

TR83 bölgesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının CRITIC tabanlı gri ilişkisel analiz yaklaşımı ile değerlendirilmesi

Evaluation of renewable energy sources in TR83 region by CRITIC based grey relational analysis approach

A. Cansu GÖK KISA^{1*} 

¹ Uluslararası Ticaret ve Lojistik Yönetimi Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye.
cansugok@hitit.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 24.06.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 09.12.2020

doi: 10.5505/pajes.2021.99389

Kabul Tarihi/Accepted: 22.12.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Hem bölgesel kalkınmanın hem de ekonomik gelişmenin önemli unsurlarından bir tanesi enerji konusudur. Artan nüfusla birlikte enerjiye olan talep artarken ülkeler enerji yatırımlarını planlamada enerjinin tedariki, dağıtımı ve sürdürülebilirliği hususunda çeşitli politikalar geliştirmektedirler. Bu noktada iklim değişikliği ve sera gazı emisyon riskleri dikkate alınarak çevreye en az zararı verecek ve gelecek nesillere aktarılacak yenilenebilir enerji (YE) kaynaklarına olan yatırımlar artmaktadır. Çalışmanın amacı YE yatırımlarının değerlendirilmesine yönelik bir uygulama sunarak TR83 bölgesinde YE kaynaklarının çok kriterli karar verme (ÇKKV) bakış açısıyla incelenmesidir. Bu amaçla CRITIC tabanlı Gri İlişkisel Analiz (GİA) yaklaşımı kullanılarak TR83 bölgesindeki YE kaynaklarının değerlendirilmesi ve performansına göre sıralanması sağlanmıştır. CRITIC yöntemi kriterler için objektif bir ağırlıklandırma yapmaya imkân tanırken, GİA ise eksik bilgi veya belirsizlik içeren problemlerde en iyi alternatifin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Yöntemin sonuçlarına göre bölgesel düzeyde YE yatırımları açısından en iyi düzeyde olan ilin Samsun olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, CRITIC, Gri ilişkisel analiz, TR83 bölgesi.

Abstract

One of the important factors of both regional progress and economic development is energy issue. As the demand for energy increases with the growing population, countries are developing various policies about the supply, distribution and sustainability of energy in planning energy investments. At this point, investments for renewable energy (RE) sources that will cause the least damage to the environment and can be transferred to future generations are increasing considering the climate change and greenhouse gas emission risks. The aim of the study is to analyze RE resources in TR83 region from a multi-criteria decision making (MCDM) perspective by presenting an application for evaluating RE investments. For this purpose, using the CRITIC based Grey Relational Analysis (GRA) approach, it was provided that the RE sources in TR83 region were evaluated and ranked with respect to their performance. While the CRITIC method allows an objective weighting for the criteria, GRA provides to find out the best alternative for problems which include missing information or uncertainty. According to the result of the method, it is observed that the province which is the best in point of RE investments at the regional level is Samsun.

Keywords: Renewable energy, CRITIC, Grey relational analysis, TR83 region.

1 Giriş

Ülkelerin ekonomik bağımsızlığının belirleyici unsurlarından bir tanesi de tüm sektörlerin ortak girdisi olan enerji konusudur. Özellikle endüstriyel üretim sürecinde kullanılan enerji, en önemli maliyet kalemleri arasında yer almakta ve verimliliği etkilemektedir. Hem ekonomik kalkınmanın hem de sosyal refahın sağlanması bakımından enerjinin tedariki, kaynakların yeterli kapasitede olması ve bu kaynaklara yapılan yatırımların planlanması ülkelerin gelecekteki konumları açısından da önemli hale gelmiştir.

Artan enerji talepleri, fosil yakıtların sınırlandırılması, karbondioksit emisyonu artışı ve küresel ısınma gibi riskler hükümetlerin enerji politikalarında yenilenebilir enerji (YE) kaynaklarından yararlanılması ve bu kaynakların çeşitlendirilmesi yoluna gitmelerini beraberinde getirmiştir [1]. Fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin artması, fosil yakıt ithalatına bağımlılığın riskli olması ve YE alternatiflerinin ortaya çıkması nedeniyle çevresel konulara olan farkındalığın artışı, birçok ülkeyi YE kullanımına yönlendirmektedir [2]. Yenilenebilir olan rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, hidrolik gibi enerji kaynaklarının fosil (linyit,

doğalgaz, kömür vb.) enerji kaynaklarına göre çevreye daha az zararlı ve sürdürülebilir yapıda olmaları özellikle gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerin enerji yatırımı planlamalarını bu yönde düzenlemelerini gerektirmektedir.

Doğal YE kaynaklarının kullanılması, Türkiye'nin yabancı enerji kaynaklarına bağımlılığını azaltmak, arz güvenliğini sağlamak ve sera gazı emisyonundaki artışı önlemek için hayati önem taşımaktadır. Türkiye kömür, linyit, petrol, hidroelektrik, doğal gaz, jeotermal, odun, hayvan ve bitki atıkları ve güneş enerjisi gibi oldukça çeşitli enerji kaynaklarına sahiptir. Ancak, bu kaynakların kullanılması ülkenin talebini karşılamak için istenilen düzeyde değildir [3]. Sürdürülebilir kalkınma, YE kaynaklarının kullanılması yoluyla fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, enerji talebinin büyük bir kısmının karşılanması ve su, hava ve toprak kirliliğinin azaltılmasıyla sağlanabilecektir. Bu da kaynaklara yapılan yatırım süreci ile mümkündür [4]. Türkiye'de elektrik enerjisi kurulu gücü içerisinde hidrolik kaynakların oranı %34, doğal gazın %28.3, kömürün %22.1 ve rüzgâr, güneş, jeotermal toplam payı ise %9.4 olarak tespit edilmiştir. Bunların dışında kalan diğer kaynakların payı ise %6.2'dir. 2002-2016 döneminde en büyük

*Yazışılan yazar/Corresponding author

artışın rüzgâr ve jeotermal kaynaklı kurulu güç payında olduğu görülmektedir [5].

