



**CODAS VE ENTROPİ YÖNTEMLERİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAKLARININ DÜZEY 1 BÖLGELERİNE GÖRE İNCELENMESİ**

Dr. Öğr. Üye. Ejder AYÇİN*
Dr. Öğr. Üye. Talip ARSU**

ÖZ

Dünya'daki enerji üretimi ağırlıklı olarak fosil kaynaklı yakıtlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Fakat fosil kaynaklı yakıtlar doğada sınırsız olarak bulunmamasının yanı sıra ekolojik doğal dengeyi de olumsuz yönde etkilemektedir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) ise fosil yakıtlardan elde edilen enerjiye göre hem ekolojik hem de ekonomik anlamda büyük kazanımlar sağlamaktadır. Bu kazanımların farkına varan ülkeler enerji politikalarında YEK'lere daha fazla önem vermektedir. Türkiye gibi YEK'lere elverişli kaynaklara sahip ve gelişmekte olan ülkeler yenilenebilir enerjinin geleceğinde söz sahibi olmaya adaydırlar. Bu açıdan Türkiye gibi ülkelerin YEK performanslarına göre değerlendirmek gelecek için yararlı bilgiler sağlayacaktır. Fakat bu değerlendirmeyi yaparken Türkiye'yi bir bütün olarak ele almak yerine birbirinden farklı YEK potansiyellerine sahip bölgeler olarak ele almak daha yerinde olacaktır. Bu noktadan hareketle çalışmanın amacı Türkiye'deki Düzey 1 bölgelerinin YEK performanslarına göre değerlendirilmesi olarak belirlenmiştir. Bu amaçla Düzey 1 bölgeleri Entropi ve CODAS yöntemleri bütünlük olarak kullanılarak incelenmiştir. Entropi yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre en önemli kriterler sırasıyla, güneş enerjisi kurulu gücü/toplam kurulu güç, rüzgar enerjisi kurulu güç ve güneş enerjisi kurulu güç kriterleri olarak belirlenmiştir. CODAS yöntemi sonuçlarına göre, sırasıyla TR5- Batı Anadolu, TR3- Ege ve TR7-Orta Anadolu bölgeleri ilk üç sırada yer alırken, TRA- Kuzeydoğu Anadolu, TR1- İstanbul ve TR4- Doğu Marmara bölgeleri son üç sırada yer almıştır.

Anahtar Kelimeler: CODAS, Entropi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

**INVESTIGATION OF THE RENEWABLE ENERGY SOURCES BY CODAS AND ENTROPY
METHODS ACCORDING TO LEVEL 1 REGIONS**

ABSTRACT

Energy production in the world is mainly carried out by using fossil fuels. However, fossil fuels are not found in nature without limitation, but they also affect ecological natural balance negatively. Renewable Energy Sources (RES) provide great gains both ecologically and economically according to the energy obtained from fossil fuels. The countries that realize these gains give more importance to YEKs in their energy policies. Possess sufficient resources to developing countries such as Turkey are candidates niece to have a say in the future of renewable energy. In this respect, according to assess the RES performance of countries such as Turkey will provide useful information for the future. But while this assessment, Turkey rather than take it as a whole, to address the region have different potential RES from each other would be more appropriate. From this point of view, the aim of this study level 1 regions in Turkey was determined to be evaluated according to their performance RES. For this purpose, level 1 regions were investigated by using integrated Entropy and CODAS methods. According to the results of the Entropy method, it is concluded that the most important criteria are Solar

* Munzur Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, E-mail: eaycin@munzur.edu.tr. ORCID: 0000-0002-0153-8430

** Aksaray Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, E-mail: taliparsu@aksaray.edu.tr. ORCID: 0000-0002-2580-166X

Energy Installed Capacity/Total Installed Capacity, Wind Energy Installed Capacity and Solar Energy Installed Capacity As a result of CODAS method, TR5- Batı Anadolu, TR3- Ege and TR7- Orta Anadolu regions ranked first three respectively, while TRA- Kuzeydoğu Anadolu, TR1- İstanbul and TR4- Doğu Marmara regions were ranked in the top three.

Keywords: CODAS, Entropy, Renewable Energy Source

GİRİŞ

Enerji, ülkelerin gelişmesinde ve insan hayatı üzerinde hayati bir rol oynamaktadır. Ancak, yüksek fosil yakıt tüketimi, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarının artması gibi ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Lee ve Chang 2018: 883). Fosil yakıtların yüksek miktarlarda kullanımı, yalnızca çevresel sorunlar olarak ülkelerin karşısına çıkmamaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılık petrol rezervlerinin kısıtlı olması, katı yakıt rezervlerinin lojistik maliyetlerinin fazlalığı ve petrol fiyatlarındaki volatilité gibi diğer ekonomik ve sosyal sorunları da beraberinde getirmektedir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) bu sorunların hepsine çözüm olmakla birlikte politik, ekonomik ve etik avantajlar sağlamaktadır. YEK kullanımı, sera gazı emisyonlarında düşüş, birincil enerji kaynaklarının daha fazla güvenlik arz etmesi, uzun vadede enerji maliyetlerinin dengelenmesi, hammadde maliyetlerinde düşüş ve teknolojik yenilikler nedeniyle yüksek dönüşüm verimliliği avantajlarına sahiptir (Bigerna vd. 2015: 31). Bu sorunların ve avantajların farkına varan gelişmiş ülkeler enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanabilmesi için bir dizi önlemler almaktadır.

Avrupa Birliği (AB) YEK'ler konusunda büyük atılımlar yapmaktadır. 2016 yılı verilerine göre AB'de üretilen toplam enerji içerisindeki yenilenebilir enerjinin payı %30,15 olarak gerçekleşmiştir (Renewable Energy Directive 2018). Toplam enerji içerisindeki yenilenebilir enerjinin payı Türkiye'de de %33,01 olarak gerçekleşmiştir (EPDK 2017). Fakat çevreye etkisi en fazla YEK olan hidrolik enerjinin toplam yenilenebilir enerji içerisindeki payı Türkiye'de %74,49 iken, AB'de ise bu oran %41,8 olarak gerçekleşmiştir. Yani Türkiye yenilenebilir enerji konusunda AB'nin ilerisinde görünse de, çevreye etkisi en az enerji türleri olan güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal enerji konusunda AB'nin bir hayli gerisinde kalmış durumdadır.

Türkiye yenilenebilir enerji konusunda büyük bir potansiyele sahip olsa da bu potansiyel yenilenebilir enerji kaynağına göre farklı bölgelerde yoğunlaşmıştır. Bu yüzden bu çalışmada YEK'ler İstatistikî Bölge Birimleri Sınıflandırması (İİBS) Düzey 1 bölgelerine göre incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken önce Entropi yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, sonra ise CODAS (Combinative Distance-Based Assessment) yöntemiyle Düzey 1 bölgeleri sıralanmıştır.

1. Literatür Taraması

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri çok ve birbirleri ile çelişen kriterlere sahip birçok gerçek dünya probleminde uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır. CODAS yöntemi Boltürk ve Kahraman (2018) tarafından sezgisel bulanık kümeler yöntemi ile birlikte rüzgar enerjisi santrali yer seçiminde, Pamucar, Badi vd. (2018) tarafından enerji üretim teknolojisi seçiminde kullanılmıştır. Entropi yöntemi ise Şengül vd. (2015) tarafından bulanık TOPSIS yöntemi ile birlikte YEK sıralamasında kullanılmıştır. Entropi ve CODAS yöntemlerinin birlikte kullanıldığı

Ayyıldız ve Yalçın (2018)'in çalışmasında Türkiye'de yer alan lojistik dostu şehirler belirlenmiştir. Fakat Entropi ve CODAS yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı YEK'ler hakkında bir çalışmaya literatürde rastlanamamıştır.

