjiye yönelimin artması gerektiği ve verimin sürekliliği açısından hibrit enerji sistemlerinin gerekliliğini savunmaktadır. Güneş enerji santrali ve rüzgar enerji santrali ana kaynakları, değişken ve kesikli olabilmektedir. Enerjinin sürdürülebilir olması açısından sürekli üretimin olduğu biyokütle enerji santralleri ile hibrit bir şekilde entegre edilmesi elektrik üretiminin sürekliliği açısından önemli bir alternatiftir. Araştırmanın amacı Türkiye'de rüzgar, güneş ve biyokütle enerji kaynaklarına dayalı hibrit enerji santralleri için potansiyel alanların belirlenmesinde bir yöntem önermektir. Bu kapsamda bilimsel bilgiye bakıştaki değişimle birlikte, çoklu karar vermeye yönelik kent planlama gelişimi açısından, uzlaşımı esas alan VIKOR yöntemi ile potansiyel alanların önceliklendirilmesi ve sıralaması İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 2'ye göre oluşturulmuştur. Kullanılan yöntemde değerlendirme kriterleri; ortalama rüzgar hızı değerleri (m/s), ortalama güneş ışınım değerleri (kWh/yıl), bitki, hayvan ve belediye atıklarının enerji eş değeri (TEP/yıl), karar alternatifleri ise 26 istatistik bölgeyi kapsayacak şekilde matris elde edilmiştir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının mekânsal gelişimi, coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarından olan ArcGIS yazılımı ile haritalandırılarak ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda Türkiye'de hibrit enerji santrali bakımından en fazla potansiyele sahip TR52'de yer alan Konya-Karaman bölgesi olurken mevcut durumda güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biyokütle kurulu güç bakımından da bu bölgenin ön sıralarda olduğu görülmektedir. Çalışmanın diğer önemli bir sonucu da mevcut kurulu güç alanları ile çalışmada benimsenen VIKOR yöntemi sonuçları arasında paralellik olması, yöntemin mekânsal planlama süreçlerinde uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Atıf için yazım şekli: Şekeroğlu A, Erol D. Methodology for spatial analysis of hybrid renewable energy potential. Megaron 2022;17(3):511–525. [Article in Turkish]

GİRİŞ

Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmıştır. Özellikle sanayileşme ve beraberinde kentleşmenin artması bu süreci daha da hızlandırarak sorunların artmasındaki temel nedenlerden olmuştur. İnsanın bu tahribatı tüketim ekonomisinin benimsenmesiyle birlikte daha da üst safhalara çıkmıştır (Kılıç, 2015, s. 161).

Sanayi devrimiyle birlikte artan üretim beraberinde petrol, doğal gaz, kömür ve benzeri enerji kaynaklarının kullanımını artırmış, yaşam ortamları ve çevrenin kirlenmesi kaçınılmaz bir gerçek olarak ortaya çıkmıştır. Bir sanayi etminin çevreyi kirletip kirletmediği anlaşılacak isteniyorsa,

kullanılmakta olan enerji kaynağının türüne ve temiz olup olmadığına bakmak gerekmektedir (Keleş, 2019, s. 63-64).

1970'li yıllarda enerji politikalarını derinden etkileyen petrol krizleri, 1973 ve 1979 yıllarında ülkelerin enerji politikalarını farklılaştırarak geleceğe yönelik çeşitli stratejiler oluşturmaya yöneltmiştir. Yaşanan krizler, petrol tüketim ve ithalatının azaltılmasının yanı sıra enerjide tasarruf oluşturulması gerekliliğine doğru yol aldırılmıştır. 1980'li yıllarda mevcut enerji sisteminin çevre üzerine olumsuz etkileri araştırmalarda tartışılmaya başlamıştır. Artan farkındalık beraberinde yenilenebilir enerjiye yönelik politikaları hızlandırırken 2006 yılında yaşanan Ukrayna-Rusya doğal gaz krizi enerji arzı güvenliği kavramını ortaya çıkarmıştır

(Yorkan, 2009). Enerji krizleri Türkiye'yi de etkileyerek yakıtlar bakımından dışa bağımlılığın verdiği bir sonuç olarak zorunlu enerji kısıtlamaları meydana gelmiştir. Türkiye'deki enerji arzı ve verimliliğine yönelik politikaların 2007 yılından itibaren ağırlık kazandığı görülmektedir. Enerji Verimliliği Kanunu ile başlayan süreç içerisinde, enerjinin önemi kalkınma planları başta olmak üzere politika ve stratejilere de yansımıştır (Deveci ve Güler, 2020).

Fosil yakıtların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikame edilmesi, küresel karbon emisyonlarını azaltmak için önemli bir önlem olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, çevresel açıdan küresel ısınmanın azaltılmasına, ekonomik açıdan enerji ihtiyacının karşılanmasına ve sosyoekonomik açıdan istihdam sağlanmasına yardımcı olmaktadır (Yue ve Wang, 2006).

Kentsel nüfustaki artan büyüme eğilimleri ve kentsel ortamlardaki yönetim kavramlarının sürekli dönüşümü, kentlerdeki karmaşık sistemlerin akıllı yönetimini desteklemek ve etkinleştirmek için entegre ve birlikte çalışabilir sistemlere artan bir gerekliliğe yol açmıştır.

Bu makalenin amacı, rüzgar, güneş ve biyokütleyle dayalı hibrit enerji üretimine zorunlu olarak evrilen küresel politikalar içinde, Türkiye'nin gelişimini ortaya koymak ve hibrit yenilenebilir enerji potansiyel alanlarının belirlenmesinde bir yöntem denemesidir. Araştırmanın soruları ise; "(i) Türkiye'de rüzgar enerji santrali (RES), güneş enerji santrali (GES) ve biyokütle enerji santrallerine (BES) yönelik yatırım alanları ile potansiyel alanlar arasında nasıl bir ilişki vardır? (ii) RES, GES ve BES'e dayalı hibrit enerji santralleri için bölgesel olarak potansiyel öncelikli alanlar nerelerdir?" şeklindedir.

Bu amaçla çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklı sürdürülebilir bir çevrenin sağlanmasında rüzgar, güneş ve biyokütle enerji kaynaklarına yönelik hibrit enerji santralleri için potansiyel alanları bölgesel olarak belirleyerek, öncelikli yatırım yapılabilecek alanların belirlenmesi için uygulanabilir bir yöntem önermektedir.

Çalışmada öncelikli olarak, Türkiye'nin RES, GES ve BES gelişimi, illerin kurulu güç verileri mekânsal gelişimini coğrafi bilgi sistemi uygulamalarından olan ArcGIS yazılımının ArcMap uygulaması ile vektör verilere bağlı tablolar sisteme aktarılarak haritalandırılmıştır.

İkinci aşamada ise hibrit kullanıma uygun potansiyel alanların belirlenmesi açısından Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden VİKOR yöntemi ile potansiyel alanların önceliklendirilmesi; ortalama rüzgar hızı değerleri (m/s), ortalama güneş ışınım değerleri (kWh/yıl), bitki, hayvan ve belediye atıklarının enerji eş değeri (TEP/yıl) göstergeleri üzerinden İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 2'de yer alan 26 istatistik bölge açısından ele alınmıştır. Böylelikle farklı bölgelerde yapılacak mekânsal planlarda da uygulanabilecek bir yöntem öne-

risinde bulunulmuştur. Ayrıca önerilen yöntem stratejik mekânsal planlama sürecinde de öncelikli yatırım alanlarının belirlenmesi açısından yol gösterici olacaktır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Alternatif Enerji Kaynağından Zorunlu Enerji Kaynağına Dönüşüm

Son yıllarda fosil yakıtların kullanımının artmasıyla birlikte çevresel etkileri de artmaya başlamıştır. Artan çevresel etkilerin yanı sıra fosil yakıtların tükenmeye başlaması yenilikçi yaklaşımları zorunlu kılarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması sonucunu ortaya çıkarmıştır (Lee ve ark., 2012).

Geleneksel elektrik üretim yöntemlerinin özellikle kömür ve petrol yakıtlı elektrik santrallerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin kamuoyu bilincinin artması, çevre dostu yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi ve kullanılması için bir talep yaratmıştır (Baban ve Parry, 2001).

Artan etkiler uluslararası sözleşme hazırlıklarını zorunlu kılmıştır. Ancak oluşturulan sözleşme ve protokollere ülkelerin taraf olması çıkarlarıyla doğru orantılı olarak şekillenmektedir. Özellikle sera gazı salınımının en büyük payına sahip Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Çin'in yanı sıra Rusya ve Brezilya gibi ülkeler de azaltım konusundaki yüklenimlere yanaşmamaktadır. Türkiye ise Kyoto Protokolünü 2009 yılında 5836 sayılı yasa ile onaylayarak taraf olmuştur. Son 20 yıllık süreçte sera gazı salınımlarının artış eğiliminde olduğu ülkede en fazla salınım enerji kaynakları neden olmaktadır (Keleş, 2019, s. 105-106).

Küresel iklim değişikliğinin etkileri 2015 Paris İklim Anlaşması ve 2021 yılındaki COP26'da ele alınıp somut bir şekilde adımların atılması gerektiği belirtilmiştir. Konunun küresel olmasından dolayı her ülkeye görevler düşmektedir. COP26 amaçları bakımından çevreyi korumayı ön plana alan ve çevrenin korunmasında etkileme derecesi fark etmeksizin, tüm ülkelere önemli görevler düştüğünün altını çizen önemli bir konferanstr (UN, 2022). Ancak ülkelerin taahhütlere yaklaşımları 2015 Paris İklim Anlaşmasında olduğu gibi ertelenen uygulamalar, çevreden daha çok ekonomik kalkınma odaklı olması ve azaltım koşullarını "ne kadar ertelersek o kadar iyidir" anlayışı devam etmektedir.