11. Kalkınma Planı'na [6] göre ülkemizde 2013 yılında YE kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payı %28.9 iken 2018'de bu oran %32.5'e çıkmıştır. 2023 hedeflerine göre bu oranın %38.8 olması beklenmektedir. Türkiye'deki hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi YE kaynaklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması kaynak çeşitliliğinin sağlanabilmesi bakımından stratejik öneme sahiptir. Bu nedenle 2015-2019 Stratejik Planı kapsamında yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının yükseltilmesi ve aynı zamanda ısı enerjisi kaynağı olarak da kullanımının sağlanabilmesi amaçlanmıştır [7]. Enerji yatırımları projelerinin artmasıyla lojistiğe olan ihtiyacın da arttığı gerçeği dikkate alındığında enerji lojistiği ve proje taşımacılığı sektörünün değer kazandığı görülmektedir. Türkiye'de proje lojistiği pazarı büyüme hızının %10 olmasıyla birlikte lojistik firmalarının enerji sektörüne katkısı artmaktadır. YE santralleri kurulumunda, parçaların taşınmasında, uygun ekipmanın hasarsız tesliminde ve proje bitiminde de yedek parça malzemelerinin taşınmasında enerji lojistiğinin rolü büyüktür [8]. Bu bağlamda enerjide kaynak çeşitliliği hedeflerine ulaşılabilmesi için üretim tesislerinin, enerji tedariki ve dağıtım şebekesinin doğru planlanması gerekmektedir. Doğru proje ve yatırım planlaması verimliliği artırarak enerji lojistiği maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunacaktır.

2011-2023 İklim Değişikliği Eylem Planında iletim ve dağıtım şebekesindeki toplam kayıp oranları OECD ortalamasının üstünde bulunan Türkiye için 2023 yılına kadar elektrik dağıtım kayıplarının %8'e indirilmesi, tüm sektörlerde enerji verimliliğinin ve elektrik üretimindeki YE oranının artırılmasına yönelik bazı hedefler belirlenmiştir. Bunlardan göze çarpanı sürdürülebilir tarımsal üretimde gerek duyulan enerjinin yerel kaynaklar ile sağlanarak enerji maliyetlerinin ve tarımsal üretimin çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması için YE kullanımının özendirilmesidir [9]. Belirlenen hedefler doğrultusunda bölgesel kalkınma ve gelişmeyi desteklemek, ileriki nesillerin kısıtlı doğal kaynaklardan yararlanmasını sağlamak üzere, ekonomik ve sosyal kalkınmayla birlikte çevrenin korunmasına yönelik uygulamalar yapılmaktadır. Emisyon kontrolü, YE kullanımı ve enerji verimliliğinin artırılması, atık yönetimi, çölleşme ve erozyonla mücadele, orman ve deniz gibi korunan alanların genişletilmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması kapsamında alınan önlemler ile Türkiye'nin çevresel göstergelerinin iyileşmesi beklenmektedir. Ayrıca alternatif enerji kaynakları açısından bölgelerin farklı potansiyellerinin olması, yenilenebilir ve yerli kaynaklara dayalı üretim politikaları bölgelere yeni fırsatlar kazandırmaktadır. [10]. Türkiye'nin enerji görünümünde kurulu güç oranlarına bakıldığında %56.6'sının yerli kaynaklardan %43.4'ünün ise ithal kaynaklardan oluştuğu görülmektedir [5]. Bu noktada ithal kaynaklar yerine yerli ve yenilenebilir kaynaklara yapılacak yatırımların artması bölgesel kalkınma açısından da değer taşımaktadır.

Kuşkusuz, ulusal ve uluslararası düzeyde geliştirilen stratejik plan ve politikalar çerçevesinde sürdürülebilirlik ve çevre hedefleri de dikkate alınarak YE kaynaklarına yapılan yatırımların değerlendirilmesi ülkeler ve bölgeler için ciddi önem taşımaktadır. Bu projelerin planlanması bir yandan yatırım yapılacak tesislerin kurulumunun sağlanması ve potansiyelinin değerlendirilmesini bir yandan da enerjinin üretimi, dağıtımı, ulaştırılması gibi lojistik konuları da