Dünya'da ve Türkiye'de YEK'leri değerlendirmek, önceliklendirmek ve sıralamak için CODAS ve Entropi dışındaki diğer ÇKKV yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. YEK alternatifleri arasından seçim yapma problemi için Kaya ve Kahraman (2010) bulanık AHP ve VIKOR, Li-bo ve Tao (2014) AHP ve VZA, Tasri ve Susilawati (2014) bulanık AHP, Büyüközkan ve Güteryüz (2016) DEMATEL ve ANP, Çolak ve Kaya (2017) AHP ve TOPSIS kullanmıştır. YEK alternatiflerini değerlendirme problemi için Haralambopoulos ve Polatidis (2003) PROMETHEE, Kahraman vd. (2009) bulanık AHP, Cristóbal (2011) VIKOR ve bulanık AHP, Ertay vd. (2013) MACBETH ve AHP, Trolborg vd. (2014) PROMETHEE, Garni vd. (2016) AHP, Büyüközkan ve Güteryüz (2017) DEMATEL, ANP ve TOPSIS, Büyüközkan ve Karabulut (2017) VIKOR ve AHP, Kabak ve Dagdeviren (2014) ANP ve BOCR kullanmıştır.

Bu çalışmada YEK performanslarına göre İBBS Düzey 1 sınıflandırmasındaki bölgeler incelenmiştir. Mevcut literatürde YEK performanslarına göre bölgelerin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu çalışmada YEK performanslarına göre yapılacak bölgesel değerlendirmenin hem bölgelerin yenilenebilir enerji potansiyeli hakkında bilgi sahibi olmaya katkı sağlayacağı, hem de CODAS ve Entropi yöntemlerinin bütünleşik olarak bir YEK çalışmasında kullanılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Dünya'da YEK'ler rüzgar, güneş, jeotermal, hidrolik, biyokütle (atık depolama sahasından elde edilen gaz, atık su artımı çıktısından elde edilen gaz ve biyogaz), dalga ve gelgit olarak sınıflandırılmaktadır (Bigerna vd. 2015). Fakat, Türkiye'de bu YEK'lerden sadece rüzgar, güneş, jeotermal, hidrolik ve biyokütleden elektrik üretilmektedir. Bu yüzden bu çalışmada sadece bu YEK'ler ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir.

1.1. Hidrolik Enerji

Hidroelektrik, hareketli su enerjisinden elde edilen bir elektrik üretim türüdür. Akan su, türbinler kullanılarak yakalanıp elektrige dönüştürülebilir enerji oluşturur. En yaygın hidroelektrik üretim kaynağı barajlar ve akarsulardır, ancak daha yeni kaynaklar olan dalga ve gelgit Dünya'da üretim içindeki payını her geçen gün biraz daha arttırmaktadır. Hidrolik enerjiden elektrik üretmek için kullanılacak yerçekimi kuvveti ile yukarıdan aşağıya doğru hareket eden su kaynağındaki (baraj, akarsu) akıştan yararlanılır (Ellabban vd. 2014).

Türkiye'de hidrolik enerji ile üretilen elektriğin %73.2'si barajlar kullanılarak üretilmektedir (EPDK 2017). Hidrolik enerjinin Türkiye'de en yoğun olarak üretildiği en büyük iki akarsuya (Fırat ve Dicle nehirleri) sahip olan TRC- Güneydoğu Anadolu bölgesidir. TR1- İstanbul bölgesinde ise hidrolik enerjiden elektrik üretilmemektedir.

1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgâr enerjisi 2004-2015 döneminde dört kattan fazla artmıştır ve şu anda Avrupa'da kullanılan yenilenebilir elektriğin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Karadaki rüzgâr dağılımı bu yıllarda beklenen düzeye oldukça yakın gerçekleşmiştir. Rüzgâr enerjisinin karada yayılmasında en büyük katkı Almanya ve İspanya'dan gelmiştir. Açık deniz rüzgârında ise İsveç, Almanya, Birleşik Krallık ve Danimarka öngörülen enerjinin üzerinde katkı sağlamıştır (European Commission 2017).

Türkiye'de kara rüzgarları ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Türkiye'de rüzgar enerjisinden en çok elektrik üretilen bölge en fazla rüzgar potansiyeline sahip olan TR3- Ege bölgesidir. TR9- Doğu Karadeniz, TRA- Kuzeydoğu Anadolu ve TRB- Ortadoğu Anadolu bölgelerinde rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi gerçekleştirilmemektedir.

1.3. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, fotovoltaik ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi olarak ikiye ayrılmaktadır. Fotovoltaik sistemler güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için piller kullanır. Bu sistem parlak güneş ışığına ihtiyaç duymaz, bulutlu günlerde de elektrik üretebilir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi, konsantre güneş radyasyonu teknolojisi kullanarak üretim yapmaktadır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi santralleri, çoğunlukla tarım için kullanılmayan, ekilmemiş ve güneş ışığının yoğun olduğu, bulutsuz alanlara kurulur (EREC 2010).

Türkiye'de yaygın olarak fotovoltaik santraller bulunmaktadır. Çünkü bulutlu günlerde de elektrik üretilmediği için fotovoltaik santraller daha verimli bir üretim gerçekleştirilmektedir. Türkiye'de en fazla güneş enerjisiyle elektrik üretimi sırasıyla TR5- Batı Anadolu, TR3- Ege ve TR6- Akdeniz bölgelerinde gerçekleştirilmektedir. Türkiye'nin en az güneş alan bölgelerinden birisi olan TR9- Doğu Karadeniz bölgesinde ise güneş enerjisi ile elektrik üretimi gerçekleştirilmemektedir.

1.4. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, jeolojik oluşumlara (örneğin, fosil yakıtlar) gömülü olanlar hariç, bitki veya hayvan atıklarıdır. Biyokütleden elektrik üretmek için çeşitli biyokütle hammaddeleri kullanılabilir ve geleneksel biyokütle ve modern biyokütle olarak ayırt edilebilir. Geleneksel biyokütle, genellikle çok düşük verime sahip konut ocaklarında, yemek pişirmek ve ısıtmak için kullanılan odun, kömür, hayvan gübresi ve tarımsal kalıntıları ifade eder (Edenhofer vd. 2013). Modern biyokütle ise, tarımsal (bitkisel ve hayvansal maddeler dâhil), ormancılık ve ilgili endüstrilerin biyolojik olarak parçalanabilen atıkları ile endüstriyel ve belediye atığının biyo-bozunur türlerini içermektedir (Bigerna vd. 2015: 32).

Türkiye'de biyokütle enerjisinden elektrik üretimi genellikle atık depolama sahalarından elde edilen biyogaz ve büyük fabrikaların organik atıklarından elde edilen biyogaz ile yapılmaktadır. Biyogazdan elektrik üretimi en fazla TR2- Batı Marmara bölgesinde, en az elektrik üretimi TR9- Doğu Karadeniz bölgesinde gerçekleştirilmektedir.

1.5. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, elektrik enerjisi, ısıtma veya endüstriyel buhar üretimi için kullanılan, yerküreden edinilen doğal ısı olarak tanımlanmaktadır. Temiz, yenilenebilir bir kaynaktır. Çünkü Dünya'nın içinden çıkan ısı sınırsızdır. Jeotermal enerjinin kaynağı olan Dünya'nın ısı, günün 24 saati, yılın 365 günü kullanılabilir. Diğer YEK'lerin aksine, günlük ve mevsimsel dalgalanmalar ve hava değişimleri gibi bir dizi faktöre bağlı değildir. Bu nedenlerden dolayı, jeotermal enerjiden elde edilen elektrik diğer birçok elektrik türünden daha fazla arz güvenliği sağlar (Riva vd. 2012).

Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından oldukça elverişli bir ülkedir. Türkiye, Çin, Japonya, ABD ve İzlanda'nın ardından jeotermal ısı sıralamasında beşinci sırada yer almaktadır (Kılıç ve Kılıç 2013). Fakat buna rağmen Türkiye'de yoğun bir miktarda TR3- Ege bölgesinde, çok az miktarda da TR2- Batı Marmara bölgesinde jeotermal enerjiden elektrik üretilmektedir. Diğer bölgelerde de elverişli alanlar bulunmasına rağmen jeotermal enerjiden elektrik üretimi yapılmamaktadır.

2. Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada uygulama verileri analiz edilirken Entropi ve CODAS yöntemleri bütünlük olarak kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılması ile ilgili literatür incelendiğinde, subjektif yargıların yoğun olarak kullanıldığı uzman görüşüne dayalı AHP ve benzeri yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle kriterlerin önem ağırlıkları, objektif bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olan Entropi yöntemiyle hesaplanmıştır. Daha sonra YEK'lerin İBBS Düzey 1 sınıflandırmasına göre sıralamaları CODAS yöntemiyle elde edilmiştir.

2.1. Entropi

Entropi kavramı, evrende kendi haline ve doğal şartlara bırakılan tüm sistemlerin zaman içerisinde dağınıklığa ve düzensizliğe uğrayıp bozulması olarak tanımlanmıştır. Sonraki yıllarda Shannon bu kavramı, kesikli olasılık dağılımı ile açıklanmış ve belirsizliğin bir ölçüsü olarak tanımlanmıştır (Zhang vd. 2011: 444).

Çok kriterli karar verme problemlerinde kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan objektif karar yöntemlerinden biri olan Entropi yöntemi, hesaplamalar esnasında yalnızca karar matrisindeki verileri kullanması ve başka herhangi bir subjektif değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaması nedeniyle literatürde yer alan çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Entropi yöntemi dört aşamadan oluşan bir uygulama sürecine sahiptir (Erol ve Ferrell 2009: 1196-1197; Wang ve Lee 2009: 8982; Özdağoğlu vd. 2017: 346-347)

1. Aşama: Karar Matrisinin Oluşturulması: Yöntemin ilk aşamasında x_{ij} değerlerinden oluşan ve D ile simgelenen karar matrisi Eşitlik (1)'de gösterilen şekilde oluşturulur.

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

Eşitlik (1)'de yer alan x_{ij} değerleri, j. değerlendirme kriterine göre i. alternatifin aldığı değerleri göstermektedir. (i, karar alternatifi sayısı $i = 1, 2, \dots, m$; j ise değerlendirme kriteri sayısı $j = 1, 2, \dots, n$ sayısı).

2. Aşama: Karar Matrisinin Normalizasyonu: Karar problemlerinde yer alan farklı birimlere sahip kriterlere ilişkin değerlerin, Eşitlik (2)'den yararlanılarak normalizasyon işlemiyle $[0, 1]$ aralığında değer alması sağlanmalıdır.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall i, j \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de yer alan p_{ij} değerleri, j. değerlendirme kriterine göre i. alternatifin aldığı normalize değeri göstermektedir.

3. Aşama: Kriterlere İlişkin Entropi Değerlerinin Bulunması: Bu aşamada her bir değerlendirme kriterinin Entropi değerleri (e_j), Eşitlik (3)'te gösterilen şekilde hesaplanır.

$$e_{ij} = -k \cdot \sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Eşitlik (3)'te yer alan k değeri $k = (\ln(m))^{-1}$ olarak tanımlanan sabit bir katsayıdır ve $0 \leq e_j \leq 1$ olacak şekilde değer alır. e_j değeri, j. kriterin belirsizlik ölçüsü ya da diğer bir ifadeyle Entropi değeri olarak tanımlanır.

4. Aşama: Entropi Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması: Yöntemin son aşamasında her bir kriterin Entropi değerlerinden yararlanılarak, kriterlerin ağırlık değerleri (w_j) Eşitlik (4)'te gösterilen şekilde hesaplanır

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (4)$$

2.2. CODAS

CODAS yöntemi, Ghorabae vd. tarafından 2016 yılında ÇKKV literatürüne kazandırılan ve karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme uzaklıklarını dikkate alan hesaplamalara dayalı bir yöntemdir (Ghorabae vd. 2016).

CODAS yönteminde, karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme uzaklıkları iki ölçü kullanılarak belirlenir. Ana ve birincil ölçüm, alternatiflerin negatif ideale olan Öklid uzaklığıdır. Bu tür bir mesafeyi kullanmak, kriterler için bir l2-norm kayıtsızlık alanı gerektirir. İkinci ölçüm ise, l1-norm kayıtsızlık alanıyla ilişkili olan Taxicab mesafesidir. Negatif ideal çözümden en uzak olan alternatif daha caziptir. Eğer iki karar alternatifi Öklid mesafesi açısından kıyaslanamaz durumda (eşit veya çok yakın değerlere sahip) ise, ikincil ölçü olan Taxicab uzaklığı dikkate alınır (Ghorabae vd. 2016: 29).

CODAS yöntemi yedi aşamadan oluşan bir uygulama sürecine sahiptir (Ghorabae vd. 2016; Mathew ve Sahu 2018; Bakır ve Alptekin 2018; Ayyıldız ve Yalçın 2018).

1. Aşama: Karar Matrisinin (X) Oluşturulması: n adet karar alternatifi ve m adet değerlendirme kriterinden oluşan karar matrisi eşitlik (5)'te gösterilmiştir.

$$X = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Karar matrisindeki x_{ij} değerleri ($x_{ij} \geq 0$ olmak üzere), i. karar alternatifinin j. kriterine göre performans değerini göstermektedir.

2. Aşama: Karar Matrisinin Normalizasyonu: Fayda yönlü kriterler için Eşitlik (6), maliyet yönlü kriterler için ise Eşitlik (7)'den yararlanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad (6)$$

$$n_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad (7)$$

3. Aşama: Karar Matrisinin Ağırlıklandırılması: Bu aşamada, bir önceki aşamada normalize edilen karar matrisi Eşitlik (8)'den yararlanılarak, kriterlerin önem ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = n_{ij} \cdot w_{ij} \quad (8)$$

Eşitlik (8)'deki w_{ij} değerleri ($0 \leq w_{ij} \leq 1$ olmak üzere), j. kriterin önem ağırlığını göstermektedir.

4. Aşama: Negatif İdeal Çözüm Noktasının Belirlenmesi: Ağırlıklandırılmış karar matrisinin her sütununda yer alan en küçük değerler seçilerek, negatif ideal çözüm noktaları Eşitlik (9)'da gösterilen şekilde belirlenir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad ns_j = \min_i r_{ij} \quad (9)$$

5. Aşama: Negatif İdeal Çözüme Olan Uzaklıkların Belirlenmesi: Karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme olan uzaklıkları belirlenirken, Eşitlik (10)'da gösterilen Öklidyen uzaklık (E_i) ve Eşitlik (11)'de gösterilen Taxicab uzaklık (T_i) ölçülerinden yararlanılır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (10)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (11)$$

6. Aşama: Göreceli Değerlendirme Matrisinin Oluşturulması: Her bir karar alternatifinin diğer alternatiflere olan Öklid ve Taxicab uzaklıklarından yararlanılarak, göreceli değerlendirme matrisi Eşitlik (12) ve (13)'ten yararlanılarak oluşturulur.

$$R_a = [h_{ik}]_{n \times m} \quad (12)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (13)$$

Eşitlik (13)'te yer alan ψ değeri, iki karar alternatifinin öklid uzaklık eşitliğini tanımak için bir eşik değeridir. Bu değer belirlenmesinde Eşitlik (14)'ten yararlanılmalıdır.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1, & |x| \geq \tau \\ 0, & |x| < \tau \end{cases} \quad (14)$$

7. Aşama: Değerlendirme Puanlarının Hesaplanması: Yöntemin son aşamasında Eşitlik (15)'den yararlanılarak her karar alternatifi için değerlendirme puanı hesaplanır. En yüksek puana sahip karar alternatifi en iyi alternatif olarak belirlenir.