Birçok ülkenin temel politikası haline gelen yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik ve biyokütle enerjisi şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu kaynaklardan güneş, rüzgar ve biyokütle enerjisi kullanımları günümüzde daha hızlı gelişmektedir (Chen ve ark., 2015).

Tek bir enerji kaynağı, enerji üretimi ihtiyacının tamamını karşılamak için yeterli değildir. Bu açıdan hibrit sistemin, farklı enerji üretim sistemlerinden enerji üretimi için potansiyel olasılık sunduğu birçok araştırmanın sonuçları arasındadır. Birden fazla enerji sistemini bir araya getirmek

enerji talebini karşılamak için potansiyel bir seçenektir (Afgan ve Carvalho, 2008).

Hibrit enerji sistemi terimi, enerji gereksinimini karşılamak için birden fazla enerji türünün birlikte kullanıldığı uygulamaları ifade eder. Birleşik elektrik üretim tesisleri olarak da adlandırılan bu sistemler, şebekeye bağlantı noktaları aynı olan birden çok enerji kaynağını kapsamaktadır. Hibrit teknoloji santraller, termik veya yenilenebilir kaynakların ikili veya daha fazla kullanımını içerebilir. Burada yenilenebilir kaynaklarla termik kaynaklarında entegrasyonu söz konusu olabilmektedir. Ancak son zamanlarda termik santrallerin çevre üzerinde verdikleri olumsuz sonuçlar göz önüne alındığında, yenilenebilir kaynaklara yönelik hibrit kullanımların gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Manwell, 2004).

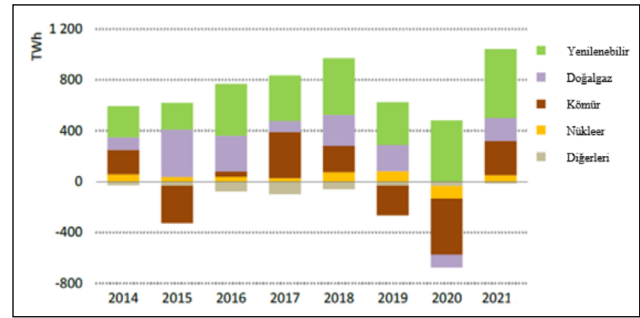
Birkaç alt sistemden oluşan hibrit enerji sistemi, az gelişmiş ve gelişmekte olan bölgeler için uzun vadeli stratejinin tasarımında önemli bir seçenektir (Urban ve ark., 2007). Sistemin bireysel elemanlarından oluşan hibrit sistemin bir dizi potansiyel yapısı vardır. Dolayısıyla hibrit sistemin, ilgili enerji kaynağı tarafından sağlanan farklı enerji sistemlerinden oluşan bir yapı olduğu söylenebilir (Afgan ve Carvalho, 2008).

Yenilenebilir Enerjinin Yönetimsel Boyutu

Enerji sektöründe yatırımlar kritik öneme sahiptir. Dünya 2050 yılına kadar net sıfır emisyon yolunda ilerlemesi halinde rüzgar türbinleri, güneş panelleri, lityum iyon piller, elektrolizeler ve yakıt hücreleri üreticileri için yıllık pazar fırsatının 10 kat büyüyerek 1,2 trilyon Amerikan dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu beş unsur tek başına günümüzün petrol endüstrisinden ve onunla bağlantılı gelirlerden daha büyük olacaktır (IEA, 2021).

Uluslararası Enerji Ajansının yayımladığı son raporda (IEA, 2021) 2021 yılında dünya çapındaki enerji talebinin gaz, kömür ve elektrik fiyatlarında ciddi artışlara neden olduğu vurgulanmaktadır. Artışa bağlı olarak küresel CO2 emisyonları tarihteki en büyük ikinci artış durumuna gelmiştir. Pandemi, enerji verimliliğindeki iyileştirmelerin hızını azaltmıştır. İyileşme oranı son yıllarda belirgin şekilde yavaşlayarak 2020'de yalnızca %0,5 olmuştur. Bu, küresel iklim ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için gereken yıllık %3-4 oranının oldukça altındadır. Dünya çapındaki talep artışı fosil kaynaklı yakıt kullanımıyla birlikte karbon emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. 2020 yılında yenilenebilir kaynaklardaki büyüme toplam üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %28'e yükselmesine neden olmuştur (Şekil 1).

Yenilenebilir enerjiye artan eğilimler beraberinde birçok ülkenin politikalarında, yenilikçi yaklaşımları benimsemesini ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda ülkelerin politikaları yenilenebilir enerji üretimine yoğunlaşsa da dünya genelinde fosil yakıtlara bağımlılık oldukça yüksektir. Potansiyel fazla



Şekil 1. Küresel elektrik üretiminde kaynakların değişimi (IEA, 2021).

olmasına rağmen fosil yakıtlara bağımlılığını sürdüren ülkelerin yanı sıra minimum yenilenebilir enerji kaynağıyla maksimum enerji elde etmeyi başaran ülkeler de yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ise en fazla enerjinin üretildiği sırasıyla hidroelektrik, rüzgar, güneş ve biyokütle şeklindedir (REN21, 2021).

Enerji kapasite değişimi bakımından günümüze doğru yenilenebilir enerjinin payı artsa da Çin, ABD gibi sanayi üretiminin fazla olduğu ülkelerde fosil kaynaklı yakıt kullanımı yüksek düzeydedir. Bu payın fazla olması, Çin ve ABD'nin sera gazı salımlarında dünya ortalamasının oldukça üstünde bir paya sahip olmasına neden olmuştur. Enerji göstergeleri açısından, Çin nüfusunun elektriğe erişimi %100 iken ısıtma gibi kullanımlarda tüm nüfusun erişimi %64 ile sınırlı kalmaktadır. Enerji tüketimi bakımından yenilenebilir enerjinin payı %13,1 düzeyindedir. Yenilenebilir enerji göstergeleri ve uygulamaları bakımından ilk sıralarda yer alan Danimarka'da ise nüfusun elektriğe erişimi %100 ve ısıtmada kullanılan enerjiye erişim %95'in üzerinde olarak dünya ortalamasının üstündedir. Ayrıca ülkenin enerji üretiminde yenilenebilir enerji payı %35,3 şeklinde olup dünya ortalamasının üstünde bir değere sahiptir. 2015 ve 2020 yılları arasındaki veriler karşılaştırıldığında yenilenebilir enerjinin payı 2015 yılına oranla %36 artarken, fosil yakıtların payı %14 azalmıştır (IRENA, 2022).

Danimarka gibi bu alanda atılım içerisinde olan Almanya, ülke elektrik üretiminin %15,8'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamaktadır. 2015 ve 2020 göstergeleri karşılaştırıldığında 2015 yılına kıyasla 2020 yılında yenilenebilir enerjinin kapasite değişimi %35 artarken bu artış en fazla %39 rüzgar, %38 jeotermal, %37 güneş ve %23 biyokütle şeklinde sıralanmıştır. İzlanda ise sürdürülebilir enerji göstergeleri bakımından, elektriğe ve ısıtma amaçlı enerjiye erişimde sırası ile %100 ve %95 üzeri değerlere sahiptir. Elektrik üretiminin %78,2'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayarak bu alanda ilk sırada yer almaktadır. Jeotermal ve hidroelektrik kapasitesine dayalı yenilenebilir enerji gelişimi ön plandadır (IRENA, 2022).

Türkiye, 2020 yılında bir önceki yıldaki kapasitesini iki katına çıkararak rüzgar kaynaklı elektrik gücü kapasitesinde

dünyada dokuzuncu sıraya gelmiştir. 2020 yılı sonu itibarıyla Türkiye, 50 GW'lık toplam yenilenebilir güç kapasitesi ile dünyada 12. sırada yer almaktadır. Ayrıca kişi başına düşen 0,2 GW'lık değerle dünyada 38. sırada yer alırken (hidroelektrik hariç), jeotermal güçte global kapasite bakımından dördüncü sırada yer almıştır (REN21, 2021).

Hibrit Enerji Santralleri Potansiyel Alanlarının Belirlenmesinde Kriterler

Yenilenebilir enerji üretiminin birçok avantajı olmasına rağmen kentsel bölgelerdeki geniş ölçekli uygulamaları engelleyen düşük verimlilik, yüksek altyapı maliyeti, arzın güvenilirliği gibi bazı faktörler bulunmaktadır. Kesintili ve değişken yenilenebilir kaynaklar (örn. rüzgar ve güneş) geleneksel depolama yöntemlerinde sorunlara neden olabilmektedir. Alternatif olarak hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğasını yönetmede ve sistem verimliliğini artırmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (Bagheri ve ark., 2018).

Hibrit güç sistemlerinin modellenmesi ve optimize edilmesi, enerji kaynaklarının seçilmesini, modellenen bölgenin yük profilinin oluşturulmasını ve yerel coğrafi ortam koşullarına göre doğru bileşenlerin seçilmesini içerir (Charabi ve Abdul-Wahab, 2020).

Güneş teknolojilerinin üretim verimliliği son yıllarda artmaktadır. Ülkeler sürdürülebilir kalkınma ve CO2 emisyonlarının azaltılması için adımlar atarken, güneş enerjisine olan talep dünya çapında artmaktadır. Güneş enerjisi, çeşitli uygulamalar için güneş fotovoltaik (PV) ve güneş termal teknolojileri aracılığıyla kullanılabilir (Yousefi ve ark., 2018).

Güneş enerji santralleri için potansiyel alan belirlemenin ilk adımı, yüksek düzeyde güneş ışımına sahip alanların belirlenmesidir (Shorabeh ve ark., 2022). Dünya yüzeyindeki güneş radyasyonu (ışınım) miktarı, alanın koordinatına, güneş saatine, güneş açısına, neme ve hava sıcaklığına bağlıdır. Bununla birlikte güneş radyasyonunun kesintili olması ve sistem akımlarındaki dalgalanmalar depolama ömrünü azaltmaktadır. Bu nedenle seçilen yerin sürekli olarak güneşlenme değerine sahip olması önemlidir (Tempa ve Singh, 2020). Fotovoltaik sistemlerde güneş radyasyon değeri arttıkça yer seçim uygunluk değerinin de arttığı kabul edilmektedir (Kırcalı ve Selim, 2021).

