



Araştırma Makalesi / Research Article

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE TÜRKİYE'DE HES (HİDROELEKTRİK SANTRAL) SEÇİMİ*

HEPP SELECTION IN TURKEY WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS

Semra ALBAYRAK¹

Münevver TURANLI²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1113158>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
semralbayrak61@gmail.com

Geliş Tarihi / Received
06.05.2022

Kabul Tarihi / Accepted
23.05.2022

Öz

Güncel olarak Sanayi Devrimi'nden sonraki yıllarda enerji kaynakları, toplumlarda insanlığın ve üretim faaliyetlerinin gelişmesi açısından çok büyük önem taşımıştır. Sanayi devriminden bu yana modern medeniyetlerin gelişim göstermesinde etkin bir kuvvet pozisyonunda bulunmuştur. Sanayi devriminin ardından ortaya çıkmış olan teknolojik kapsamlı gelişmelerde artış görülmesi doğrudan enerji kaynaklarına bağlı olmaktadır. Son 2 yüzyıl süresince kullanımı devam etmekte olan fosil nitelikli enerji yakıtlarının meydana getirdiği doğa zararlarının, güncel olarak gittikçe artış göstermesi, insanların enerji gereksinimleri açısından alternatif kaynak arayışına girmesine sebebiyet vermiştir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS yöntemi kullanılarak 6 kriter belirlenmiş olup; bu kriterlere dair birimler ve kodlarla Hidroelektrik Enerji Santrallerinin kurulumları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada çeşitli bölgelerden 17 adet baraj ele alınmış olup; çeşitli kriterlerin puanlandırılması ile birtakım analizler ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: HES, TOPSIS, yenilenebilir enerji.

Abstract

Currently, in the years following the Industrial Revolution, energy resources are of great importance in terms of the development of humanity and production activities in societies. Since the industrial revolution, it has been in the position of an active force in the development of modern civilizations. The increase in technological developments that emerged after the industrial revolution is directly dependent on energy resources. The recent increase in the environmental damage caused by fossil energy fuels, which have been in use for the last 2 centuries, has led people to seek alternative sources for their energy needs. In this study, 6 criteria were determined by using the TOPSIS method, which is one of the multi-criteria decision-making methods; The units and codes regarding these criteria and the installations of Hydroelectric Power Plants were evaluated. In this study, 17 dams from various regions were discussed; A number of analyzes have been put forward by scoring various criteria.

Keywords: HEPP, renewable energy, TOPSIS.

*Bu yayın Semra ALBAYRAK isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Programındaki Lisansüstü tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, Sütluçe, İstanbul, Türkiye.
semralbayrak61@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-8065-9953.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, İstatistik Bölümü, Sütluçe, İstanbul, Türkiye.
mturanli@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9535-4527.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji gereksinimlerini karşılayabilmek için kullanılmakta olan enerji beş adet temel kaynaktan sağlanmaktadır. Buradaki kaynaklar “mineral kaynaklardan elde edilen kimyasal nitelikli reaksiyonlar, nükleer kaynaklı reaksiyonlar, soğutma, dünya ay ve güneş hareketlerine bağlı çekim potansiyelleri ve kimyasal nitelikli reaksiyonlar ve bunlardan oluşan doğal radyoaktif bozulmalardır” (Twidell & Weir, 2015). Enerji kaynaklarının çeşitleri geleneksel ve yenilenebilir nitelikli şekilde iki kategoriye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde; biyokütle, rüzgar, jeotermal, gelgit, güneş, hidrolik kaynakları bulunmakta ve geleneksel enerji kaynaklarının içerisinde ise; radyoaktif kor enerjisi, kömür, doğalgaz ve petrol yer almaktadır (Twidell & Weir, 2015).

Enerji kaynakları çeşitlerinden olan yenilenebilir nitelikli enerji kaynakları doğal ortamlarda direkt olarak kendiliğinden elde edilebilen ve bu durumla birlikte kendini sürekli yenilemekte olan bir özelliği barındırmasıyla bitmeyecek bir döngüyü içermektedir. Yenilenebilir nitelikteki enerjinin herhangi bir maliyeti bulunmadığından oldukça ekonomiktir (Küleççi, 2009). Başka bir enerji kaynağı çeşidi olan fosil ya da geleneksel enerji kaynakları özellikleri dolayısıyla statik enerjiyi barındıran depolara benzemektedir. Aynı zamanda geleneksel enerji kaynakları kendi kendini yenileyemediğinden dolayı son bulmaktadır. Bu sebepten maliyetleri oldukça yüksektir. Yenilenebilir nitelikli enerji kaynaklarının oldukça önemli bir özelliği, doğaya ve çevreye vermiş olduğu zararın geleneksel enerji kaynağına kıyasla minimum düzeyde olmasıdır.