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (15)$$

3. UYGULAMA

Bu çalışmanın uygulama kısmında ilk olarak YEK'lerin İBBS Düzey 1 sınıflandırmasına göre sıralamasını yaparak, bölgelerin yenilenebilir enerji potansiyeli hakkında bir projeksiyon sağlanması hedeflenmiştir. Uygulamanın ikinci amacı ise Entropi ve CODAS yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanılmasıyla, yöntemlerin birlikte kullanımının metodolojik katkılarını incelemektir.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından büyük bir potansiyele sahiptir. Fakat bu potansiyel, bölgelere göre büyük farklılık göstermektedir. Örneğin hidrolik enerji konusunda Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan iller büyük bir potansiyele sahipken, güneş enerjisinde Akdeniz ve İç Anadolu, jeotermal enerji de Batı Marmara ve Ege bölgesi daha büyük bir potansiyele sahiptir. Fakat aynı coğrafi bölgede yenilenebilir enerji potansiyeli birbirinden çok farklı illerin yer alması sınıflandırmayı coğrafi bölgelere göre yapmakta sıkıntılara yol açacağından İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırmasında (İBBS) Düzey 1 kullanılmıştır. İBBS'nin üç kademeli bölge sistemi oluşturulurken, 81 il Düzey 3 olarak tanımlanmıştır. Ekonomik, sosyal ve coğrafi yönden benzerlik gösteren komşu iller ise bölgesel kalkınma planları ve nüfus büyüklükleri de dikkate alınarak Düzey 2 (26 adet) ve Düzey 1 (12 adet) bölgeleri olarak belirlenmiştir (Bölgesel İdare ve Yerel Demokrasi Projesi 2019). İBBS Düzey 1 sınıflandırması Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1: İBBS Düzey 1 Sınıflandırması

Kod	Bölge Adı	İller
TR1	İstanbul	İstanbul
TR2	Batı Marmara	Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Balıkesir, Çanakkale
TR3	Ege	İzmir, Aydın, Denizli, Muğla, Afyonkarahisar, Kütahya, Manisa, Uşak
TR4	Doğu Marmara	Bilecik, Bursa, Eskişehir, Bolu, Düzce, Kocaeli, Sakarya, Yalova
TR5	Batı Anadolu	Ankara, Karaman, Konya
TR6	Akdeniz	Antalya, Burdur, Isparta, Adana, Mersin, Hatay, Kahramanmaraş, Osmaniye
TR7	Orta Anadolu	Aksaray, Kırıkkale, Kırşehir, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Sivas, Yozgat
TR8	Batı Karadeniz	Bartın, Karabük, Zonguldak, Çankırı, Kastamonu, Sinop, Amasya, Çorum, Samsun, Tokat
TR9	Doğu Karadeniz	Artvin, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Rize, Trabzon
TRA	Kuzeydoğu Anadolu	Bayburt, Erzincan, Erzurum, Ağrı, Ardahan, Iğdır, Kars
TRB	Ortadoğu Anadolu	Bingöl, Elazığ, Malatya, Tunceli, Bitlis, Hakkari, Muş, Van
TRC	Güneydoğu Anadolu	Adıyaman, Gaziantep, Kilis, Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Mardin, Şırnak, Siirt

İBBS Düzey 1 bölgelerini YEK performanslarına göre sıralamak için 9 kriter kullanılmıştır. Bu kriterler Türkiye’de faal olarak çalışan YEK santrallerinin kurulu güçleri, her bir YEK alternatifinin toplam kurulu güce oranı ve bölgenin üretim/tüketim oranlarından oluşmaktadır. Üretim miktarı yerine kurulu güç değerlerinin kriter olarak kullanılmasının sebebi üretimin değişken (mevsim, hava şartları vb. durumlarda farklı üretim düzeyleri oluşabilir) kurulu gücün ise sabit olmasıdır. Üretim/tüketim oranının kullanılmasının sebebi ise o bölgenin kendi potansiyelini değerlendirip değerlendirmediyini belirlemektir. Kriterler ve kriterlerin kodları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Değerlendirme Kriterleri

Kriter Kodu	Kriter Adı
K1	Güneş Enerjisi Kurulu Güç
K2	Güneş Enerjisi Kurulu Güç/Toplam Kurulu Güç (%)
K3	Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç
K4	Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç/Toplam Kurulu Güç (%)
K5	Biyokütle Enerjisi Kurulu Güç
K6	Biyokütle Enerjisi Kurulu Güç/Toplam Kurulu Güç (%)
K7	Hidrolik Enerji Kurulu Güç
K8	Hidrolik Enerji Kurulu Güç/Toplam Kurulu Güç (%)
K9	Üretim/Tüketim (%)

Jeotermal enerji yapılan uygulamada analiz dışında tutulmuştur. Bunun sebebi jeotermal enerjinin 12 bölgeden sadece 2'sinde üretiliyor olması ve özellikle TR3- Ege bölgesinde üretimin çok yoğun olmasıdır. Entropi yöntemi doğası gereği uç değerlerden etkilenmektedir ve TR3 bölgesindeki bu yoğun üretim diğer bölgelerde bir üretim olmamasına rağmen bu kriteri çok ön plana çıkarmaktadır. Bu ölçüm hatasını engelleyebilmek için jeotermal enerji kapsam dışında bırakılmıştır. Kriterlere ait değerler ile oluşturulan karar matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Karar Matrisi

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
TR1	2,95	0,11	231,45	8,47	53,00	1,94	0,00	0,00	18,00
TR2	46,18	0,45	1835,10	17,89	103,27	1,01	38,09	0,37	328,03
TR3	206,89	2,34	2693,17	30,42	44,45	0,50	715,96	8,09	196,36
TR4	25,15	0,29	253,05	2,87	49,05	0,56	766,39	8,70	86,41
TR5	550,90	14,46	137,00	3,60	91,19	2,39	948,27	24,89	56,57
TR6	177,41	1,15	910,00	5,91	78,18	0,51	5699,81	37,02	158,18
TR7	395,56	9,07	583,00	13,37	20,89	0,48	937,63	21,51	162,67
TR8	14,17	0,16	248,10	2,82	47,92	0,55	3149,75	35,86	294,63
TR9	0,00	0,00	0,00	0,00	4,24	0,09	4629,46	99,56	191,97
TRA	18,70	1,22	0,00	0,00	14,08	0,92	1478,07	96,54	63,30
TRB	63,94	1,69	0,00	0,00	10,43	0,28	3673,00	97,35	140,44
TRC	120,66	1,56	111,00	1,44	14,38	0,19	6194,00	80,18	80,43

İBBS Düzey 1 bölgelerinin değerlendirilmesi gerçekleştirilirken, öncelikle Entropi yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenecektir. Daha sonra ise CODAS yöntemi kullanılarak ağırlıkları belirlenen kriterler ise İBBS Düzey 1 bölgeleri sıralanacaktır.

3.1. Entropi Yöntemiyle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Karar matrisi oluşturulduktan sonra, uygulamanın ilk bölümünde Entropi yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Tablo 3'te gösterilen karar matrisinde yer alan bazı kriterlerde sıfır değerinin bulunmaktadır. Entropi yönteminin çözüm aşamalarında logaritmadan yararlanılarak bazı değerler hesaplanmaktadır. Hesaplamaların yapılabilmesi için karar matrisindeki tüm değerler pozitif hale dönüştürülmelidir.