Rüzgar enerjisinin doğasında bulunan zorluklardan biri de üretimin değişken doğasıdır. Rüzgar enerji tesislerinin planlanması ve izin verilmesi, tüm paydaşların görüşlerini dengelemeyi amaçlayan çok yönlü bir süreçtir. En yüksek rüzgar kaynaklarına sahip yerler, rüzgar santralleri için her zaman uygun yerler değildir (Van Haaren ve Fthenakis, 2011).

Rüzgar hızı, rüzgar enerjisi gelişiminin kritik değerlendirme kriteri ve yaygın teknik göstergesidir (Xu ve ark., 2020). Rüzgar hızı dünya üzerinde sabit bir konuma doğru esen

havanın hareket hızıdır. Değerler yerin rakımına ve coğrafyaya göre değişen yıllık rüzgar ortalaması ile temsil edilir (Wu ve ark., 2020). Ayrıca rüzgar santrali konumu rüzgar türbinlerinin ortalama 3 (m/s) rüzgar hızının üzerinde çalıştığı rüzgar kaynakları değerlendirmesine tabi tutulmaktadır. Enerji verimliliği kriterlerinden biri olan rüzgar hızının ardındaki düşünce sürecini netleştirmek önemlidir. Rüzgar hızı bir olanaksızlık kriteri değil, potansiyel bir faktör olarak değerlendirilmelidir (Diaz-Cuevas ve ark., 2018).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önümüzdeki yıllarda enerji üretiminde önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Özellikle biyokütleden enerji üretimi, çeşitli kaynaklardan (odun ve odun atıkları, tarım ürünleri ve ekim sonrası yan ürünleri, hayvansal atıklar, belediye katı atık ve gıda işleme atıkları) yararlanan çok yaygın bir yöntemdir (Ioannou ve ark., 2018).

Hızla artan nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak enerji ihtiyacı da artmaktadır. Biyokütle enerjisi, atıkların geri dönüşümü, kullanılması, elektrik ve gaz dönüşürülmesi, gübre formuna çevrilmesi gibi dönüştürme sürecini içermektedir. Kullanılan maddeler biyokütle olarak adlandırılırken elde edilen enerji de biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütlenin kullanımı genellikle geniş yayılma, büyük hacimler gibi dezavantajların yanı sıra toplama, işleme, taşıma ve depolama zorluklarıyla karşılaşmaktadır. Biyokütle enerji üretimi için tesis mümkün olduğunca üretim yerine yakın bir yerde olmalıdır (Ioannou ve ark., 2018).

Biyokütle üretiminde ana kaynaklar olan tarımsal atıklar, orman atıkları ve kentsel atıklar potansiyelin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ana kaynakların potansiyelleri mekâna bağımlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bir alandaki atık miktarının fazla olması biyokütle potansiyelini artırmaktadır (Noon ve Daly, 1996).

Mekânsal Planlamada Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı ve VİKOR Yöntemi

Mekânsal planlama, talep yönetimine ve yenilenebilir enerji kaynaklarının teşvikine dayalı yeni bir enerji modelini kolaylaştıran bölgesel çerçeve stratejisi için temel sağlamaktadır (Diaz-Cuevas ve ark., 2018). Coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) temel işlevlerinden birisi coğrafi analizlerdir. Coğrafi analizler, coğrafi veri setlerinin birbirleri ile mekânsal ilişkisi sonucu elden edilen yeni veri setlerinin hazırlanması için kullanılan işlemleri ifade eder. Bu işlemler ile mevcut girdi verisi alınır ve işleme tabii tutularak yeni bir çıktı verisi üretilir. Veri üzerinde yapılacak olan tüm işlemler, işlemi yapan araçlar tarafından belirlenen kurallara göre yapılır (Adıgüzel, 2010).

CBS son yıllarda mekânsal planlama ve yönetim için temel bir araç olarak ortaya çıkmıştır. Bunun temel nedeni, CBS'nin arazi kullanımları hakkında çok kriterli kararları dahil ederek planlama sürecinde kullanılabilmesidir. Bu nedenle uygulamaları yalnızca görselleştirme ve veri yönetimi

için değil, aynı zamanda mekânsal olarak ilgili kriterlere dayalı seçim alternatiflerinin değerlendirilmesi için de değerli olmaktadır. Bu karar destek aracı, karar verme sürecinde insanların (karar vericiler, planlayıcılar, politika yapıcılar vb.) tercihlerini aynı anda dahil ederek çeşitli mekânsal verileri değerlendirmek ve yönetmek için faydalı olmaktadır (Latinopoulos ve Kechagia, 2015).

Veri kaynaklarından karar vericilere çevresel bilgi akışını kolaylaştırmak için geliştirilmiş CBS'ye artan bir ihtiyaç vardır. Son yıllarda ArcGIS yazılımı çevresel karar verme sürecini dönüştürmüştür. Coğrafi verilerin organizasyonu ve yönetimini önemli ölçüde değiştirerek bir dizi disiplinle mekânsal modelleme ve değerlendirme yeteneklerini ortaya çıkarmıştır. Yeni imar planları için uygun yerlerin seçiminde CBS yazılımının uygulanması, farklı veri katmanlarını farklı kavramsal modeller şeklinde birleştirerek karar vermeyi oldukça hızlandırabilir. Bu modellerdeki kombinasyon stratejisinin türüne bağlı olarak veri katmanlarının türü, değeri ve sayısı farklı olacaktır. CBS tabanlı saha uygunluk çalışmalarının çoğu, çok değişkenli karmaşık problemleri sentezlemek için çok kriterli analiz üzerine kuruludur (Yousefi ve ark., 2018).

CBS ile birleştirilmiş ÇKKV yöntemleri bir problem için en uygun çözümün üretilmesinde değerli araçlardır. Genel olarak ÇKKV çeşitli kriterlere ve parametrelere bağlı olan karmaşık problemlerin çözümüne yardımcı olabilecek karar destek sistemlerinin geliştirilmesine odaklanan bir uygulama alanıdır. ÇKKV ve CBS, birçok araştırmacı tarafından çevre sorunlarının çözümü için kullanılmıştır (Ioannou ve ark., 2018).

Çok kriterli karar verme yöntemleri, karara etki eden kriter, nitelik, faktörler ve bu değişkenlere bağlı sıralama veya seçim yapılacak alternatiflerden oluşmaktadır. ÇKKV yönteminin belirlenmesindeki en önemli husus karar elemanları arasında hiyerarşik bir yapı mı yoksa bağımlı bir ağ yapısının mı yer aldığıdır. Bunun sonucu karar verilecek olan yöntemi belirleyecektir (Aktaş ve ark., 2015).

Bilimsel bilginin üretilmesinde, yapılandırıcılık perspektifi egemen olmaktadır. Ancak analitik konularda nesnel bilgi hala ön plandadır. Karar verme süreçleri, planlama sürecinde yer alan paydaşların sahip olduğu değerlerden önemli ölçüde etkilenmiştir. Fikir birliği oluşturmak önemlidir ancak demokratik katılım mekanizmaları, simetrik ilişkiler ve eşit bilgi dağılımı gerektirmelidir (Tekeli, 2018).

Bilimsel bilgiye bakıştaki değişimle birlikte çoklu karar vermeye yönelen kent planlama gelişimi uzlaşmayı temel eksenine almıştır. Bu bağlamda çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan VİKOR yöntemi yer seçimlerinde uzlaşmayı esas alması bakımından önemli olmaktadır. Uzlaşmacı bir çözüm önerisi ortaya koyması VİKOR yöntemini diğer yöntemlerden ayıran önemli bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır. 2004 yılında Opricovic ve Tzeng tarafından geliştirilen yöntem farklı kriterlerin karar problemlerinde

karar alternatiflerinin sıralanması ve en iyi alternatif seçilmesi için kullanılmaktadır (Opricovic ve Tzeng, 2004). Özellikle tedarikçi seçimi, kuruluş yeri seçimi, personel seçimi, hizmet kalitesinin değerlendirilmesi gibi çeşitli problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. VİKOR yöntemi, alternatifleri sıralayarak çözümü belirler ve bunu bir uzlaşma olarak adlandırmaktadır (Villacreses ve ark., 2017).

VİKOR yönteminde gruplar arasındaki ilişkilere göre farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Genellikle uygulamalarda maksimum grup faydası olarak tanımlanan ve konsensüs/fikir birliği olarak düşünülen $q=0,50$ değeri alınmaktadır. Yöntemde $q>0,50$ durumu çoğunluk, $q<0,50$ durumunu ise veto olarak tanımlanmaktadır (Ayçin, 2020).

YÖNTEM

Göstergeler üzerinden yürütülen çalışmalarda verilerin erişilebilirliği, veri setinin bulunması, toplanması ve dönüştürülmesi önemli bir aşamadır. Potansiyel alanların belirlenmesine ilişkin 2020 ve 2021 yılı göstergeleri ortalamaları üzerinden 81 ile ait RES için; ortalama rüzgar hızı, GES için; ortalama güneş ışınım süreleri, BES için; kişi başı atık miktarı, bitki ve hayvan atıklarının enerji eş değerleri Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nden talep edilerek veri setlerine ulaşılmıştır. Bu aşamadaki veriler dönüştürülerek rakamsal göstergeler üzerinden öncelikli alanların belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma temelde iki aşamayı içermektedir. İlk aşamada genel görünümü ve gelişmeyi ortaya koymak amacıyla Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) yıllık raporlarından illere göre kurulu güç verileri CBS sistemi uygulamalarından olan ArcGIS yazılımının ArcMap 10.8 arayüzü ile haritalandırılmıştır.