kapsamaktadır. Teknolojik ve lojistik zorluklara rağmen, atmosferdeki artan karbondioksit emisyonunun neden olduğu iklim değişikliklerine karşı harekete geçme aciliyeti nedeniyle, YE kaynaklarına gösterilen dikkat tüm dünyada giderek artmaktadır [11]. Bu kapsamda YE kaynaklarına yapılan yatırımların değerlendirilmesinde bölgesel ve ulusal değerlendirmelere ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmektedir. Çalışmanın amacı YE kaynaklarının TR83 bölgesinde ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yaklaşımı kullanılarak değerlendirilmesidir. Bu amaçla, çalışmada belirlenen kriterlerin önem derecesinin belirlenmesinde objektif bir ağırlıklılandırma tekniği olan CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) ve alternatiflerin sıralanmasında performans değerlendirmede kullanılabilen Gri İlişkisel Analiz (GİA) tekniği bütünsel olarak kullanılmıştır. TR83 bölgesinde yer alan Samsun, Tokat, Amasya ve Çorum illerinin bu çerçevede YE kaynakları yatırımlarını değerlendirmek için 7 kriterden faydalanılmıştır. Bunun gibi alternatif ve kriter sayısının fazla olduğu ve birlikte değerlendirilmesini gerektiren karar problemlerine ÇKKV bakış açısıyla çözüm aranabilmektedir. Çalışmanın mevcut YE yatırımlarının performansını bölgesel düzeyde değerlendirmesi ve kullanılan yöntem açısından literatüre katkı sunması hedeflenmektedir.

Çalışmanın giriş bölümünün ardından ikinci bölümde ilgili literatür araştırmasına yer verilmiş olup üçüncü bölümde metodoloji ve dördüncü bölümde TR83 bölgesi için yapılan uygulama sunulmuştur. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları açıklanarak öneri ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2 Literatür araştırması

Literatürde YE kaynaklarına ilişkin yatırımların değerlendirilmesi veya sıralanması amacıyla yapılan çalışmalarda çeşitli ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar genellikle en uygun YE alternatifinin belirlenmesine yönelik uygulamalar içermektedir. Bunlar arasında Kaya ve Kahraman [12], İstanbul için en iyi YE kaynağının seçiminde Bulanık AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci)-VIKOR (VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemini kullanmışlardır. İlgili alanda Türkiye için yapılan çalışmalarda ise Boran ve diğ. [13] Sezgisel Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Ayan ve Pabuççu [14] AHS, Kabak ve Dağdeviren [15] BOCR (Benefit-Opportunity-Cost-Risk) tabanlı ANS (Analitik Network Süreci), Şengül ve diğ. [16] Shannon Entropi ve Bulanık TOPSIS, Büyüközkan ve Güteryüz [17] DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)-ANS, Çelikkilek ve Tüysüz [18] Gri DEMATEL-ANS-VIKOR, Büyüközkan ve Güteryüz [19] Bulanık DEMATEL-ANS-TOPSIS, Çolak ve Kaya [20] Bulanık AHS-Bulanık TOPSIS, Özcan ve diğ. [21] ANS-TOPSIS, Karaca ve Ulutaş [22] Entropi - WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment) yöntemlerinden faydalanmışlardır. Diğer uluslararası çalışmalarda Yi ve diğ. [23] Kuzey Kore'de YE kaynaklarını değerlendirmek için BOCR-AHS yöntemini, San Cristobal [2] İspanya'da uygun YE kaynağı seçiminde AHS-VIKOR yöntemini kullanırken, Sadeghi ve diğ. [24] İran'ın Yazd şehri için 4 YE alternatifi arasından seçim yapmak amacıyla Bulanık AHS-Bulanık TOPSIS yaklaşımını kullanmışlardır. Yazdini-Chamzini ve diğ. [25] AHS-COPRAS (Complex Proportional Assessment), Al Garni ve diğ. [26] AHS, Lee ve Chang [27] Ağırlıklı Toplam-VIKOR, TOPSIS, ELECTRE yöntemleri, Wu ve diğ. [28] kümülatif beklenti teorisine dayalı Bulanık ÇKKV yaklaşımı ile YE kaynağı

seçimi gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan yöntemler arasında bu çalışmada yer alan CRITIC ve GİA yaklaşımına rastlanmaması sebebiyle çalışmanın yönetsel olarak literatüre katkıda bulunması beklenmektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalar genellikle uygun YE kaynağını seçmeye yönelik olduğundan bu yöntemleri kullanılarak bölgesel düzeyde bir sıralama yapılmamıştır. Çalışmada kullanılan CRITIC yöntemi diğer ÇKKV tekniklerinden farklı olarak kriterler arasındaki korelasyona dayalı biçimde objektif bir ağırlıklandırma yapabildiği ile öne çıkmaktadır. Bu yönüyle ağırlıklandırmada oluşabilecek subjektif yargılar da elimine edilmektedir. GİA yöntemi ise sistem içerisindeki eksik bilgiden kaynaklanan belirsizliğin üstesinden gelerek alternatiflerin değerlendirilmesini, çok fazla veri ve karmaşık hesaplamalara ihtiyaç duymadan en iyi olanın belirlenmesini sağlamaktadır.

Diğer yandan YE kaynakları ile ilgili performansın değerlendirilmesine yönelik yürütülen çalışmalara bakıldığında Büyükkökan ve Karabulut [29] enerji projelerinin performansını sürdürülebilirlik açısından incelemek amacıyla AHS-VIKOR yöntemini kullanmış ve bir termal santral ile üç YE santrali projesini performanslarına göre sıralamışlardır. Ayçin ve Arsu [30] ise istatistikî bölge birimleri sınıflandırmasını temel alarak YE kaynaklarını Düzey1 bölgelerine göre değerlendirmek için Entropi-CODAS (Combinative Distance-Based Assessment) yönteminden faydalanmış ve bu bölgelere yönelik performans sıralaması gerçekleştirmişlerdir. Buna ilaveten bu çalışma kapsamında ele alınan TR83 bölgesini YE kaynakları bakımından değerlendiren tek bir çalışmaya rastlanmıştır. Eroğlu ve diğ. [31] bu alanda yaptıkları araştırmada TR83 bölgesinde yer alan illerin YE potansiyelleri, kullanım oranları ve alanlarını ortaya koyan bir değerlendirme sunmuşlardır. Bu kapsamda yapılan çalışmanın bir diğer katkısı da ilgili konuda bölgesel düzeyde bir değerlendirme ortaya koyması olacaktır.