Bu çalışmada Zhang vd. (2014) tarafından geliştirilen Z-skoru standartlaştırma dönüşümü kullanılan entropi (improved entropy) yöntemi ile sıfır olan veriler için düzeltmeler yapılmıştır. Karar matrisinde yer alan değerler Eşitlik (16)'dan yararlanılarak Z-skoru standartlaştırması ile dönüştürülür (Zhang vd. 2014: 3).

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j} \quad (16)$$

Daha sonra Eşitlik (17)'de gösterilen dönüşüm yapılarak karar matrisindeki veriler pozitif hale getirilmiş olur.

$$z'_{ij} = z_{ij} + A; \quad A > |\min z_{ij}| \quad (17)$$

Yapılan işlemler sonucunda elde edilen düzenlenmiş karar matrisi Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Düzenlenmiş Karar Matrisi

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
TR1	0,03	0,04	0,30	0,97	53,00	1,94	0,01	0,01	18,00
TR2	0,29	0,12	2,27	2,04	103,27	1,01	0,03	0,02	328,03
TR3	1,25	0,56	3,33	3,46	44,45	0,50	0,35	0,22	196,36
TR4	0,16	0,08	0,32	0,34	49,05	0,56	0,37	0,24	86,41
TR5	3,30	3,41	0,18	0,42	91,19	2,39	0,46	0,67	56,57
TR6	1,07	0,28	1,13	0,68	78,18	0,51	2,69	0,99	158,18
TR7	2,37	2,15	0,73	1,53	20,89	0,48	0,46	0,58	162,67
TR8	0,10	0,05	0,32	0,33	47,92	0,55	1,49	0,96	294,63
TR9	0,01	0,01	0,01	0,01	4,24	0,09	2,19	2,63	191,97
TRA	0,12	0,30	0,01	0,01	14,08	0,92	0,71	2,55	63,30
TRB	0,39	0,41	0,01	0,01	10,43	0,28	1,74	2,57	140,44
TRC	0,73	0,38	0,15	0,17	14,38	0,19	2,93	2,12	80,43

Yöntemin ikinci aşamasında, karar matrisindeki negatif değerlerin pozitif hale getirilmesi ile düzenlenen karar matrisi, Eşitlik (2)'den yararlanılarak normalize edilir. Farklı birimlere sahip kriterlere ilişkin değerlerin standart hale getirilmesi amacıyla gerçekleştirilen normalizasyon işlemi sonucu elde edilen normalize karar matrisi Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5: Normalize Karar Matrisi

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
TR1	0,003	0,005	0,034	0,097	0,100	0,206	0,001	0,001	0,010
TR2	0,029	0,015	0,259	0,205	0,194	0,107	0,002	0,002	0,185
TR3	0,127	0,072	0,380	0,347	0,084	0,053	0,026	0,017	0,110
TR4	0,017	0,010	0,037	0,034	0,092	0,059	0,028	0,018	0,049
TR5	0,335	0,437	0,021	0,042	0,172	0,255	0,034	0,049	0,032
TR6	0,109	0,036	0,129	0,068	0,147	0,054	0,200	0,073	0,089
TR7	0,241	0,275	0,083	0,153	0,039	0,051	0,034	0,043	0,092
TR8	0,010	0,007	0,036	0,033	0,090	0,058	0,111	0,070	0,166
TR9	0,001	0,002	0,001	0,001	0,008	0,010	0,163	0,194	0,108
TRA	0,013	0,039	0,001	0,001	0,027	0,098	0,053	0,188	0,036
TRB	0,040	0,053	0,001	0,001	0,020	0,029	0,129	0,190	0,079
TRC	0,075	0,049	0,017	0,017	0,027	0,020	0,218	0,156	0,045

Bir sonraki aşamada Eşitlik (3)'ten yararlanılarak her bir kriterin belirsizlik ölçüsü ya da diğer bir ifadeyle entropi değerleri hesaplanmalıdır. Entropi değerleri hesaplanırken kullanılan Eşitlik (3)'te yer alan k değeri, karar alternatifi sayısının (m) logaritması alınarak hesaplanmaktadır. Uygulamada on iki tane bölge yer aldığından, bu değer $k = (\ln(m))^{-1}$ formülünden yararlanılarak, $k = (\ln(12))^{-1} = 0,4024$ olarak hesaplanır. Elde edilen Entropi değerleri (e_j) Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: Entropi Değerlerinin Elde Edilmesi

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
TR1	-0,018	-0,026	-0,115	-0,227	-0,230	-0,326	-0,007	-0,006	-0,047
TR2	-0,104	-0,064	-0,350	-0,325	-0,318	-0,239	-0,015	-0,010	-0,312
TR3	-0,262	-0,190	-0,368	-0,367	-0,208	-0,156	-0,095	-0,068	-0,243
TR4	-0,068	-0,047	-0,122	-0,114	-0,220	-0,167	-0,100	-0,072	-0,147
TR5	-0,366	-0,362	-0,080	-0,133	-0,303	-0,348	-0,116	-0,148	-0,110
TR6	-0,242	-0,121	-0,264	-0,183	-0,282	-0,158	-0,322	-0,191	-0,215
TR7	-0,343	-0,355	-0,207	-0,287	-0,127	-0,152	-0,115	-0,134	-0,219
TR8	-0,046	-0,033	-0,120	-0,113	-0,217	-0,165	-0,244	-0,187	-0,298
TR9	-0,009	-0,011	-0,009	-0,007	-0,039	-0,045	-0,296	-0,318	-0,240
TRA	-0,055	-0,125	-0,009	-0,007	-0,096	-0,227	-0,155	-0,314	-0,119
TRB	-0,129	-0,155	-0,009	-0,007	-0,077	-0,104	-0,265	-0,315	-0,201
TRC	-0,193	-0,147	-0,069	-0,070	-0,098	-0,078	-0,332	-0,290	-0,140
Toplam	-0,018	-0,026	-0,115	-0,227	-0,230	-0,326	-0,007	-0,006	-0,047
$1/\ln(12)=0,4024$									
ej	0,738	0,658	0,692	0,741	0,891	0,871	0,829	0,826	0,921

Entropi değerleri elde edildikten sonra son olarak Eşitlik (4)'ten yararlanılarak, kriter ağırlıkları Tablo 7'de gösterilen şekilde elde edilir.

Tablo 7: Entropi Yöntemiyle Hesaplanan Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar (wj)
K1	0,165
K2	0,216
K3	0,195
K4	0,164
K5	0,068
K6	0,081
K7	0,108
K8	0,110
K9	0,049

Tablo 7’de gösterilen şekilde hesaplanan kriterlerin önem ağırlıkları dikkate alındığında, en önemli kriterlerin sırasıyla K2- Güneş Enerjisi Kurulu Güç/Toplam Kurulu Güç (0,2164), K3-Rüzgar Enerjisi Kurulu Güç (0,1950) ve K1- Güneş Enerjisi Kurulu Güç (0,1659) olduğu belirlenmiştir.