ArcMap, mevcut grafik ve sözel verilerin görüntülenmesi, güncellenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi, grafiklerinin oluşturulması ve raporlanması işlevleri ile kullanıcıya, yüksek kalitede kartografik sunumlar sağlamaktadır. ArcMap vektör verilerine bağlı tablolar veya birbirlerinden bağımsız veri tabanlarının fiziksel olarak ortak bir tabloda birleştirilmesi ve ilişki kurulmasını sağlar. Birbirinden bağımsız farklı tabloların fiziksel olarak birleştirilebilmesi için ortak alanlar gerekmektedir. Bu ortak alanlar birbirleriyle eşleşecek olan sayısal veya karakter değerlere sahip olmalıdır (Adıgüzel, 2010).

İkinci aşamada ise hibrit kullanıma uygun potansiyel alanların belirlenmesi açısından ÇKKV yöntemlerinden VİKOR analizi yapılmıştır. Uzlaşmacı bir çözüm önerisi ortaya koyan VİKOR yöntemi, alternatifleri sıralayarak çözümü belirler ve bunu bir uzlaşma olarak adlandırmaktadır. (Villacreses ve ark., 2017).

VİKOR yöntemi altı temel aşamayı içermektedir. İlk aşı-

mada karar alternatifleri ve değerlendirme kriterlerinin yer aldığı karar matrisinin oluşturulması gereklidir. Bu matrisin satırlarında karar alternatifleri, sütunlarında ise değerlendirme kriterleri yer almaktadır.

Çalışma kapsamında karar alternatifleri İBBS'ye göre Düzey 2'de yer alan 26 istatistikî bölgeyi içermektedir. Değerlendirme kriterleri ise RES için; ortalama rüzgar hızı değerleri (m/s), GES için; ortalama güneş ışınım değerleri (kWh/yıl), BES için; bitki, hayvan ve belediye atıklarının enerji eş değeri olarak (TEP/yıl) oluşturulması şeklindedir.

İkinci aşamada ise her bir değerlendirme kriteri için kriterin yönüne göre en iyi ve en kötü değerler hesaplanır. Eşitlik 1 ve 2'de yer alan denklem, kriterlerin fayda yönlü olması durumunda kullanılırken, Eşitlik 3 ve 4'te yer alan denklem kriterlerin maliyet yönlü olması durumunda kullanılmaktadır. Eşitliklerde kullanılan i karar alternatiflerini belirlerken, j ise değerlendirme kriterlerini göstermektedir. Bu kapsamda f_j^* en iyi değerlendirme kriteri değerini, f_j^- en kötü değerlendirme kriteri değerini ifade etmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus kriterlerin fayda veya maliyet yönlü olma özelliğidir.

$$f_j^* = \max_j x_{ij} \quad (1)$$

$$f_j^- = \min_i x_{ij} \quad (2)$$

$$f_j^* = \min_i x_{ij} \quad (3)$$

$$f_j^- = \max_i x_{ij} \quad (4)$$

Üçüncü aşama ise normalizasyon işlemini ve karar matrisinin ağırlıklandırılmasını oluşturmaktadır. Yapılan normalizasyon işleminin temel amacı kriterleri karşılaştırabilir aynı birimlere dönüştürmektir. Normalizasyon işlemi Eşitlik 5'ten yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$r_{ij} = \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (5)$$

Normalize karar matrisi elde edildikten sonra her bir değer ağırlık değerleri ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilir.

Bir kriterin ağırlık değeri ne kadar büyük ise o kriter karar verici için daha fazla öneme sahiptir anlamına gelmektedir. Normalize edilmiş karar matrisi için kullanılan formül Eşitlik 6'da yer almaktadır. Burada yer alan v normalize değeri ifade ederken, w ise kriter ağırlıklarını temsil etmektedir.

Oluşturulan ağırlıklar, toplam üç kriterin olmasından dolayı her bir kriter için 0,333 olarak kabul edilmiştir.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j \quad (6)$$

Dördüncü aşamada her karar alternatifi için ortalama ve en kötü grup değerlerini gösteren S_i ve R_i değerleri hesaplanır. S_i değerleri karar alternatifleri için matriste yer alan satır değerlerinin toplamına eşittir ve matematiksel olarak Eşitlik 7'deki formülle hesaplanmaktadır. R_i ise satırdaki değerlerin maksimumuna eşittir ve kullanılan formül Eşitlik 8'de yer almaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (7)$$

$$R_i = \max_j \left(w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right) \quad (8)$$

Beşinci aşamada ise öncelikli olarak Q_i değerleri hesaplanırken kullanılan S^* , S^- , R^* ve R^- parametreleri Eşitlik 9, 10, 11 ve 12'deki gibi hesaplanmaktadır. Q_i maksimum grup faydasını sağlayan strateji ağırlığını ifade etmektedir.

$$S^* = \min_i S_i \quad (9)$$

$$S^- = \max_i S_i \quad (10)$$

$$R^* = \min_i R_i \quad (11)$$

$$R^- = \max_i R_i \quad (12)$$

Q_i değeri ise Eşitlik 13'te yer alan formül ile hesaplanmaktadır.

$$Q_i = \frac{q(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - q) \cdot (R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (13)$$

Eşitlikte yer alan q parametresi maksimum grup faydası ağırlığını ifade ederken, $(1 - q)$ parametresi ise karşıt görüş için minimum pişmanlık anlamına gelmektedir.

Altıncı ve son aşama ise karar alternatiflerinin sıralanması ve uzlaşık çözümün belirlenmesini içermektedir. Bu aşamada S_i , R_i ve Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak karar alternatifleri arasında sıralama listesi oluşturulur. Yapılan bu sıralamanın doğruluğunun sıranın için Q_i değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında en küçük Q_i değerinin aşağıda belirtilen şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

Birinci koşul kabul edilebilir avantajı içermekte olup Q_i değeri küçükten büyüğe doğru sıralandığında en iyi karar alternatifi ile ikinci sırada yer alan karar alternatifi arasındaki farkın varlığını araştıran koşuldur. Birinci en iyi karar alternatifine Q_1 , ikinci en iyi karar alternatifine Q_2 denilirse;

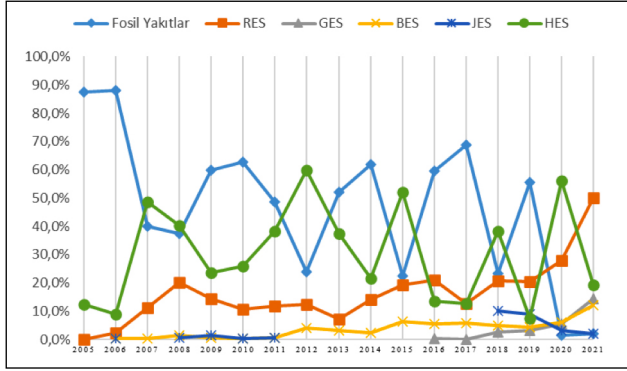
$Q_2 - Q_1 \geq DQ$ ise sonuç kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamaktadır. DQ parametresi ise karar alternatifi sayısına bağlı olup Eşitlik 14'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$DQ = \frac{1}{(j - 1)} \quad (14)$$

İkinci koşul ise kabul edilebilir istikrar olarak adlandırılmakta ve karar alternatifi Q_j , S ve/veya R değerlerine göre de en iyi skora sahip ise bu koşula göre seçilmiş olur. Her iki koşulu da sağlıyorsa başarılı bir VİKOR uygulaması gerçekleştirildiği sonucuna ulaşılabilir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Türkiye'de Rüzgar, Güneş ve Biyokütle Enerjisi Gelişimi
Türkiye'nin elektrik üretiminde fosil yakıtlara bağımlılığı



Şekil 2. Türkiye'de yıllara göre kurulu güç değişiminin toplam yatırımlar içindeki yüzdesi (EPDK verilerinin düzenlenmesiyle yazar tarafından oluşturulmuştur).

son yıllarda azalım içerisinde olsa da fosil yakıtlara bağımlılık devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla bu bağımlılığı en aza indirmek için, yenilenebilir kaynaklara yönelik politikaların hızla arttığı görülmektedir.

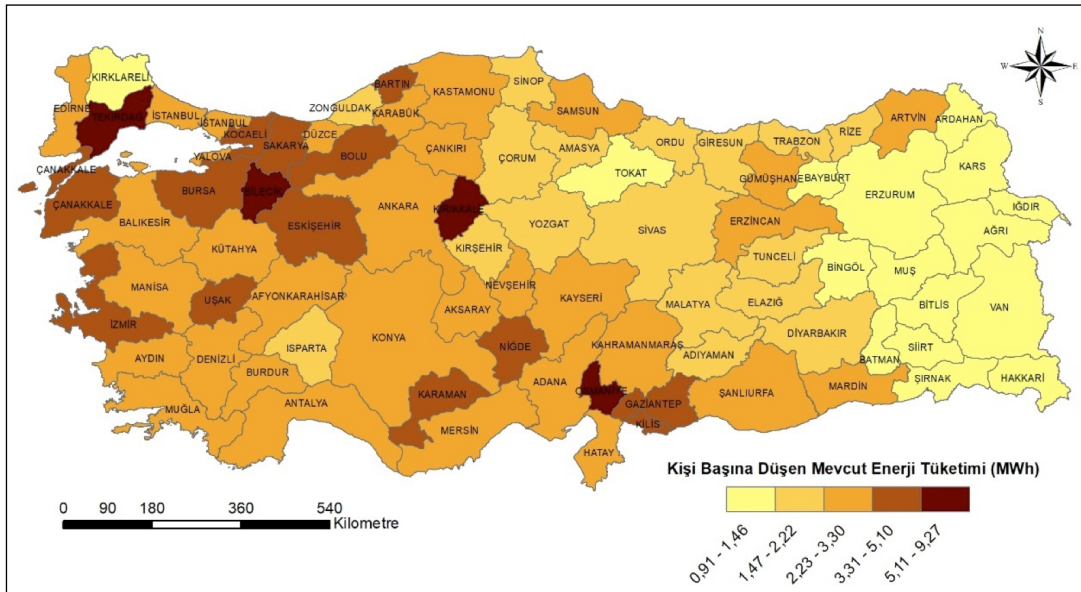
Şekil 2 yıllara göre enerji kaynakları açısından, o yıl içerisinde yapılan yatırımların kurulu güç değerlerinin, tüm enerji kaynakları arasındaki yüzdesini ifade etmektedir. Enerji yatırımları kurulu gücünün kaynaklara yüzdesi bakımından, fosil yakıtlara dayalı yatırımlar azalma eğilimindedir. 2005 yılında fosil yakıtlara dayalı santrallere yönelik yatırım kurulu gücünün, enerji kaynakları arasındaki oranı %87,4 iken, 2021 yılında bu oran %1,92'lere kadar azalmıştır. Süreç içerisinde genel olarak fosil yakıtla bağlı yatırım kurulu gücünün azalma eğiliminde olduğu dönemlerde hidroelektrik santrallerine yönelik payın arttığı görülmektedir. 2015 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynakları bakımından hidroelektrik santrallerine yönelik eğilim daha