Çalışmada öncelikle hidroelektrik enerjisine dair genel bilgiler derlenmiş olup; dünyadaki tarihsel sürecine değinilmiş ve Türkiye’deki hidroelektrik potansiyeline dair bilgiler verilmiştir. Daha sonra hidroelektrik santrallerinin kurulması sürecinde ön planda olan kriterler ortaya konulmuştur. Bunun yanı sıra çalışmada kullanılmakta olan yöntem ve kullanılan yöntem sonucunda ortaya çıkan veriler değerlendirilmiştir.

2. HİDROELEKTRİK ENERJİ

Hidroelektrik enerji kaynağı hareket halindeki sudan yerçekimi kuvvetinin etkisiyle sağlanan sürdürülebilir ve yenilenebilir nitelikli bir enerji türüdür. Barajlarda sürekli akmakta olan suyun alt kısımdaki türbinlere düşürülmesi doğrultusunda kurulmuş olan sistemden belli bir elektrik enerjisi üretilmekte ve enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Barajlardan elde edilebilen elektrik enerjisinin üretim sürecinde kullanılmasının dışında hidroelektrik enerji kullanımı dalga ya da gelgit enerjisi benzeri sistemlerde de kullanılan bir enerji çeşididir (Bayazıt, 2013).

Hidroelektrik enerji kaynaklı santraller havayı ya da suyu kirletmez, fakat çevrenin değişmesinde, baraj bulunan alanlardaki arazi kullanımlarında, doğal yaşamın sürdürüldüğü alanlarda ve yerleşim yerlerinde oldukça büyük çevresel etkilere sebep olmaktadır (USGS, 2012). Diğer bir ifade ile hidroelektrik enerji kaynaklı santrallerin doğal yaşam ve çevrenin değişmesinde birçok avantaj ve dezavantajları vardır. Hidroelektrik enerji santrallerinin avantajları şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Elektrik üretiminin sağlandığı aşamada hiçbir yakıt yanmadığı için en az seviyede kirlilik oluşumu gerçekleşmektedir.
2. Hidroelektrik enerji kaynaklı santrallerin çalıştırılabilmesi adına su doğal şekilde doğrudan karşılanabildiği için herhangi bir maliyeti bulunmamaktadır.
3. Hidroelektrik faktörü, atmosfere fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı gibi zararların minimum seviyeye indirgenmesinde büyük bir rol oynamaktadır.
4. Hidroelektrik enerji santralleri, farklı diğer enerji kaynaklarına kıyasla oldukça düşük bakım ve işletme maliyetlerine sahip olmaktadır.

5. Hidroelektrik enerji kaynaklı santraller yenilenebilir nitelikte bir enerji kaynağı olmaktadır. Yağışlar doğrultusunda rezervuarlardaki sular sürekli olarak yenilenmekte ve bu sebeple enerji kaynağı daima bulunabilmektedir.

Hidroelektrik enerji santrallerinin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilmektedir:

1. Yatırım maliyetlerinin yüksek miktarlarda olması gerekliliği.
2. Hidrolojiye ilişkin olarak bölgede ya da zeminde meydana gelen çökme durumları.
3. Kimi durumlarda, yaban yaşamı habitatının ve arazilerin sular altında kalabilmesi.
4. Balık habitatının değişimi ya da yok edilme durumu.
4. Geçiş kısıtlaması ya da balık tutulması.
5. Nehir sularında ya da rezervuarlardaki kalite seviyesinin değişikliğe uğrayabilmesi
6. Yerli yerleşim alanlarının sular altında kalma durumu.

Bütün dezavantajlarına ve avantajlarına rağmen insanların enerji gereksinimlerinin karşılanabilmesi açısından hidroelektrik enerji, dünyada genel olarak kullanılan bir enerji kaynağı türü olmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde hidroelektrik enerjinin sağlanması için büyük yatırımlar yapılmıştır.

2.1. Dünya’da Hidroelektrik Enerji

Yenilenebilir nitelikteki enerji kaynaklarının bir çeşidi olarak hidroelektrik enerjinin, dünya üzerinde kurulum gücü gün geçtikçe artış göstermektedir. 2018 senesinden itibaren hidroelektrik enerji avantajlarından faydalanılarak oluşturulan elektrik üretimi yıllık ortalama 4200 TWh düzeyine ulaşmış bulunmaktadır. Hidroelektrik enerjisi doğrultusundaki güç potansiyeli 1.292 GW seviyesine gelmiştir. Bu miktar hidroelektrik enerji üretimi ve kullanımı bakımından en üst seviyedir.