3.2. CODAS Yöntemi ile İBBS Düzey 1 Bölgelerinin Değerlendirilmesi

Entropi yöntemiyle kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra uygulamanın ikinci aşaması olan CODAS yöntemiyle, İBBS Düzey 1 bölgeleri değerlendirilmiştir. Yöntemin ilk aşamasında, Tablo 4’te gösterilen düzenlenmiş karar matrisinden yararlanılacaktır. Değerlendirme kriterlerinin tümü maksimizasyon yönlü olduğundan, Eşitlik (6)’dan yararlanılarak Tablo 4’teki düzenlenmiş karar matrisi normalizasyon işlemine tabi tutulmuş ve normalize karar matrisi Tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8: CODAS Yöntemi İçin Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
TR1	0,0093	0,0114	0,0891	0,2805	0,5132	0,8099	0,0050	0,0045	0,0549
TR2	0,0874	0,0350	0,6825	0,5895	1,0000	0,4207	0,0111	0,0082	1,0000
TR3	0,3780	0,1649	1,0000	1,0000	0,4304	0,2098	0,1200	0,0853	0,5986
TR4	0,0494	0,0236	0,0971	0,0972	0,4750	0,2327	0,1281	0,0915	0,2634
TR5	1,0000	1,0000	0,0541	0,1209	0,8830	1,0000	0,1573	0,2533	0,1724
TR6	0,3247	0,0833	0,3402	0,1967	0,7570	0,2121	0,9206	0,3746	0,4822
TR7	0,7191	0,6291	0,2192	0,4413	0,2023	0,2002	0,1556	0,2195	0,4959
TR8	0,0295	0,0150	0,0953	0,0956	0,4640	0,2280	0,5110	0,3631	0,8982
TR9	0,0039	0,0039	0,0034	0,0030	0,0411	0,0381	0,7487	1,0000	0,5852
TRA	0,0377	0,0881	0,0034	0,0030	0,1363	0,3842	0,2424	0,9698	0,1930
TRB	0,1195	0,1207	0,0034	0,0030	0,1010	0,1155	0,5950	0,9779	0,4281
TRC	0,2221	0,1115	0,0445	0,0501	0,1392	0,0778	1,0000	0,8062	0,2452

Yöntemin bir sonraki aşamasında, Entropi yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları uygulamaya dahil edilecektir. Bunun için Eşitlik (8)’de gösterildiği üzere, Tablo 7’de hesaplanmış olan kriter ağırlıkları, Tablo 8’de yer alan CODAS yöntemi için normalize edilen karar matrisinin elemanları ile çarpılır. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra elde edilen ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi Tablo 9’da gösterilen şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 9: Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
TR1	0,0015	0,0025	0,0174	0,0460	0,0354	0,0661	0,0005	0,0005	0,0027
TR2	0,0145	0,0076	0,1331	0,0967	0,0689	0,0343	0,0012	0,0009	0,0496
TR3	0,0627	0,0357	0,1950	0,1641	0,0297	0,0171	0,0130	0,0094	0,0297
TR4	0,0082	0,0051	0,0189	0,0159	0,0327	0,0190	0,0139	0,0101	0,0131
TR5	0,1659	0,2164	0,0106	0,0198	0,0609	0,0816	0,0170	0,0279	0,0085
TR6	0,0539	0,0180	0,0663	0,0323	0,0522	0,0173	0,0996	0,0412	0,0239
TR7	0,1193	0,1361	0,0427	0,0724	0,0139	0,0163	0,0168	0,0241	0,0246
TR8	0,0049	0,0033	0,0186	0,0157	0,0320	0,0186	0,0553	0,0399	0,0445
TR9	0,0007	0,0009	0,0007	0,0005	0,0028	0,0031	0,0810	0,1100	0,0290
TRA	0,0063	0,0191	0,0007	0,0005	0,0094	0,0314	0,0262	0,1067	0,0096
TRB	0,0198	0,0261	0,0007	0,0005	0,0070	0,0094	0,0643	0,1075	0,0212
TRC	0,0368	0,0241	0,0087	0,0082	0,0096	0,0063	0,1081	0,0887	0,0122

Yöntemin bir sonraki aşamasında Eşitlik (9)'da gösterildiği üzere, Tablo 9'daki ağırlıklandırılmış normalize karar matrisinin her sütunundaki en küçük değer negatif ideal çözüm değeri olarak belirlenir. Negatif ideal çözüm değerleri Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10: Negatif İdeal Çözüm Değerleri

Bölge/Kriter	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
NIS	0,0007	0,0009	0,0007	0,0005	0,0028	0,0031	0,0005	0,0005	0,0027

Negatif ideal çözüm değerleri belirlendikten sonra, karar alternatiflerinin negatif ideal çözüme olan Öklidyen uzaklıkları Eşitlik (10)'dan, Taxicab uzaklıkları ise Eşitlik (11)'den yararlanılarak hesaplanmış ve Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11: Negatif İdeal Çözüm Değerlerine Olan Uzaklıklar

Bölge Kodu	Bölge Adı	E _i	T _i
TR1	İstanbul	0,0074	0,1602
TR2	Batı Marmara	0,0346	0,3944
TR3	Ege	0,0715	0,5439
TR4	Doğu Marmara	0,0022	0,1245
TR5	Batı Anadolu	0,0848	0,5962
TR6	Akdeniz	0,0230	0,3923
TR7	Orta Anadolu	0,0409	0,4540
TR8	Batı Karadeniz	0,0080	0,2203
TR9	Doğu Karadeniz	0,0191	0,2162
TRA	Kuzeydoğu Anadolu	0,0132	0,1973
TRB	Ortadoğu Anadolu	0,0169	0,2442
TRC	Güneydoğu Anadolu	0,0215	0,2904

Negatif ideal çözüm değerlerine uzaklıklar hesaplandıktan sonra, bu uzaklıklardan yararlanılarak her bir karar alternatifi diğer alternatiflere göre değerlendirilerek, göreceli değerlendirme matrisi oluşturulacaktır. Göreceli değerlendirme matrisi oluşturulurken Eşitlik (13) ve (14)'ten yararlanılacaktır. Hesaplamalar yapılırken Eşitlik (14)'te yer alan τ parametresi, literatürdeki birçok çalışmada kabul edildiği üzere 0,02 olarak belirlenmiştir.

TR2 ve TR1 karar alternatiflerinin (E_i) ve (T_i) değerlerinden yararlanılarak, örnek bir hesaplama aşağıda gösterilen şekilde yapılmıştır.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1, & |x| \geq \tau \\ 0, & |x| < \tau \end{cases} \text{ eşitliğine göre;}$$

$$|E_i - E_k| = |x| = |0,0346 - 0,0074| = 0,0272 > 0,02 \text{ olduğundan; } \psi(E_i - E_k) = 1 \text{ olur.}$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) = (0,0346 - 0,0074) + (1 \times (0,3944 - 0,1612)) = 0,2614 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Tüm karar alternatiflerinin birbirleriyle göreceli olarak değerlendirmelerini yapabilmek için bu işlemler tekrarlanır ve göreceli değerlendirme matrisi Tablo 12'de gösterilen şekilde oluşturulur.

Tablo 12: Göreceli Değerlendirme Matrisi

Bölge	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5	TR6	TR7	TR8	TR9	TRA	TRB	TRC
TR1	0,000	-0,261	-0,448	0,005	-0,513	-0,016	-0,327	-0,001	-0,012	-0,006	-0,010	-0,014
TR2	0,261	0,000	-0,186	0,302	-0,252	0,012	-0,006	0,201	0,015	0,218	0,018	0,013
TR3	0,448	0,186	0,000	0,489	-0,013	0,200	0,120	0,387	0,380	0,405	0,354	0,303
TR4	-0,005	-0,302	-0,489	0,000	-0,554	-0,289	-0,368	-0,006	-0,017	-0,011	-0,015	-0,019
TR5	0,513	0,252	0,013	0,554	0,000	0,266	0,186	0,453	0,446	0,471	0,420	0,369
TR6	0,016	-0,012	-0,200	0,289	-0,266	0,000	-0,018	0,015	0,004	0,010	0,006	0,002
TR7	0,327	0,006	-0,120	0,368	-0,186	0,018	0,000	0,267	0,260	0,284	0,234	0,019
TR8	0,001	-0,201	-0,387	0,006	-0,453	-0,015	-0,267	0,000	-0,011	-0,005	-0,009	-0,014
TR9	0,012	-0,015	-0,380	0,017	-0,446	-0,004	-0,260	0,011	0,000	0,006	0,002	-0,002
TRA	0,006	-0,218	-0,405	0,011	-0,471	-0,010	-0,284	0,005	-0,006	0,000	-0,004	-0,008
TRB	0,010	-0,018	-0,354	0,015	-0,420	-0,006	-0,234	0,009	-0,002	0,004	0,000	-0,005
TRC	0,014	-0,013	-0,303	0,019	-0,369	-0,002	-0,019	0,014	0,002	0,008	0,005	0,000

Uygulamanın son aşamasında Eşitlik (15)'ten yararlanılarak her karar alternatifi için değerlendirme puanı hesaplanır. Her bir alternatif için satırlarda yer alan değerlerin toplanması ile elde edilen H_i değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak, karar alternatiflerinin sıralaması elde edilir.