ön planda yer alırken 2015 yılından sonra rüzgar enerji santrallerine yapılan yatırımların kurulu gücü ilk sıralara yükselmiştir. 2020 yılında enerji kaynakları arasında yatırım kurulu gücü %28,04 olan RES'lerin oranı 2021 yılında %50,02'ye yükselmiştir. Bunun yanı sıra biyokütle ve güneş enerji santrallerine yönelik yatırımlar 2015 yılından sonra artışa geçmiştir (EPDK, 2022).

EPDK'nın yıllık sektör raporu verileri değerlendirildiğinde (EPDK, 2022), elektrik tüketimi yıllara göre artış göstermektedir. Elektrik tüketiminin gerçekleştiği alanlar; aydınlatma, mesken, sanayi, tarımsal sulama ve ticarethane şeklinde sınıflandırılmaktadır. Faturalanan tüketimin değerleri bakımından sanayi ilk sırada iken bunu sırasıyla mesken, ticarethane, tarımsal sulama ve aydınlatma izlemektedir. İller bakımından genel toplam olarak en fazla tüketimin olduğu yerler İstanbul, İzmir, Ankara, Bursa, Kocaeli şeklinde sıralanmaktadır. Toplam elektrik tüketimi payları açısından İstanbul (%16,49), İzmir (%6,53), Ankara (%6,04), Bursa (%4,88) ve Kocaeli (%4,36) şeklinde sıralanmaktadır. Aydınlatma, mesken, sanayi ve ticarethane tüketimlerinde İstanbul, tarımsal sulamada ise Konya ilk sırada yer almaktadır.

Toplam elektrik tüketiminin nüfusa oranı ile hesaplanan kişi başı tüketim değerleri bakımından en fazla tüketim Bilecik (9,27 MWh), Kırıkkale (7,45 MWh), Osmaniye (7,38 MWh), Tekirdağ (6,62 MWh), Çanakkale (5,1 MWh) şeklindedir. Bu illerde genel olarak sanayi alanındaki tüketim değerleri yüksektir (Şekil 3).

RES bakımından 2005 yılında İstanbul'da başlayan lisanslı üretime yönelik yatırımlar 2006 yılından itibaren Balıkesir ve İzmir'i içerisine almıştır. 2021 yılının ilk dokuz ayı itibarıyla toplamda 49 ilde en az bir tane RES bulunmaktadır. Kurulu güç ve üretim bakımından İzmir ve Balıkesir ön



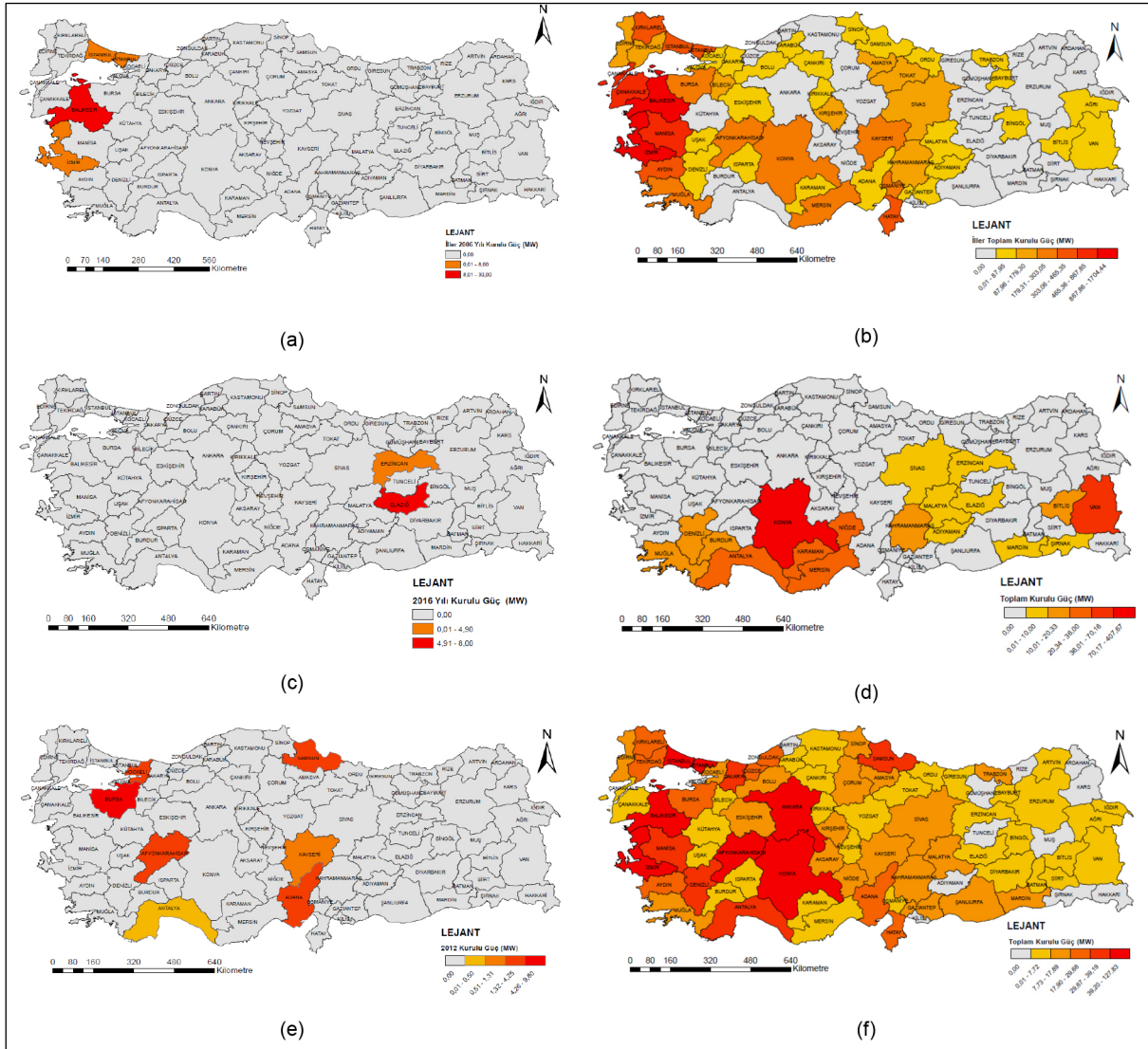
Şekil 3. 2021 yılı itibarıyla illere göre kişi başına düşen mevcut enerji tüketimi (Yazar tarafından oluşturulmuştur).

plana çıkarken bunları Çanakkale, Manisa, Aydın, İstanbul ve Kırklareli takip etmektedir. Üretim bakımından Şekil 4 üzerinden dağılım incelendiğinde RES'lerin kurulduğu alanların, rüzgar hızının yüksek olduğu yerler ile paralellik gösterdiği söylenebilir. Gelişimin batıdaki illerde başlayıp ülke geneline yayıldığı ve özellikle 2016 yılında kurulu güçte sahip şehir sayısının hızla arttığı görülmektedir. Bunun temel etkenleri olarak 2010 yılında belirlenen 2023'e yönelik Yenilenebilir Enerji Üretim Hedefi, 2013 yılındaki Ulusal Yenilenebilir Enerji Planının hazırlanması ve 2016 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Yenilenebilir Enerji konusunda yetkilendirilmesi ile yatırımlara yönelik politikaların hızlandırılması şeklindedir (Şekil 4).

GES bakımından lisanslı üretim santrallerinin gelişiminin, 2016 yılında Elazığ ve Erzincan'da başlayarak günümüzde

18 ile ulaştığı görülmektedir. Özellikle son yıllarda artan gelişimi ile Konya üretim alanında ilk sırada yer alırken Van, Antalya, Karaman, Mersin ve Niğde şeklinde sıralanmaktadır. GES'lere yönelik yatırımlar 2020 ve 2021 yıllarında daha fazla artışa geçmiştir. GES'lerin kurulu güç gelişiminin, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan güneş enerji atlasındaki (GEPA) güneş ışınım süreleri ile paralellik sağladığı görülmektedir. Ülkenin RES'e yönelik politika ve yatırımların daha fazla olması, GES gelişimini sınırlandırmıştır (Şekil 4).