3 Metodoloji

Çalışmada CRITIC ve GİA yöntemleri bütünlük olarak kullanılmıştır. Bu bölümde YE kaynaklarını değerlendirmek için belirlenen kriterleri ağırlıklandırmak amacıyla kullanılan CRITIC yöntemi ve TR83 bölgesi illerini sıralamada yararlanılan GİA yaklaşımı kısaca açıklanmıştır.

3.1 CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi Diakoulaki ve diğ. [32] tarafından finansal performans ölçümü yaptıkları çalışmada kriterleri ağırlıklandırmak amacıyla ortaya konulmuştur. ÇKKV problemlerinde objektif bir ağırlıklandırma tekniği olarak kullanılan CRITIC yöntemi değerlendirme kriterlerinde bulunan bilginin açığa çıkarılması için karar matrisinin analitik olarak incelenmesine dayanmaktadır. Yöntemin adımları aşağıdaki aktarıldığı gibidir [32],[33]:

Adım 1: Karar Matrisi Değerlerinin Normalleştirilmesi: m adet alternatif ve n adet kriterden oluşan karar matrisindeki değerler kriter tipine göre aşağıdaki iki şekilde normalize edilir.

Fayda yönlü kriter için;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij}^{\min}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

Maliyet yönlü kriter için;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}^{\max} - x_{ij}}{x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}} \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Adım 2: Korelasyon Matrisinin Hesaplanması: Kriterler arasındaki ilişkinin gücünü ölçmek amacıyla doğrusal korelasyon katsayıları (ρ_{jk}) hesaplanarak $m \times m$ boyutlu R matrisi oluşturulur.

Adım 3: c_j Değerlerinin Elde Edilmesi: j. kriterde bulunan zıtlık ve çelişkilerin oluşturduğu bilgi miktarını ifade eden c_j değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır. Formüldeki σ_j değeri j. kriterin standart sapmasıdır.

$$c_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}) \quad (3)$$

Adım 4: Ağırlıkların Hesaplanması: Kriterlerin ağırlıklarını hesaplamak için aşağıdaki işlem gerçekleştirilir.

$$w_j = c_j / \sum_{k=1}^n c_k \quad (4)$$

3.2 Gri İlişkisel Analiz (GİA)

GİA yaklaşımı çok kriterli analiz yöntemlerinden birisi olup modelleme, tahminleme ve karar verme gibi alanlarda kullanılabilir. Yöntemdeki gri ilişki kavramı problemi oluşturan elemanlar arasındaki belirsizlikleri tanımlamaktadır [34]. GİA yaklaşımında kriterler için en iyi performansı ifade eden ideal değerler bir referans seti olarak belirlenip, alternatiflerin buna göre karşılaştırılması sağlanmaktadır [35]. Yöntemin uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenmektedir [35]-[37].

Adım 1: Karar Matrisinin (X) Oluşturulması:

$$X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$x_i(j)$, i. alternatifin ($i = 1, \dots, m$) j. kriterine ($j = 1, \dots, n$) göre aldığı değeri göstermektedir.

Adım 2: Normalleştirme: Kriter tipine bağlı olarak aşağıdaki üç duruma göre normalleştirme işlemi yapılır.

Daha yüksek değerlerin daha iyi olması (fayda);

$$x'_i(j) = \frac{x_i(j) - \min x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad (6)$$

Daha düşük değerlerin daha iyi olması (maliyet);

$$x'_i(j) = \frac{\max x_i(j) - x_i(j)}{\max x_i(j) - \min x_i(j)} \quad (7)$$

İdeal değerlerin daha iyi olması;

$$x'_i(j) = 1 - \frac{|x_i(j) - x_0(j)|}{\max x_i(j) - x_0(j)} \quad (8)$$

$x_0(j)$ ideal değeri göstermekte ve $\min x_i(j) \leq x_0(j) \leq \max x_i(j)$ 'dir. Normalleştirme sonrası tüm veriler standart hale getirilerek 0 ile 1 arasında değer almalıdır.