CODAS yöntemine göre hesaplanan değerlendirme puanları Tablo 13'te gösterilmiştir. Uygulama sonuçlarına göre en iyi performansı sergileyen bölge TR5-Batı Anadolu bölgesi olmuştur. Bu bölgeyi sırasıyla TR3- Ege ve TR7- Orta Anadolu bölgeleri takip etmektedir.

Tablo 13: CODAS Yöntemi Sonuçları ve Sıralamalar

Bölge Kodu	Bölge Adı	H _i	Sıralama
TR1	İstanbul	-1,602	11
TR2	Batı Marmara	0,596	4
TR3	Ege	3,259	2
TR4	Doğu Marmara	-2,075	12
TR5	Batı Anadolu	3,943	1
TR6	Akdeniz	-0,155	5
TR7	Orta Anadolu	1,477	3
TR8	Batı Karadeniz	-1,355	9
TR9	Doğu Karadeniz	-1,059	8
TRA	Kuzeydoğu Anadolu	-1,384	10
TRB	Ortadoğu Anadolu	-1,001	7
TRC	Güneydoğu Anadolu	-0,645	6

Sonuç ve Tartışma

Tüketim toplumunun sınırsız ihtiyaçlarını tatmin etmek sınırsız bir enerji kaynağı gerektirmektedir. Fakat Dünya'daki enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir ve fosil yakıtlar sınırsız değildir. Fosil yakıtların sınırsız bir kaynak olmamasının yanında çevreye geri dönüşü olmayan zararlar da vermektedir. Yenilenebilir kaynaklar ise doğaya etkisi en az olan ve nispi olarak sınırsız kaynaklardır. Buna rağmen Dünya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının sadece küçük bir kısmı faal olarak kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebepleri ilk yatırım maliyetlerinin fazlalığı veya ülkelerin fosil yakıt arzlarındaki politik baskılar olarak görülebilir. Oysaki sadece güneş enerjisinden elde edilecek elektrik miktarı bile tek başına Dünya'daki elektrik üretim sorununu ortadan kaldırmaya yetecek potansiyeldedir. Önümüzdeki yıllarda sınırsız gibi kullanılan fosil yakıtların darboğaza girmesi ve yaşanabilecek çevre felaketleri bu kaynakların kullanımını yaygınlaştıracaktır.

Türkiye'de ise yenilenebilir enerjinin durumu diğer benzer ülkelere nazaran daha iyi bir seyir izlemektedir. Bunun sebebi Türkiye'nin geniş ve verimli topraklara, düzenli bir seyir izleyen mevsimlere ve bol miktarda yeraltı ve yerüstü sularını sahip olmasıdır. Buna rağmen diğer YEK'ler yerine enerji üretiminde, çevreye etkisi en fazla olan Hidro-Elektrik santralleri tercih edilmektedir. Fakat son yıllarda enerji üretimi konusunda yapılan planlar ve verilen teşvikler sayesinde YEK'lere yapılan yatırımlar hız kazanmıştır. Özellikle güneş enerjisi için son yıllarda bazı bölgeler teşvik bölgeleri olarak belirlenmiştir. TR5- Batı Anadolu ve TR7- Orta Anadolu bölgelerinde yer alan bütün iller güneş enerjisi teşvik bölgesinde yer alan illerden oluşmaktadır. Zaten Türkiye'de güneş enerjisinden üretilen elektriğin %58,3'ü bu iki bölgede üretilmektedir.

Araştırma sonucu ulaşılan bölge sıralamasında mevcut durumu destekler niteliktedir. Çünkü araştırma sonucunda TR5- Batı Anadolu bölgesi ilk sırada TR7- Orta Anadolu bölgesi de üçüncü sırada yer almaktadır. Ayrıca, TR3- Ege bölgesinin sıralamada ikinci olmasının temel sebebi ise rüzgar enerjisi konusunda Türkiye'nin lokomotif bölgesi olmasından kaynaklanmaktadır. Türkiye'de rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin %38,4'ü yalnızca bu bölgede üretilmektedir.

Araştırma sonucunda sırasıyla TRA, TR1 ve TR4 bölgeleri en son sıralarda yer almaktadır. Bu bölgelerin ortak özelliği tüketiminin üretimini karşılamamasıdır. Özellikle TR1- İstanbul bölgesi tüketiminin sadece %17,99'unu üretebilmektedir. Bu bölgelerden TR1 ve TR4'ün aktif hale gelebilmesi için denize kıyısı olan İstanbul, Bursa ve Yalova'da denizden sağlanan ve ülkemizde üretimi yapılmayan YEK'ler (gelgit-dalga enerjisi) değerlendirilebilir. Ayrıca yine bu bölgelerde yoğun sanayi üretiminin ve nüfusun olduğu İstanbul, Bursa, Eskişehir, Kocaeli ve Sakarya gibi illerde biyokütle kaynaklı enerji alternatifleri artırılabilir.

Bununla birlikte, Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili bir ülke olmasına rağmen deniz kaynaklı YEK'lerden elektrik üretimi yapmamaktadır. Özellikle TR8 ve TR9 bölgeleri Karadeniz bölgesinde hemen hepsi dalgalı kıyı şeridine sahip illerden oluşmaktadır. İlerleyen yıllarda bu bölgelere yapılacak enerji yatırımlarında, deniz kaynaklı YEK'lere öncelik verilmesi bu bölgelerin enerji verimliliğini arttırabilecektir.

Mevcut çalışmada objektif bir kriter ağırlıklandırma yöntemi olan Entropi ile karar alternatiflerinin ideal çözüme uzaklıklarını dikkate alarak hesaplamalar yapan CODAS yöntemi bir arada kullanılarak, YEK performanslarına yönelik bölgesel bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın, ÇKKV yöntemlerinin bütünleşik olarak bir YEK çalışmasında kullanılması bakımından, literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda YEK'lere göre bölgelerin değerlendirilmesi İBBS Düzey 2 (26 bölge) veya Düzey 3 (81 il) sınıflandırmasıyla yapılarak daha derinlemesine sonuçlar elde edilebilecektir. Ayrıca mevcut çalışmada kullanılan Entropi ve CODAS yöntemlerinin yerine kullanılacak diğer ÇKKV yöntemleri ile gerçekleştirilecek uygulamalar, literatüre farklı bakış açıları kazandırabilecektir.

KAYNAKLAR

AYYILDIZ, E. ve YALÇIN, S. (2018). "Türkiye'de yer alan lojistik dostu şehirlerin bütünleşik Entropi-CODAS kullanılarak belirlenmesi", **Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering**, C. XXIII, S. 4, s. 127-140. doi:<https://dx.doi.org/10.17482/uumfd.448596>

BAKIR, M. ve ALPTEKİN, N. (2018). "Hizmet Kalitesi Ölçümüne Yeni Bir Yaklaşım: CODAS Yöntemi İle Havayolu İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama", **Business & Management Studies: An International Journal**, C. VI, S. 4, s. 1336-1353. doi:<http://dx.doi.org/10.15295/bmij.v6i4.409>

BIGERNA, S., BOLLINO, C. A. ve MICHELI, S. (2015). **The Sustainability of Renewable Energy in Europe**, İsviçre: Springer International Publishing.