BES bakımından 2012 yılında Samsun, Bursa, Afyonkarahisar, Antalya, Kayseri, Adana illerinde başlayan lisanslı üretimin günümüzde 70 ile ulaştığı görülmektedir. Temelde bitkisel, hayvansal, orman atıklarından oluşan üretim tesislerinde özellikle bitkisel ve hayvansal atıkla çalışan te-



Şekil 4. (a) 2006 yılı illere göre RES kurulu güç, (b) RES illere göre toplam kurulu güç (2021/9), (c) 2016 yılı illere göre GES kurulu güç, (d) GES illere göre toplam kurulu güç (2021/9), (e) 2012 yılı illere göre BES kurulu güç, (f) BES illere göre toplam kurulu güç (2021/9).

sislerin sayısının son yıllarda artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Samsun, Antalya, Balıkesir, Konya gibi tarımsal üretimi fazla olan illerde tarımsal atıklara dayalı biyokütle üretimi ön planda iken İstanbul, Ankara, İzmir gibi yüksek nüfuslu kentlerde evsel atıklara dayalı biyokütle santralleri ön plana çıkmaktadır (Şekil 4).

Potansiyel Alanların Bölge Düzeyinde Belirlenmesi

Çalışmada hibrit kullanıma uygun potansiyel alanların belirlenmesi açısından ÇKKV yöntemlerinden VİKOR analizi yapılmıştır. Altı temel aşamayı içeren bu yöntemin ilk aşamasında, karar alternatifleri ve değerlendirme kriterlerinin yer aldığı karar matrisinin oluşturulması gereklidir. Bu

matrisin satırlarında Düzey 2'ye göre istatistiksel bölge birimleri bulunurken, sütunlarında ise ortalama rüzgar hızı, ortalama güneş ışınım değeri ve biyokütle toplam enerji eş değeri yer almaktadır.

Bölgesel düzeyde ortalama rüzgar hızı bakımından TR10 bölgesi, TR21 bölgesi ve TR22 bölgesi ön plana çıkmaktadır. En düşük değer ise TR81'de yer alan Zonguldak-Bartın-Karabük illerine aittir. Güneş ışınım değerleri bakımından TR52 bölgesi, TRC1 bölgesi ve TRC3 bölgesi ön plandadır. En düşük değere ise TR10 bölgesinde yer alan İstanbul sahiptir. Biyokütle enerji eş değeri değerleri bakımından TR52, TR62 ve TR33 bölgeleri ön plana çıkarken TR81 bölgesi son sırada yer almaktadır (Tablo 1).

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri ve karar alternatifleri matrisi

Kriterler	Ortalama rüzgar hızı (m/s)	Ortalama güneş ışınım (radyasyon) değerleri (kWh/yıl)	Toplam biyokütle (bitki, hayvan atıkları, belediye atıkları) enerji eş değeri (TEP/yıl)	
Ağırlıklar	0,333	0,333	0,333	
Kriter yönü	maksimum	maksimum	maksimum	
TR10	İstanbul	5,79	1332	928315
TR21	Tekirdağ, Edirne, Kırklareli	5,58	1342	1979135,4
TR22	Balıkesir, Çanakkale	5,78	1414	1265943,7
TR31	İzmir	5,66	1516	1012703,7
TR32	Aydın, Denizli, Muğla	4,38	1607	1202633,6
TR33	Manisa, Afyonkarahisar, Kütahya, Uşak	4,67	1543	2383867,7
TR41	Bursa, Eskişehir, Bilecik	4,26	1448	1568799,4
TR42	Kocaeli, Sakarya, Düzce, Bolu, Yalova	4,12	1377	1169986,9
TR51	Ankara	4,29	1495	1364883,5
TR52	Konya, Karaman	4,76	1661	2962642,9
TR61	Antalya, Isparta, Burdur	4,39	1653	1433199,3
TR62	Adana, Mersin	4,41	1615	2504854,5
TR63	Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye	4,58	1586	1337484,9
TR71	Kırıkkale, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kırşehir	4,47	1570	1497141,1
TR72	Kayseri, Sivas, Yozgat	4,9	1566	1430781,3
TR81	Zonguldak, Karabük, Bartın	3,54	1353	170044,5
TR82	Kastamonu, Çankırı, Sinop	3,93	1400	364607,3
TR83	Samsun, Tokat, Çorum, Amasya	4,20	1418	1862244
TR90	Trabzon, Ordu, Giresun, Rize, Artvin, Gümüşhane	3,82	1444	508327,5
TRA1	Erzurum, Erzincan, Bayburt	4,45	1569	361536,1
TRA2	Ağrı, Kars, Iğdır, Ardahan	4,62	1538	322820,7
TRB1	Malatya, Elazığ, Bingöl, Tunceli	4,39	1617	446370,6
TRB2	Van, Muş, Bitlis, Hakkari	4,59	1649	479915,8
TRC1	Gaziantep, Adıyaman, Kilis	4,92	1607	808191,2
TRC2	Şanlıurfa, Diyarbakır	4,48	1608	1282951,5
TRC3	Mardin, Batman, Şırnak, Siirt	3,72	1616	1132937,3

Yöntemin son aşaması ise karar alternatiflerinin sıralanması ve uzlaşık çözümün belirlenmesini içermektedir. Bu aşamada S_j , R_i ve Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak karar alternatifleri arasında sıralama listesi oluşturulur. Yapılan bu sıralamaların doğruluğunun sınanması için Q_i değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralandığında en küçük Q_i değerinin aşağıda belirtilen şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

Birinci koşul kabul edilebilir avantajı içermekte olup, Q_i değeri küçükten büyüğe doğru sıralandığında en iyi karar alternatifi ile ikinci sırada yer alan karar alternatifi arasındaki farkın varlığını araştıran koşuldur. Birinci en iyi karar alternatifine Q_1 , ikinci en iyi karar alternatifine Q_2 denilirse $Q_2 - Q_1 \geq DQ$ ise sonuç kabul edilebilir avantaj koşulunu sağlamaktadır. DQ parametresi ise karar alternatifi sayısına bağlı olup şu şekildedir:

$$DQ = 1 / (j-1)$$

Toplam karar alternatifi sayısı 26 olduğundan dolayı DQ değeri 0,040 (1/25) olarak hesaplanmıştır.

İkinci koşul ise kabul edilebilir istikrar olarak adlandırılmakta ve Q_i , S ve/veya R değerlerine göre de en iyi skora sahip ise bu koşula göre seçilmiş olur.

Yapılan çalışmada koşullar denetlenecek olursa;

$q=0,00$ için $Q_2-Q_1 \geq DQ$; $0,074-0,000 \geq 0,040$ olduğundan kabul edilebilir avantajı sağlamaktadır. Ayrıca S_i ve R_i değerleri bakımından da TR52 bölgesinin birinci sırada olması, TR33'ün ise S_i ve R_i değerleri bakımından en az birinde ikinci sırada olması $q=0,00$ koşuluna göre sıralamanın doğru olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (Tablo 2).

$q=0,25$ için $Q_2-Q_1 \geq DQ$; $0,116-0,000 \geq 0,040$ olduğundan kabul edilebilir avantajı sağlamaktadır. Ayrıca S_i ve R_i değerleri bakımından da TR52 bölgesinin birinci sırada olması, TR33'ün ise S_i ve R_i değerleri bakımından en az birinde ikinci sırada olması $q=0,25$ koşuluna göre sıralamanın doğru olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (Tablo 3).

$q=0,50$ için $Q_2-Q_1 \geq DQ$; $0,159-0,000 \geq 0,040$ olduğundan kabul edilebilir avantajı sağlamaktadır. Ayrıca S_i ve R_i değerleri bakımından da TR52 bölgesinin birinci sırada olması, TR33'ün ise S_i ve R_i değerleri bakımından en az birinde

Tablo 2. $q=0,00$ göre alternatif koşullarının denetlenmesi

Koşul	Durum
Kabul edilebilir avantaj	$Q_2-Q_1 \geq DQ$; $0,074-0,000 \geq 0,040$
Kabul edilebilir istikrar	TR52 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında birinci sırada, TR33 Q_i ve R_i sıralamalarında ikinci sırada
Sıralama	
TR52>TR33>TR72>TR63>TR71>TRC2>TR62>TR61>TR32>TR51>TR41>TR31>TR83>TR22>TRC1>TR42>TR90>TRB1>TRB2>TRC3>TR82>TRA1>TRA2>TR21>TR81>TR10	

Tablo 3. $q=0,25$ göre alternatif koşullarının denetlenmesi

Koşul	Durum
Kabul edilebilir avantaj	$Q_2-Q_1 \geq DQ$; $0,116-0,000 \geq 0,040$
Kabul edilebilir istikrar	TR52 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında birinci sırada, TR33 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında ikinci sırada
Sıralama	
TR52>TR33>TR72>TR62>TR63>TR71>TRC2>TR61>TR32>TR52>TR41>TR22>TRC1>TR83>TRB2>TRB1>TR42>TRC3>TR90>TR82>TRA1>TR21>TRA2>TR82>TR10>TR81	

Tablo 4. $q=0,50$ göre alternatif koşullarının denetlenmesi

Koşul	Durum
Kabul edilebilir avantaj	$Q_2-Q_1 \geq DQ$; $0,116-0,000 \geq 0,040$
Kabul edilebilir istikrar	TR52 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında birinci sırada, TR33 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında ikinci sırada
Sıralama	
TR52>TR33>TR62>TR72>TR63>TR61>TR71>TRC2>TR32>TR31>TR51>TR22>TRC1>TR41>TR83>TRB2>TRB1>TR21>TRC3>TRA1>TRA2>TR42>TR10>TR90>TR82>TR81	

Tablo 5. $q=0.75$ göre alternatif koşullarının denetlenmesi

Koşul		Durum
Kabul edilebilir avantaj	$Q_2 - Q_1 \geq DQ; 0,116 - 0,000 \geq 0,040$	Sağlamaktadır
Kabul edilebilir istikrar	TR52 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında birinci sırada, TR33 alternatifi Q_i ve i_j sıralamalarında ikinci sırada	Sağlamaktadır
Sıralama		
TR52>TR33>TR62>TR72>TR61>TR63>TR31>TRC2>TR71>TR32>TRC1>TR22>TR51>TRB2>TR41>TR21>TR83>TRB1>TRC3>TRA1>TR10>TRA2>TR42>TR90>TR82>TR81		

Tablo 6. $q=1.00$ göre alternatif koşullarının denetlenmesi

Koşul		Durum
Kabul edilebilir avantaj	$Q_2 - Q_1 \geq DQ; 0,116 - 0,000 \geq 0,040$	Sağlamaktadır.
Kabul edilebilir istikrar	TR52 alternatifi Q_i ve R_i sıralamalarında birinci sırada, TR62 alternatifi Q_i ve S_i sıralamalarında ikinci sırada	Sağlamaktadır.
Sıralama		
TR52>TR62>TR33>TR61>TR31>TR72>TRC1>TRC2>TR63>TR22>TR71>TR21>TR32>TRB2>TRB1>TRC3>TR21>TR51>TRA1>TR41>TRA2>TR83>TR42>TR90>TR82>TR81		

ikinci sırada olması $q=0,50$ koşuluna göre sıralamanın doğru olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (Tablo 4).