Adım 3: Referans Serisinin Belirlenmesi: Normalize karar matrisi (X') oluşturulduktan sonra n adet kriteri olan x_0 referans serisi belirlenir. Referans serisi için, $x_i(j)$ değerlerinin 1'e en yakın ya da eşit olan değerleri alması tercih edilir. Bunun sebebi 1 değerinin alternatiflerin alabileceği en yüksek değeri temsil etmesidir. Böylelikle referans serisi normalize karar

matrisindeki en yüksek değerler alınarak veya bütün değerler 1'e eşit olacak şekilde elde edilir.

$$y = mx + nX_0 = \{x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)\} \quad (9)$$

Adım 4: Fark Değerlerinin Hesaplanması: Normalize karar matrisindeki değerler ile referans serisi arasındaki fark aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta_{0i}(j) = |x_0(j) - x'_i(j)| \quad (10)$$

Adım 5: Gri İlişkisel Katsayıların Elde Edilmesi: $x_0(j)$ ve $x_i(j)$ arasındaki gri ilişkisel katsayı $\varepsilon(x_0(j), x_i(j))$, aşağıdaki gibi hesaplanır ve değerleri 0 ile 1 arasındadır.

$$\varepsilon(x_0(j), x_i(j)) = \Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max} / \Delta_{0i}(j) + \xi \Delta_{\max} \quad (11)$$

$$|x_0(j) - x_i(j)| \quad (12)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_j |x_0(j) - x_i(j)| \quad (13)$$

Eşitlik (11)'deki ξ simgesi, ayırma katsayısını göstermekte ve $\xi \in [0, 1]$ 'dir. Bu sayı, gri ilişkisel katsayı aralığını genişletmek ya da daraltmak için kullanılmakta olup genellikle 0,5 olarak seçilir.

Adım 6: Gri İlişki Derecesinin Oluşturulması: Gri ilişki derecesi, referans serisi ile karşılaştırılan seri arasındaki benzerlik düzeyini ölçer. Gri ilişki derecesi en yüksek olan alternatif referans setine en yakın alternatifi yani en iyi performansa sahip alternatifi temsil eder.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \varepsilon(x_0(j), x_i(j)) \quad (14)$$

Eğer kriterler farklı önem ağırlıklarına sahipse her bir kriterin gri ilişki katsayısı ağırlığı $w_i(j)$ ile çarpılarak gri ilişki derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\gamma(x_0, x_i) = \sum_{j=1}^n \varepsilon(x_0(j), x_i(j)) * w_i(j) \quad (15)$$

4 Uygulama: TR83 bölgesinde YE kaynaklarının değerlendirilmesi

Uygulama bölümünde CRITIC tabanlı GİA yaklaşımı kullanılarak TR83 bölgesinin YE kaynakları yatırımlarına göre incelenmesi amaçlanmıştır. TR83 bölgesinde yer alan Samsun, Tokat, Amasya ve Çorum illerindeki YE kaynaklarının değerlendirilmesi ve performansına göre sıralanması için öncelikle çalışmada kullanılacak değerlendirme kriterleri tanımlanmıştır. Bu kriterler literatürde yer alan bilgiler ve veri elverişliliği dikkate alınarak oluşturulmuş olup Tablo 1'de sunulmuştur. Bölgede değerlendirilen YE kaynakları ise güneş, rüzgâr, biyokütle (atık ve biyogaz) ile hidrolik enerji olarak ele alınmıştır. TR83 bölgesinde YE kaynaklarında arasında jeotermal güç bulunmaması sebebiyle değerlendirme dışında kalmıştır.

Tablo 1. Değerlendirme kriterleri.

Table 1. Evaluation criteria.

Kod	Kriter Adı	Birim
K ₁	Yıllık enerji üretimi	GWh
K ₂	Toplam kurulu güç	MW
K ₃	Güneş enerjisi kurulu güç/Toplam güç	%
K ₄	Rüzgâr enerjisi kurulu güç/Toplam güç	%
K ₅	Biyokütle enerjisi kurulu güç/Toplam güç	%

K ₆	Hidrolik enerji kurulu güç/Toplam güç	%
K ₇	Üretim/Tüketim oranı	%

Uygulamanın ilk aşamasında CRITIC yöntemi ile kriter ağırlıklarının objektif olarak belirlenebilmesi için öncelikle TR83 bölgesi illerine ait verileri içeren karar matrisi oluşturulmuş olup Tablo 2'de gösterilmiştir. Kriterlere ilişkin veriler T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (enerji.gov.tr) raporları, Türkiye Elektrik İletim AŞ. (teias.gov.tr) istatistikleri [38] ve enerjياتlasi.com [39] üzerindeki bilgilerden derlenmiştir.

Tablo 2. Karar matrisi.

Table 2. Decision matrix.

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
Samsun	5005.00	1400.62	0.12	0.00	2.71	97.10	294.00
Tokat	1932.00	655.00	0.00	19.26	0.35	78.90	188.00
Amasya	687.00	292.39	0.23	43.02	0.75	55.83	103.00
Çorum	844.00	364.99	0.55	0.00	1.37	98.14	84.00

Oluşturulan karar matrisi CRITIC yöntemi adımlarına göre tüm kriterler fayda yönlü olduğu için eşitlik (1) yardımıyla normalize edilmiştir. Daha sonra eşitlikler (3-4) ile çözümleme yapıp kriterlere ilişkin c_j değerleri ve önem ağırlıkları (w_j) hesaplanmıştır. Elde edilen ağırlıklar Tablo 3'te gösterilmektedir. Buna göre en yüksek önemdeki kriter K₄ olurken onu sırasıyla K₃ ve K₆ kriterleri izlemiştir. En düşük önemdeki kriter ise K₅ olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Kriterlere ilişkin ağırlıklar

Table 3. Weights of criteria.