Dünya üzerinde en yüksek hidroelektrik potansiyeli olan ülke, 352 GW miktarı ile Çin’dir. Ardından en yüksek hidroelektrik enerji santrali kurulu gücünü barındıran ülkeler 104 GW ile Brezilya, 103 GW ile Amerika Birleşik Devletleri ve 81 GW ile Kanada şeklinde sıralanmaktadır. Buradaki 4 ülke dünya üzerinde hidroelektrik enerji santrali kurulu gücünün ortalama %50’lik kısmını oluşturmaktadır. Dünyada kurulmuş olan hidroelektrik enerji kapsamındaki santraller herhangi bir ülkenin içerisinde bulunan doğal akarsuların akış potansiyellerinin %100 oranında değerlendirilebilme hedefi ile oluşturulmaktadır.

2.2. Hidroelektrik Enerji Ekseninde Türkiye’nin Potansiyeli

Türkiye’de 2020 yılı Kasım ayından itibaren hidroelektrik enerji kapsamındaki kurulum gücü ortalama 30.534 MW olarak tespit edilmiştir (TSKB, 2020). Buradaki ölçü ile Türkiye’nin dünya üzerinde en fazla hidroelektrik enerji santrali kurulu gücünü barındıran 9. büyük ülke olduğu söylenebilmektedir. 2019 senesinde hidroelektrik enerji santrallerinden elde edilmiş olan enerji miktarının ise 89 TWh olduğu belirlenmiştir. Türkiye, verimli ve bol kaynakları sayesinde ve devletin sağlamış olduğu desteklerden kaynaklı olarak, ilerleyen senelerde hidroelektrik ekseninde gelişmesiyle, Avrupa’nın ön plandaki pazarlarından biri konumuna ulaşmaya adaydır (IHA, 2020). Türkiye, Avrupa ve Asya’nın kesiştiği yerde olan Fırat ve Dicle nehirleri de dahil olmak üzere yirmi beşten fazla nehir havzasına sahiplik eden bir ülkedir. Bunun yanı sıra Türkiye, Avrupa Birliği’ne aday sıfatında bir ülke pozisyonunda olmasından dolayı elektriksel altyapı çalışmalarını direkt olarak Avrupa’yla entegre etmekteyken, eş zamanlı olarak her çeşit yenilenebilir nitelikli enerji kaynaklarının geliştirilmesi konusunu ön planda tutmakta ve genel anlamda enerji çeşitlerinin artırılması stratejisini izlemektedir. Hidroelektrik enerjisi hakkında Türkiye’nin ilerleyen zaman içerisinde oldukça iddialı plan ve düzenlemeleri bulunmaktadır.

3. HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN KURULUM KRİTERLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

Hidroelektrik enerji santrallerinin kurulumu, ciddi bir analizi gerektirmektedir. Bu analizi gerçekleştirebilmek için birtakım kriterler ortaya konmuştur. Bu kriterlerin analizi sonucunda gerekli etkinliğin sağlanabileceği ön görüldüğünde hidroelektrik santralleri kurulumu gerçekleştirilmektedir. Hidroelektrik santralleri tek tip değildir ve birden çok çeşidi bulunmaktadır. Bu doğrultuda bu ana başlık altında HES’lerin kurulum kriterlerine ve çeşitlerine değinilmiştir.

3.1. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Kurulum Kriterleri

Hidroelektrik santrallerinin kurulumu, birbirinden farklı diğer yenilenebilir nitelikteki enerji santrallerine benzemekte ancak yenilenemez ya da fosil yakıtlı enerji kaynakları ile çalıştırılan santrallerin kurulumu açısından daha yüksek maliyetli olmaktadır. Fakat, buradaki santrallerin kurulumu çok daha yüksek maliyetlere ulaşmış olsa dahi, kurulum sonrasında bakım maliyetine bakıldığı zaman diğer santrallere göre oldukça düşük olduğu gözlemlenebilmektedir.

HES kurulumunda çok sayıda birbirini içeren benzer kriterler dikkate alınmaktadır (Derse & Yontar, 2020). Kriterlerin belirlenmesinde öncelikle bölgesel koşullar, istenilen HES özellikleri ve hali hazırdaki mevcut bilgi ve araçlar kullanılır. Bu kriterlere karar vermek için öncelikle alternatiflerin belirlenmesi gerekmektedir. Alternatiflerin belirlenmesinden sonra mevcut seçenekler arasından sınıflandırma veya sıralama ile kurulacak HES’in özellikleri belirlenmektedir.