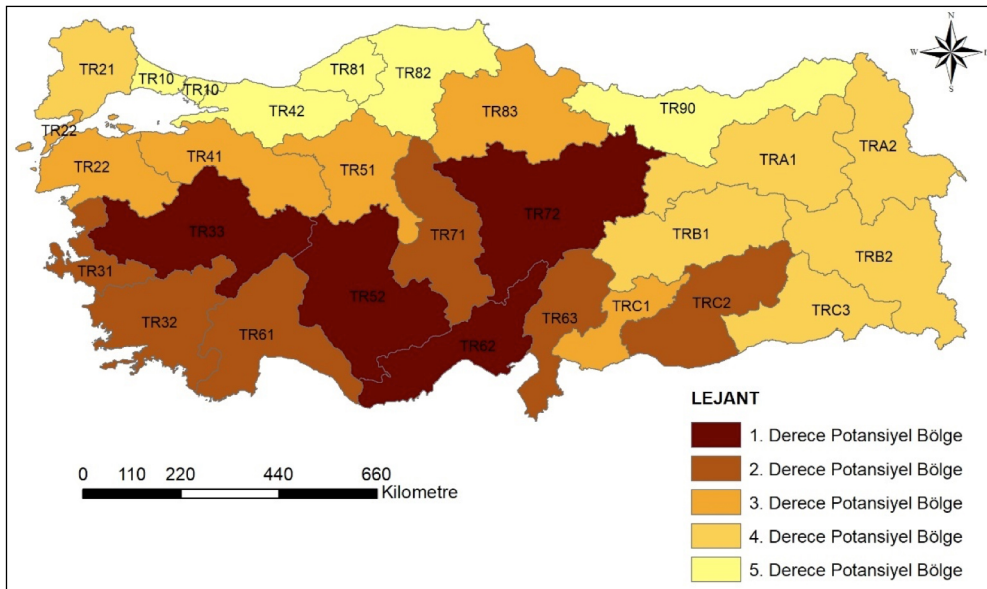
$q=0,75$ için; $Q_2 - Q_1 \geq DQ; 0,202 - 0,000 \geq 0,040$ olduğundan kabul edilebilir avantajı sağlamaktadır. Ayrıca S_i ve R_i değerleri bakımından da TR52 bölgesinin birinci sırada olması, TR33'ün ise S_i ve R_i değerleri bakımından en az birinde ikinci sırada olması $q=0,75$ koşuluna göre sıralamanın doğru olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (Tablo 5).

$q=1,00$ için $Q_2 - Q_1 \geq DQ; 0,185 - 0,000 \geq 0,040$ olduğundan kabul edilebilir avantajı sağlamaktadır. Ayrıca S_i ve R_i değerleri bakımından da TR52 bölgesinin birinci sırada olma-

sı, TR62'nin ise S_i ve R_i değerleri bakımından en az birinde ikinci sırada olması $q=1,00$ koşuluna göre sıralamanın doğru olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (Tablo 6).

Koşul denetleri bakımından $q=0,00$, $q=0,25$, $q=0,50$ ve $q=0,75$ açısından ilk iki sıra TR52 ve TR33 bölgeleri şeklinde olurken, $q=1,00$ koşulunda birinci sıra değişmez iken ikinci sırada TR62 bölgesi yer almıştır.

Çalışma kapsamında VİKOR yönteminin benimsenmesinde yöntemin uzlaşmayı esas alarak sonucu ortaya koyması yer almaktadır. Bu uzlaşmayı sağlamanın yanında yöntem, $q=0,75$ ve $q=1,00$ değerleri bakımından çoğunluk kararını ön plana

**Şekil 5.** Hibrit enerji potansiyeline göre öncelikli bölgeler (Yazar tarafından oluşturulmuştur).

alırken $q=0,00$ ve $q=0,25$ koşulları bakımından ise azınlık grubun kararlarını ortaya koymaktadır. Çalışmanın temel eksenini uzlaşma üzerine kurulu olduğu için $q=0,50$ koşullarına göre sıralama, potansiyel önceliklendirmede esas alınmıştır. Geometrik artış değerleri ön plana alınarak yapılan önceliklendirmede yöntem sonuçları, hibrit enerji santrali bakımından eşit ağırlıklı bir gelişim öngörüldüğünde; TR52, TR33, TR62 ve TR72 bölgeleri birinci dereceden potansiyel bölgeler olarak ortaya koymaktadır (Şekil 5). Öncelikli bölgelerin genel özellikleri bakımından TR52 ve TR62 bölgelerinin güneş ve biyokütleyle dayalı kaynaklarda değerlerinin yüksek olduğu, TR33 ve TR72 bölgelerinin bitkisel atıklara dayalı biyokütlelerin daha ağırlıkta olduğu görülmektedir.

Elde edilen sıralamalarda ilk sırada TR52 bölgesinde yer alan Konya ve Karaman illerinin güneş, rüzgar ve biyokütleyle yönelik hibrit olmayan kurulu güçlerde ülke ortalamasının üstünde yer aldığı görülmektedir. Bu iller Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün (YEGM) yayınladığı güneş (GEP) ve rüzgar potansiyel atlaslarında (REPA), rüzgar hız ve güneş ışınımı bakımından yüksek değerli alanlardır. Özellikle Konya ilindeki son döneme yönelik ayrı olarak gerçekleştirilen GES, RES ve BES yatırımları da potansiyelin olduğu yerlere yönelik yatırımların yapıldığı gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda yatırımlarda da ön plana çıkan TR52 bölgesinin, hibrit enerji santrali bakımından da Türkiye'de potansiyel olarak ilk sırada yer aldığı VİKOR yöntemi ile ortaya koyulmuştur. Ayrıca çalışma kapsamında önerilen yöntemin tutarlılığı da çalışmanın ilk aşamasında yer alan mevcut gelişim haritaları ile paralellik gösterirken yapılan yatırımların da buralarda olması yöntemin tutarlılığını ispatlamıştır. Uygulanan yöntem kapsamında, hibrit yenilenebilir enerji kaynaklarının yer seçiminde öncelikli alanların sıralaması belirlenirken, bölgesel potansiyelinin belirlenmesinde VİKOR yönteminin uygulanabilir olduğu ortaya koyulmuştur.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Fosil yakıt kullanımının çevre üzerinde çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu etkilerden bir tanesi birçok uluslararası sözleşmede yer alan sera gazı emisyon miktarıdır. Türkiye'de toplam sera gazı emisyon miktarının günümüze gelene kadar bir artış içerisinde olduğu görülmektedir. Bu artıştan sorumlu sektörler bakımından geçmişten günümüze en fazla emisyon salınımı, enerji sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir (TÜİK, 2021). Sera gazı emisyonlarının artması ve bunun temel nedenlerinden birinin fosil kaynaklı yakıtlar olduğu düşünüldüğünde, enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'de enerji kaynaklarına yönelik yatırımlarda, fosil kaynaklı yatırımlar azalma eğilimindedir. Özellikle ülkede RES'lere yönelik teşvik ve desteklerin artması, 2021 yılında rüzgar enerjisi yatırımlarını %50'lere kadar artırarak

yenilenebilir enerji kaynakları arasında ilk sırada olmasını sağlamıştır. Ayrıca süreç içerisinde hidroelektrik, güneş ve biyokütleyle yönelik yatırımlar, fosil kaynaklı yakıtların yatırım oranının azalmasına bağlı olarak artışa geçmiştir.

Geleneksel merkezi elektrik şebekesi altyapılarının yerini hibrit enerji sistemlerinin alması enerjideki kayıpların azalmasını yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarının da bu tür sistemlere entegre olmasında fırsatlar sağlayacaktır. Bu tür sistemler beraberinde enerji kooperatifleri sistemine geçişi kolaylaştıracak ve hızlandıracaktır. Ayrıca bölgesel depolama ve üretime yönelimi artırarak ülkelerin inovatif gelişimini olumlu etkileyecektir.

Günümüzde kent planlama anlayışı "uzlaşma" temel eksenine almıştır (Tekeli, 2018). Çoklu karar vermenin ön planda olduğu VİKOR yöntemi de kent planlama anlayışını destekleyen bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Yöntem, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini kavramak için önemli bilgiler ortaya koyarken bunu uzlaşma şeklinde adlandırması önemlidir.

Hibrit potansiyel alanların belirlendiği çalışmada TR52, TR33, TR62, TR72 ve TR63 bölgeleri potansiyel olarak ilk sıralarda yer almıştır. Bu bilgiler stratejik mekânsal planlama sürecinde doğal kaynaklara dayalı sürdürülebilir enerji sistemleri için gelişimsel bir vizyon oluşturmaya yardımcı olarak, ulusal enerji ve çevresel kalkınmanın sürdürülebilirliğe geçişini kolaylaştırabilir.