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
c_j	1.73	1.71	3.22	4.48	1.61	2.17	1.87
w_j	0.103	0.102	0.192	0.267	0.096	0.129	0.112

Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra uygulamanın ikinci aşamasında GİA yaklaşımı ile TR83 bölgesi illerinin sıralanmasına ulaşmak için Tablo 2'deki karar matrisi üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tüm kriterler fayda yönlü kriterler olup yöntemin aşamalarına göre öncelikle eşitlik (6) kullanılarak normalleştirme işlemi yapılmıştır. Sonrasında eşitlik (10) ile fark değerleri elde edilmiş ve eşitlikler (11-13) yardımıyla Tablo 4'te gösterilen GİA katsayı matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4. GİA katsayı matrisi.

Table 4. GRA coefficient matrix.

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇
Samsun	1.000	1.000	0.390	0.333	1.000	0.953	1.000
Tokat	0.413	0.426	0.333	0.475	0.333	0.524	0.498
Amasya	0.333	0.333	0.462	1.000	0.376	0.333	0.355
Çorum	0.342	0.349	1.000	0.333	0.468	1.000	0.333

GİA yaklaşımına göre alternatiflerin referans setine olan benzerliğinin yani gri ilişki derecelerinin hesaplanması için CRITIC yönteminden elde edilmiş olan ağırlıklar kullanılarak eşitlik (15) ile ilişki derecelerine ulaşılmıştır. Tablo 5'te alternatiflere ait gri ilişki dereceleri ve buna bağlı oluşturulan sıralama sunulmuştur.

Tablo 5. Alternatiflere ait gri ilişki derecesi ve sıralama.

Table 5. Grey relation degree of alternatives and ranking.

	İlişki der.	Sıra
Samsun	0.70	1
Tokat	0.43	4
Amasya	0.54	3

Buna göre, TR83 bölgesi illerinin YE kaynakları yatırımlarına göre yapılan performans sıralamasında ilk sırayı Samsun ili alırken bunu sırasıyla Çorum, Amasya ve Tokat illeri takip etmiştir.

5 Sonuçlar

Bölgesel kalkınma ve ekonomik gelişmişlik hedefleri doğrultusunda tüm ülkeler enerji yatırımlarını planlarken enerjinin tedariki, dağıtımı ve sürdürülebilirliği konusunda çeşitli politikalar geliştirmektedirler. Bu nedenle iklim değişikliği, küresel ısınma ve sera gazı emisyonu gibi tehditler dikkate alınarak çevreye en az zararı verecek ve gelecek nesillere aktarılacak yenilenebilir enerji (YE) kaynaklarına olan yatırımlar giderek artmaktadır. Çalışmada bu bağlamda öne çıkan YE kaynaklarına olan yatırımların bölgesel düzeyde incelenmesi ve ÇKKV bakış açısıyla değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla TR83 bölgesindeki Samsun, Tokat, Amasya ve Çorum illerinde yapılan YE yatırımlarının performansı CRITIC tabanlı GİA yaklaşımı ile değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında YE kaynaklarını değerlendirmek için belirlenen kriterleri ağırlıklandırmak amacıyla kullanılan CRITIC yöntemine göre en önem verilen kriter K4: Rüzgar enerjisi kurulu güç/Toplam güç kriteri olmuştur. İkinci önemli kriter K3: Güneş enerjisi kurulu güç/Toplam güç ve üçüncü önemli kriter ise K6: Hidrolik enerji kurulu güç/Toplam güç olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda rüzgar enerjisi kurulu gücünün toplam güç içindeki payının YE kaynakları arasında en önem verilen kriter olduğu görülmektedir. Uzun dönemde rüzgâr enerjisi kaynağının enerji üretimine katkısının yüksek olması bakımından bu sonucun tutarlı olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca bölgede devam etmekte olan projeler incelendiğinde rüzgar enerjisi yatırımlarına ait projelerin de artmış olduğu gözlemlenmektedir. Diğer yandan güneş enerjisi gücü kurulumları da yine bölgesel düzeyde talep gören ve devlet tarafından da desteklenen yatırımlar arasındadır.

Uygulamanın ikinci aşamasında gerçekleştirilen GİA yaklaşımı sonuçlarına göre TR83 bölgesi illerinin YE yatırımlarına göre sıralamasına bakıldığında Samsun ilinin en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir. Onu sırasıyla Çorum, Amasya ve Tokat illeri takip etmiştir. Samsun ilinin potansiyeli ve var olan yatırımlar incelendiğinde bölgede daha fazla yatırım alan ve daha fazla kurulu gücü bulunan il olduğu göze çarpmaktadır. Amasya, Çorum ve Tokat illeri ise YE yatırımları bakımından bölgede yeni yatırımlar almaya devam etmektedir. Bu noktada Çorum ve Amasya'nın birbirine yakın sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Çalışmada yapılan sıralamanın mevcut durumu da desteklediği anlaşılmaktadır.