HES kurulumu için genellikle çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Böylece karşılaşılabilecek problemlerin çözümünün ve alınacak kararların daha verimli ve etkili olması sağlanır. Bu yöntemlerden bazıları TOPSIS, ELECTRE, AHP, SWARA olarak bilinmektedir (Özden,2009).

3.2. Hidroelektrik Enerji Santrallerinin Sınıflandırılması

Hidroelektrik enerji santralleri çeşitli biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Hidroelektrik enerji santrallerinin sınıflandırılması için kullanılmakta olan kıstaslar “baraj-gövde yapılarına göre, düşülerine göre, depolama kapasitelerine göre ve kurulu temel güçlerine göre” olmaktadır. (Şekkeli & Keçecioğlu, 2011). Düşülerine göre kıstaslar; alçak düşülü, ortak düşülü ve yüksek düşülü olmak üzere, kurulu temel güçlerine göre kıstaslar; küçük kapasiteye sahip, orta kapasiteye sahip ve büyük kapasiteye sahip olmak üzere, depolama kapasite durumlarına göre kıstaslar; depolamasız ya da depolamalı olmak üzere ve baraj gövde yapılarına göre kıstaslar ise; ağırlıklı olarak beton gövdeli olanlar, beton kemer nitelikli gövdeye sahip olanlar, toprak ve kaya dolgululu gövdeye sahip olanlar şeklinde çeşitlilik göstermektedir.

Büyük ölçekli özelliğe sahip hidroelektrik enerji santrallerinin en önemli dezavantajlarından biri çok yüksek düzeyde elektrik enerjisi elde edildiğinden doğalgaz ve kömüre bağlı çalışmakta olan termik nitelikli santraller benzeri konvansiyonel santraller kapsamında yer almış olmalarıdır. Büyük ölçekli özelliğe sahip hidroelektrik enerji santrallerinden üretilen elektrik oldukça büyük çaplı herhangi bir bölgeye enerji kaynaklı nakil hatları ile ulaştırılabilmektedir.

4. YÖNTEM VE BULGULAR

Karar biliminde çok kriterli karar verme yöntemleri birbirinden farklı perspektifleri olan karar verme mekanizmalarıdır (Uludağ & Doğan, 2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinde süreçleri etkilemekte olan birçok kriter ve alternatifler bulunmaktadır. Bu çalışmada en yaygın olarak kullanımı tercih edilen AHP, ELECTRE, MULTIMOORA ve TOPSIS yöntemleri arasından TOPSIS yöntemi seçilerek uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

4.1. TOPSIS Karar Verme Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden birisi olan Topsis yönteminde karar vericiler farklı özelliklere sahip olan alternatifleri birden çok kritere göre değerlendirerek sıralamaktadırlar (Türkmen & Çığıl, 2012-63).

Topsis karar verme yöntemi Yoon ve Hwang tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir (Ak Oğuz, 2018).

TOPSIS yöntemi her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan fayda eğilimine sahip olduğunu varsaymaktadır (Gündoğan & Borat, 2021). Bu yöntem, Electre yöntemine alternatif olarak geliştirilmiş ve çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur.

TOPSIS ile tüm alternatiflerin pozitif ve negatif-ideal çözümünden uzaklıkları Euclid uzaklığı yardımıyla hesaplanır ve her bir kriterin tekdüze bir şekilde artan ya da azalan alternatiflerin pozitif-ideal çözüme en yakın negatif-ideal çözüme en uzak mesafede olan alternatifi dikkate alarak sıralanmasını sağlamak ve probleme çözüm getirmektedir.

Pozitif-İdeal Çözüm:

$$A^* = (x_1^*, \dots, x_j^*, \dots, x_n^*)$$

x_j^* değeri, j 'inci kriterin tüm alternatifler için en iyi değerdir.

Negatif-İdeal Çözüm:

$$A^- = (x_1^-, \dots, x_j^-, \dots, x_n^-)$$

4.2. TOPSIS Karar Verme Yönteminin Uygulanması

TOPSIS yöntemi ile karar verme yöntemi aşağıda görüldüğü gibi 11 aşamada açıklanabilir:

4.2.1. Problemin tanımlanması

Bu aşamada karar verme problemi ve karar verme probleminin amacı belirlenir.

4.2.2. Kriterlerin tanımlanması

Bu adımda, karar alma probleminde yer alan alternatif ve kriterler açıklanır. Kriterlerin belirlenmesinde uzman görüşüne başvurulur.

4.2.3. Alternatiflerin belirlenmesi

Bu adımda karar alma probleminin çözümünde seçim veya sıralama yapılacak tüm alternatifler belirlenir.