Makro ölçekte ortalama rüzgar hızı, güneş ışınım değerleri ve toplam biyokütle enerji eş değeri kriterleri, hibrit potansiyel alan belirlenmesinde yol gösterici bir veri olarak kullanılabilir. Ancak mezo ve mikro ölçekte çevresel etkiler, sosyopolitik etkiler, planlama kriterleri gibi birçok parametre dikkate alınarak nihai yer seçimi yapılmalıdır. Bunun dışında gerçekleşen piyasa aktörlerinin yönlendirdiği bir enerji yatırım anlayışı beraberinde sürdürülemez bir duruma neden olabileceği gibi günümüzde Türkiye'de HES'lerde yaşanan yer seçimine yönelik tartışmaların RES, GES ve BES gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının da yaşanmasını ortaya çıkaracaktır.

Enerji kaynağının yenilenebilir olması temiz bir enerji kaynağı olduğu anlamına gelmemelidir. Arazi kullanım ilişkisinin kurulduğu, toplumsal ve çevresel etkileri göz ardı etmeyen, diğer planlarla ilişkisini koruyan sektörel amaçlı olmaktan çıkıp holistik yaklaşımı benimseyen yenilenebilir enerji kaynakları için temiz enerji kaynağıdır diyebiliriz. Bu bağlamda ülkeler ulusal politika ve yerel uygulamalarının arasındaki boşlukları doldurarak enerji yer seçiminde holistik bir anlayışı benimsemelidir.

Her bölge veya kentin kaynak potansiyeli aynı olmamaktadır. Örneğin, bir kent güneş enerji potansiyeli bakımından daha iyi olurken rüzgâr veya biyokütle potansiyeli daha az olabilmektedir. Bu tür hibrit yer seçimlerinde potansiyelin fazla olduğu kaynağın ağırlığını daha fazla tutarak öncelik-

ler belirlenebilir. VİKOR yönteminin, farklı parametrelere farklı ağırlıklar atayarak karar alma, sıralama ve yer seçim süreçlerine uygulanabilmesi, farklı senaryolara dayalı mekânsal potansiyel belirlemelerinde sonraki çalışmalar için bir yol gösterici olabilir.

- *Bu makale, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Şehir ve Bölge Planlama Doktora Programı'nda Ahmet Şekeroğlu tarafından Doç. Dr. Demet Erol danışmanlığında yapılan doktora tez çalışması kapsamında üretilmiştir.*

ETİK: Bu makalenin yayınlanmasıyla ilgili herhangi bir etik sorun bulunmamaktadır.

HAKEM DEĞERLENDİRMESİ: Dış bağımsız.

ÇIKAR ÇATIŞMASI: Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir potansiyel çıkar çatışması beyan etmemiştir.

FİNANSAL DESTEK: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

ETHICS: There are no ethical issues with the publication of this manuscript.

PEER-REVIEW: Externally peer-reviewed.

CONFLICT OF INTEREST: The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

FINANCIAL DISCLOSURE: The authors declared that this study has received no financial support.

KAYNAKLAR

- Adıgüzel, F. (2010). CBS uygulamaları II. İstanbul Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi.
- Afgan, N. H., & Carvalho, M. G. (2008). Sustainability assessment of a hybrid energy system. *Energy Policy*, 36(8), 2903–2910. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.040>
- Aktaş, R., Doğanay, M. M., Gökmen, Y., Gazibey, Y., & Türen, U. (2015). Sayısal karar verme yöntemleri (Cilt 1.). Beta Yayıncılık.
- Ayçin, E. (2020). Çok kriterli karar verme: bilgisayar uygulamalı çözümler. Nobel Yayıncılık.
- Baban, S. M. J., & Parry, T. (2001). Developing and applying a gis-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy*, 24(1), 59–71. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00169-5)
- Bagheri, M., Shirzadi, N., Bazdar, E., & Kennedy, C. A. (2018). Optimal planning of hybrid renewable energy infrastructure for urban sustainability: Green Vancouver. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95(July), 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.037>

- Charabi, Y., & Abdul-Wahab, S. (2020). The optimal sizing and performance assessment of a hybrid renewable energy system for a mini-grid in an exclave territory. *AIMS Energy*, 8(4), 669–685. <https://doi.org/10.3934/ENERGY.2020.4.669>
- Chen, C. W., Liao, C. Y., Chen, K. H., & Chen, Y. M. (2015). Modeling and controller design of a semiisolated multiinput converter for a hybrid pv/wind power charger system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(9), 4843–4853.
- Deveci, K., & Güler, Ö. (2020). A CMOPSO based multi-objective optimization of renewable energy planning: Case of Turkey. *Renewable Energy*, 155, 578–590. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.033>
- Diaz-Cuevas, P., Biberacher, M., Dominguez-Bravo, J., & Schardinger, I. (2018). Developing a wind energy potential map on a regional scale using gis and multi-criteria decision methods: The Case of Cadiz (south of Spain). *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(6), 1167–1183. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1539-x>
- International Energy Agency (IEA). (2021). World energy outlook 2021. Fransa, IRENA. www.iea.org/weo (erişim tarihi: 15.03.2022).
- Ioannou, K., Tsantopoulos, G., Arabatzis, G., Andreopoulou, Z., & Zafeiriou, E. (2018). A spatial decision support system framework for the evaluation of biomass energy production locations: Case study in the regional unit of Drama, Greece. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/su10020531>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Energy Profile. Fransa, IRENA. https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Eurasia/Turkey_Eurasia_RE_SP.pdf (erişim tarihi: 15.03.2022)
- Keleş, R. (2019). 100 soruda çevre, çevre sorunları ve çevre politikası (3 b.). Yakın Kitabevi.
- Kılıç, S. (2015). Modern toplumda çevre bilinci üzerine düşünceler. A. Çoban (Dü.) içinde, *Yerel Yönetim, Kent ve Ekoloji* (s. 161–227). İmge Kitabevi.
- Kırcalı, Ş., & Selim, S. (2021). Site suitability analysis for solar farms using the geographic information system and multi-criteria decision analysis: The case of Antalya, Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(4), 1233–1250. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-02018-3>
- Latinopoulos, D., & Kechagia, K. (2015). A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. a regional scale application in Greece. *Renewable Energy*, 78, 550–560. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.041>
- Lee, A. H. I., Lin C. Y., Kang H. Y., & Lee W. H. (2012). An integrated performance evaluation model for the photovoltaics industry. *Energies*, 5, 1271–1291. <https://doi.org/10.3390/en5041271>

- Manwell, J. (2004). Hybrid energy systems. *Encyclopedia of Energy*, 3, 215–229. <https://doi.org/10.1201/9781003159421>
- Noon, C. E., & Daly, M. J. (1996). GIS-based biomass resource assessment with BRAVO. *Biomass and Bioenergy*, 10(2–3), 101–109. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00065-8](https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00065-8)
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2021). *Renewables 2020 global status report*, Paris, REN21 Secretariat, https://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (erişim tarihi: 29.01.2021)
- Shorabeh, S. N., Samany, N. N., Minaei, F., Firozjaei, H. K., Homaei, M., & Bolorani, A. D. (2022). Developing a decision model based on decision tree and particle swarm optimization algorithms to identify optimal locations for solar power plants construction in Iran. *Renewable Energy*, 187, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.011>
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2021). *Enerji piyasası yıllık sektör raporu*. Ankara, EPDK. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu> (erişim tarihi:04.12.2021)
- T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK). (2022). *Elektrik piyasası 2021 yılı piyasa gelişim raporu*. Ankara, EPDK. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu> (erişim tarihi: 04.04.2022)
- Tekeli, İ. (2018). Scientific knowledge and decision-making in planning. A. Eraydin, & K. Frey in, *Politics and conflict in governance and planning* (p. 276). New York, Routledge
- Tempa, U., & Singh, J. G. (2020). Assessment of solar energy potential using GIS and AHP approach: A case study of Bumthang Valley. *2020 International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEE3-2020)*, 705–710.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2021). *Sera gazı emisyon istatistikleri*. Ankara, TÜİK. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196>. (erişim tarihi 15.03.2022).
- United Nations(UN). (2022). *COP26. USA, UN*. <https://uk-cop26.org/wpcontent/uploads/2021/07/COP26-Explained.pdf> (erişim tarihi: 15.03.2022)
- Urban, F., Benders, R. M. J., & Moll, H. C. (2007). Modelling energy systems for developing countries. *Energy Policy*, 35(6), 3473–3482. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.025>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.010>
- Villacreses, G., Gaona, G., Martinez-Gomez, J., & Jijon, 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. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.041>
- Wu, Y., Tao, Y., Zhang, B., Wang, S., Xu, C., & Zhou, J. (2020). A decision framework of offshore wind power station site selection using a PROMETHEE method under intuitionistic fuzzy environment: A case in China. *Ocean and Coastal Management*, 184(October 2019), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105016>
- Xu, Y., Li, Y., Zheng, L., Cui, L., Li, S., Li, W., & Cai, Y. (2020). Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian, China. *Energy*, 207, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118222>.
- Yorlan, A. (2009). Avrupa Birliği'nin enerji politikası ve Türkiye'ye etkileri. *Bilge Strateji*, 1(1), 24–39. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bs/issue/3809/51065>
- Yousefi, H., Hafeznia, H., & Yousefi-Sahzabi, A. (2018). Spatial Site selection for solar power plants using a Gis-based Boolean-Fuzzy Logic Model: A case study of Markazi Province, Iran. *Energies*, 11(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en11071648>
- Yue, C. D., & Wang, S. S. (2006). GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: A case study of the Chigu Area of Southwestern Taiwan. *Energy Policy*, 34(6), 730–742. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.07.003>