BOLTURK, E. ve KAHRAMAN, C. (2018). "Interval-valued intuitionistic fuzzy CODAS method and its application to wave energy facility location selection problem", **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, C. XXXV, S. 4, s. 4865-4877. doi:10.3233/JIFS-18979

BÖLGESEL İDARE VE YEREL DEMOKRASİ PROJESİ (2019). **İstatistiki Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS) Düzey 1 ve Düzey 2 Bölgeleri**, Şubat 16, 2019 tarihinde yereldemokrasi.net: <https://yereldemokrasi.net/haritalarla-kamu-idaresi/147-istatistiki-bolge-birimleri-siniflandirmasi-ibbs-duzey-1-ve-duzey-2-bolgeleri> adresinden alındı

BÜYÜKÖZKAN, G. ve GÜLERYÜZ, S. (2016). "An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey", **International Journal of Production Economics**, C. CLXXXII, S. 2016, s. 435-448. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.015

BÜYÜKÖZKAN, G. ve GÜLERYÜZ, S. (2017). "Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations", **Energy**, C. CXXIII, S. 2017, s. 149-163. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.137

BÜYÜKÖZKAN, G. ve KARABULUT, Y. (2017). "Energy project performance evaluation with sustainability perspective", **Energy**, C. CXIX, S. 2017, s. 549-560. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.087

CRISTÓBAL, J. S. (2011). "Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The Vikor method", **Renewable Energy**, C. XXXVI, S. 2011, s. 498-502. doi:10.1016/j.renene.2010.07.031

ÇOLAK, M. ve KAYA, İ. (2017). "Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, C. LXXX, S. 2017, s. 840-853. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.194

EDENHOFER, O., SEYBOTH, K., CREUTZIG, F. ve SCHLÖMER, S. (2013). "On the Sustainability of Renewable Energy Sources", **Annual Review of Environment and Resources**, C. XXXVIII, s. 169-200. doi:https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051012-145344

ELLABBAN, O., ABU-RUB, H. ve BLAABJERG, F. (2014). "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, C. XXXIX, S. 2014, s. 748-764. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113

EPDK (2017). **2017 Yılı Elektrik Piyasası Gelişim Raporu**, Ankara: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. <http://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikiyillik-sektor-raporu> adresinden alındı

EREC (2010). **Renewable Energy in Europe: Markets, Trends and Technologies**. Londra: European Renewable Energy Council.

EROL, I. ve FERRELL, W. G. (2009). "Integrated approach for reorganizing purchasing: Theory and a case analysis on a Turkish company", **Computers & Industrial Engineering**, C. LVI, S. 4, s. 1192-1204. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.07.011>

ERTAY, T., KAHRAMAN, C. ve KAYA, İ. (2013). "Evaluation of renewable energy alternatives using MACBETH and fuzzy AHP multicriteria methods: the case of Turkey", **Technological and Economic Development of Economy**, C. XIX, S. 1, s. 38-62. doi:10.3846/20294913.2012.762950

EUROPEAN COMMISSION (2017). **Report from The Commission to The European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions (Renewable Energy Progress Report)**, Brüksel: European Commission. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/EN/COM-2017-57-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF> adresinden alındı

GARNI, H. A., KASSEM, A., AWASTHI, A., KOMLJENOVIC, D. ve AL-HADDAD, K. (2016). "A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia", **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, C. 16, S. 2016, s. 137-150. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2016.05.006>

GHORABAE, M. K., ZAVADSKAS, E. K., TURSKIS, Z. ve ANTUCHEVICIENE, J. (2016). "A New Combinative Distance-based Assessment (CODAS) Method for Multi-Criteria Decision-making", **Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research**, C. L, S. 3, s. 25-44.

HARALAMBOPOULOS, D. ve POLATIDIS, H. (2003). "Renewable energy projects: structuring a multicriteria group decision-making framework", **Renewable Energy**, C. XXVIII, S. 2003, s. 961-973. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00072-1)

KABAK, M. ve DAGDEVİREN, M. (2014). "Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology", **Energy Conversion and Management**, C. LXXIX, S. 2014, s. 25-33. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.11.036>

KAHRAMAN, C., KAYA, I. ve CEBİ, S. (2009). "A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process", **Energy**, C. XXXIV, S. 2009, s. 1603-1616. doi:10.1016/j.energy.2009.07.008

KAYA, T. ve KAHRAMAN, C. (2010). "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul", **Energy**, C. XXXV, S. 2010, s. 2517- 2527. doi:10.1016/j.energy.2010.02.051

KILIÇ, F. Ç. ve KILIÇ, M. K. (2013). "Jeotermal Enerji ve Türkiye", **Mühendislik ve Makina**, C. LIV, S. 639, s. 46-56.

LEE, H.-C. ve CHANG, C.-T. (2018). "Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, C. XCII, S. 2018, s. 883-896. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.007>

LI-BO, Z. ve TAO, Y. (2014). "The evaluation and selection of renewable energy technologies in China", **Energy Procedia**, C. LXI, S. 2014, s. 2554-2557. doi:[10.1016/j.egypro.2014.12.044](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.044)

MATHEW, M. ve SAHU, S. (2018). "Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection", **Management Science Letters**, C. VIII, S. 2018, s. 139-150. doi:[10.5267/j.msl.2018.1.004](https://doi.org/10.5267/j.msl.2018.1.004)

ÖZDAĞOĞLU, A., YAKUT, E. ve BAHAR, S. (2017). "Machine Selection in A Dairy Product Company with Entropy and SAW Method Integration", **Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, C. XXXII, S. 1, s. 341-359. doi:<https://doi.org/10.24988/deuibf.2017321605>

PAMUCAR, D., BADI, I., SANJA, K. ve OBRADOVIC, R. (2018). "A Novel Approach for the Selection of Power-Generation Technology Using a Linguistic Neutrosophic CODAS Method: A Case Study in Libya", **Energies**, C. XI, S. 9, s. 1-25. doi:[10.3390/en11092489](https://doi.org/10.3390/en11092489)

RENEWABLE ENERGY DIRECTIVE (2018). **Energy Statistical Country Datasheets**, Brüksel: European Commission. <https://ec.europa.eu/energy/en/data/energy-statistical-pocketbook> adresinden alındı

RIVA, G., FOPPAPEDRETTI, E., CAROLIS, C. D., GIAKOUMELOS, E., MALAMATENIOS, C., SIGNANINI, P. ve RUČINSKÝ, R. (2012). **Handbook on Renewable Energy Sources**, Potenza: European Union: South East Europe Transnational Cooperation Programme. http://www.energy-supply.eu/downloads/ENER_handbook_en.pdf adresinden alındı

ŞENGÜL, Ü., EREN, M., SHIRAZ, S. E. ve GEZDER, V. (2015). "Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey", **Renewable Energy**, C. LXXV, S. 2015, s. 617-625. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.045>

TASRI, A. ve SUSILAWATI, A. (2014). "Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia", **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, C. VII, S. 2014, s. 34-44. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2014.02.008>

TROLDBORG, M., HESLOP, S. ve HOUGH, R. L. (2014). "Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, C. XXXIX, S. 2014, s. 1173-1184. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.160>

WANG, T.-C. ve LEE, H.-D. (2009). "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights", **Expert Systems with Applications**, C. XXXVI, S. 5, s. 8980-8985. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>

ZHANG, H., GU, C.-L., GU, L.-W. ve ZHANG, Y. (2011). "The evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy – A case in the Yangtze River Delta of China", **Tourism Management**, C. XXXII, S. 2, s. 443-451. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.02.007>

ZHANG, X., WANG, C., LI, E. ve XU, C. (2014). "Assessment Model of Ecoenvironmental Vulnerability Based on Improved Entropy Weight Method", **The Scientific World Journal**, C. MMXIV, s. 1-7. doi:<http://dx.doi.org/10.1155/2014/797814>