YE kaynakları bakımından zengin bir ülke olarak kabul edilen Türkiye, bu kaynakların bölgesel düzeyde potansiyellerini inceleyerek ve yatırımlarını artırarak hem çevresel hedeflere ulaşmada hem de ithal kaynaklara olan bağımlılığını azaltmada önemli adımlar atmış olacaktır. TR83 bölgesi için bölgesel kalkınmaya destek olabilecek nitelikteki YE yatırımlarının değerlendirilmesi, bölgenin enerji talebini karşılama potansiyelinin araştırılarak buna yönelik teşvikler verilmesi aynı zamanda enerji projelerinin inşasında yer alacak sektörleri de canlandıracaktır. Bu çerçevede öne çıkan enerji lojistiği ve proje taşımacılığı sektörünün daha da değer

kazanacağı ve istihdama katkıda bulunacağı görülmektedir. Yapılan çalışma bölgesel düzeyde bir değerlendirme ve mevcut durumu görebilme açısından ÇKKV bakış açısıyla CRITIC ve GİA yöntemlerini kullanmasıyla literatüre katkıda bulunacaktır. Bu alanda yapılan çalışmalarda bahsedilen yöntemlerin yer almadığı göze çarpmaktadır. Çalışmada pratik ve uygulanabilir bir metodoloji ortaya konulmuş olup gelecek araştırmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

Çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. Çalışmada veri elverişliliği doğrultusunda 7 değerlendirme kriteri kullanılmıştır. Performansı ve bölgenin potansiyelini değerlendirebilecek farklı kriterler ile uygulama yapılması daha farklı sonuçlar doğurabilecektir. Bu alandaki uzmanlar tarafından önerilebilecek farklı kriterler ilerde dikkate alınarak çözüm yapılabilir. Uygulama kapsamında TR83 bölgesi ele alındığı için alternatif sayısı 4 ile sınırlı kalmıştır. Çalışma daha da genişletilip doğru verilere ulaşılabilirdiği takdirde daha kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilebilecektir. İleriki çalışmalarda farklı ÇKKV teknikleri kullanılarak da literatüre katkı sağlanabilecektir.

6 Conclusions

In line with the goals of regional improvement and economic development, all countries are developing various policies on energy supply, distribution and sustainability while planning their energy investments. For this reason, investments for renewable energy (RE) resources that will cause the least damage to the environment and can be transferred to future generations are increasing considering the threats such as climate change, global warming and greenhouse gas emissions. In this context the aim of the study is to examine the investments in RE resources at the regional level and to evaluate them from a MCDM (multi-criteria decision making) point of view. For this purpose, the performance of RE investments placed in Samsun, Tokat, Amasya and Çorum provinces in the TR83 region was evaluated with a CRITIC based GRA (Grey Relational Analysis) approach.

Within the scope of the study, the most important criterion according to the CRITIC method used to weigh the criteria determined is K4: Installed wind power / Total power criterion. The second important criterion is K3: Installed solar power/ Total power and the third important criterion is K6: Installed hydraulic power / Total power. In this context, it is seen that the share of installed wind power in total power is the most important criterion among RE sources. It can be said that this result is consistent in point of the high contribution of wind energy source to energy production in the long term. Additionally, when the ongoing projects in the region are examined, it is observed that the projects for wind energy investments have also increased. On the other hand, solar power installations are also popular investments that are demanded at the regional level and supported by the government.

With respect to the results of the GRA approach performed in the second phase of the application, when the TR83 region provinces are ranked according to RE investments, it is seen that Samsun province has the best performance. It is followed by the provinces of Çorum, Amasya and Tokat respectively. When the potential of Samsun province and existing investments are observed, it stands out as the province that receives more investments and has more installed power in the relevant region. Amasya, Çorum and Tokat provinces continue to get new RE investments in the region. At this point, it is seen

that Çorum and Amasya have similar results. It is understood that the ranking in the study also supports the current situation.

Turkey which is considered as a rich country in terms of RE sources, will have made significant steps in reducing both its dependence to imported resources and accessing to environmental goals by examining the potential of these resources at the regional level and increasing their investments. Evaluating RE investments that can support regional development for the TR83 region, searching the potential of the region to meet the energy demand, and providing incentives toward this will also stimulate the sectors that will take part in the construction of energy projects. It is observed that the energy logistics and project transportation sectors, which come forward in this context, will gain more value and contribute to employment. This study will contribute to the literature by using CRITIC and GRA methods from the perspective of MCDM in order to evaluate at the regional level and to see the current situation. It is standing out that the mentioned methods are not applied in the studies conducted in this field. In this study, a practical and feasible methodology has been introduced and it is aimed enlighten on future research.

The study has some limitations. In the study, 7 evaluation criteria were used in line with data availability. Applying with different criteria that can evaluate the performance and potential of the region may have different results. By considering different criteria that may be suggested by experts in this area, another solution can be made in future. As the TR83 region was considered within the scope of the application, the number of alternatives was limited to 4. If the study is expanded and the correct data can be obtained, a more comprehensive examination can be carried out. In future studies, it will be possible to contribute to the literature by using different MCDM techniques.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada A. Cansu GÖK KISA tarafından makalenin oluşması için gerekli tüm katkı ve değerlendirmeler sağlanmıştır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

- [1] Aslani A, Helo P, Naaranoja M. "Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: system dynamics approach". *Applied Energy*, 113, 758-765.
- [2] San Cristóbal JR. "Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method". *Renewable Energy*, 36(2), 498-502, 2011.
- [3] Barış K, Küçükali S. "Availability of renewable energy sources in Turkey: Current situation, potential, government policies and the EU perspective". *Energy Policy*, 42, 377-391, 2012.
- [4] Pırlogea C. "Barriers to Investment in Energy from Renewable Sources". *Economia: Seria Management*, 14(1), 132-140, 2011.
- [5] ETKB. "Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü". Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı, 15, Ankara, Türkiye, 2017.

- [6] TC Strateji ve Bütçe Başkanlığı. "Onbirinci Kalkınma Planı (2019-2023)". TC Cumhurbaşkanlığı, Ankara, Türkiye, 2019.
- [7] ETKB. "Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı". Ankara, Türkiye, Güncellenmiş Versiyon 2017.
- [8] UTİKAD. "Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenleri Derneği". <https://www.utikad.org.tr/Detay/Sektor-Haberleri/11139/lojistikte-yeni-buyume-alani-enerji>, (24.04.2020).
- [9] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. "Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023". Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [10] Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı. "Bölgesel Gelişme Ulusal Stratejisi 2014-2023". TC Kalkınma Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2016.
- [11] Angelis-Dimakis A, Markus B, Dominguez J, Fiorese G, Gadocha S, Gnansounou E, Guariso G, Kartalidis A, Panichelli L, Pinedo I, Robba M. "Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1182-1200, 2011.
- [12] Kaya T, Kahraman C. "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul". *Energy*, 35(6), 2517-2527, 2010.
- [13] Boran FE, Boran K, Menlik T. "The evaluation of renewable energy technologies for electricity generation in Turkey using intuitionistic fuzzy TOPSIS". *Energy Sources, Part B: Economics Planning Policy*, 7(1), 81-90, 2012.
- [14] Pabuccu H, Yakıcı Ayan T. "Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım projelerinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirilmesi". *Süleyman Demirel Üniversitesi İİBF Dergisi*, 18(3), 89-110, 2013.
- [15] Kabak M, Dağdeviren M. "Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology". *Energy Conversion and Management*, 79, 25-33, 2014.
- [16] Şengül Ü, Eren M, Eslamian Shiraz S, Gezder V, Sengül AB. "Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey". *Renewable Energy*, 75, 617-625, 2015.
- [17] Büyüközkan G, Güteryüz S. "An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey". *International Journal Production Economics*, 182, 435-448, 2016.
- [18] Çelikbilek Y, Tüysüz F. "An integrated grey based multi-criteria decision making approach for the evaluation of renewable energy sources". *Energy*, 115, 1246-1258, 2016.
- [19] Büyüközkan G, Güteryüz S. "Evaluation of renewable energy resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations". *Energy*, 123, 149-163, 2017.
- [20] Olak M, Kaya İ. "Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 840-853, 2017.
- [21] Özcan E, Eren T, Ünlüsoy S. "ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi". *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 5(2), 204-219, 2017

- [22] Karaca C, Ulutas A. "Entropi ve Waspas yöntemleri kullanılarak Türkiye için uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi". *Ege Akademik Bakış*, 18(3), 483-494, 2018.
- [23] Yi SK, Sin HY, Heo E. "Selecting sustainable renewable energy source for energy assistance to North Korea". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 554-563, 2011.
- [24] Sadeghi A, Larimian T, Molabashi A. "Evaluation of renewable energy sources for generating electricity in province of yazd: a fuzzy mcdm approach". *Procedia- Social Behavioral Science*, 62, 1095-1099, 2012.
- [25] Yazdani-Chamzini A, Fouladgar MM, Zavadskas EK, Moini SHH. "Selecting the optimal renewable energy using multi criteria decision making". *Journal of Business Economics Management*, 14(5), 957-978, 2013.
- [26] Al Garni H, Kassem A, Awasthi A, Komljenovic D, Al-Haddad K. "A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia". *Sustainable Energy Technology Assessments*, 16, 137-150, 2016.
- [27] Lee HC, Ter Chang C. "Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 883-896, 2018.
- [28] Wu Y, Xu C, Zhang T. "Evaluation of renewable power sources using a fuzzy MCDM based on cumulative prospect theory: A case in China". *Energy*, 147, 1227-1239, 2018.
- [29] Büyüközkan G, Karabulut Y. "Energy project performance evaluation with sustainability perspective". *Energy*, 119, 549-560, 2017.
- [30] Ayçin E, Arsu T. "CODAS ve entropi yöntemleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının düzey 1 bölgelerine göre incelenmesi". *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(18), 425-447, 2019.
- [31] Eroğlu İ, Çoban MN, Kangal N. "Temiz Enerji Kapsamında TR83 Bölgesinin Değerlendirilmesi". *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(13), 83-105, 2017.
- [32] Diakoulaki D, Mavrotas G, Papayannakis L. "Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method". *Computers and Operations Research*, 22(7), 763-770, 1995.
- [33] Jahan A, Mustapha F, Sapuan SM, Ismail MY, Bahraminasab M. "A framework for weighting of criteria in ranking stage of material selection process". *International Journal of Advance Manufacturing Technologies*, 58(1-4), 411-420, 2012.
- [34] Chen MF, Tzeng GH. "Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country". *Mathematical and Computer Modelling*, 40(13), 1473-1490, 2004.
- [35] Zhai LY, Khoo LP, Zhong ZW. "Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis". *Expert Systems with Applications*, 36(3), 7072-7079, 2009.
- [36] Kuo Y, Yang T, Huang GW. "The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems". *Computers and Industrial Engineering*, 55(1), 80-93, 2008.
- [37] Wu CR, Lin CT, Tsai PH. "Evaluating business performance of wealth management banks". *European Journal of Operational Research*, 207(2), 971-979, 2010.
- [38] Türkiye Elektrik İletim AŞ. "Elektrik İstatistikleri". <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (24.04.2020).
- [39] Enerji Atlası. "İllere Göre Kurulu Güç ve Elektrik Tüketimi". <https://www.enerjiatlasi.com/sehir/> (24.04.2020).