4.2.4. Karar matrisinin oluşturulması

Yukarıda açıklandığı gibi karar kriterleri ve alternatiflerin bileşiminden oluşan karar matrisi belirlenir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

4.2.5. Karar matrisinin normalleştirilmesi

Karar matrisinin normalleştirilmesi aşamasında, alternatif sayısı(m),kriter sayısı(n) kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi (R) oluşturulur. ve i'inci alternatifin j'inci kriter için normalleştirilmiş değeri r_{ij} ile gösterilir.

R matrisinin r_{ij} değerleri;

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}$$

($j=1,2,\dots,n$; $i=1,2,\dots,m$) formülü ile hesaplanır.

Hesaplamalar sonunda R matrisi;

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

şeklinde oluşturulur.

4.2.6. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Bu aşamada karar matrisinde bulunan kriterlerin uzman kişi veya kişilerin görüşlerine başvurularak belirlenen ağırlıklara göre V matrisi $V=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ şeklinde ifade edilir. w_1, w_2, \dots, w_n kriter ağırlıklarının toplamı 1 olmalıdır.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1$$

4.2.7. Normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması

Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi değerleri (v_{ij}),

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j$$

formülüyle belirtildiği gibi normalleştirilmiş her bir değerin (r_{ij}), kriterlerin ağırlıkları (w_j) ile çarpımı sonucu hesaplanan V matrisi,

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilir.

4.2.8. İdeal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi

Bu aşamada maksimum v_j , j ' inci kriter değerinin en yüksek olduğu alternatifin tercih edilmesi A^* ideal çözümü verir. Bu çözüme fayda sağlayan A^* ideal çözümü, A^- negatif-ideal çözümü göstermektedir.

4.2.9. Ayırma ölçümünün hesaplanması

Bu aşamada, her bir alternatifin ideal çözümden öklid anlayışına göre uzaklığı S_i^* ile gösterildiği, aşağıdaki formüllerden yararlanılmaktadır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad i=1,2,\dots,n$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i=1,2,\dots,n$$

4.2.10. İdeal çözüme görece yakınlığın hesaplanması

i alternatifinin ideal çözüme yakınlığı, C_i^* ile gösterilir ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad (i = 1,2, \dots, m)$$

4.2.11. Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler, ideal olan çözüme yakınlığına (C_i^*) göre sıralanır. En iyi alternatif, ideal çözüme en yakın ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafede olanıdır.

5. UYGULAMA

Makalenin bu bölümünde ulaşılmaması planlanan hedeflere yönelik olarak TOPSIS yöntemi ile hesaplamalar yapılmıştır. TOPSIS yöntemi ile HES'lerin kurulum aşamaları ve faaliyete geçme verilerinden faydalanılarak alternatiflerin belirlenmesi söz konusu olmuştur. Bu bağlamda en optimum barajların belirlenmesinde gerçekleştirilen birtakım hesaplamalar yine bu bölümde açıklanmıştır.

5.1. HES için Yer Seçilmesi

Çalışma kapsamında seçilen barajların küçük ve orta büyüklükte olmasına özen gösterilmiştir. Seçilmiş olan barajların hepsi 2000 senesi sonrasında inşa edilmiştir. Çalışmanın tutarlılığı

açısından barajlarda gerçekleştirilecek teknik analiz sonuçlarının birbiriyle benzerlik gösterilmesi hususuna dikkat edilmiştir. Bu bağlamda toplam 17 baraj belirlenmiştir. Bu barajlar alfabetik sıraya göre aşağıdaki gibidir: Aksu Barajı (Erzurum), Berta Barajı (Artvin), Beyhan Barajı (Elazığ), Cizre Barajı (Diyarbakır), Çukurca Barajı (Hakkari), Dilektaş Barajı (Hakkari), Doğanlı Barajı (Hakkari), Eriç Barajı (Erzincan), İvme Barajı (Batman), Kayraktepe Barajı (Mersin), Kemah Barajı (Erzincan), Keskin Barajı (Siirt), Konaktepe Barajı (Tunceli), Pervani Barajı (Siirt), Silopi Barajı (Mardin), Silvan Barajı (Diyarbakır), Yusufeli Barajı (Artvin).

5.2. Kriterlerin Tespit Edilmesi ve Hiyerarşik Yapı Oluşturulması

Bu araştırmada incelenmekte olan HES’ler ile ilişkili olarak toplamda 6 adet kriter belirlenmiştir. Belirlenmiş kriterlerin her birinin HES’ler açısından teknik olarak en önemlisi olması hususuna dikkat edilmiştir. Bu kriterler, kriterlerin birimleri ve kriterleri temsil eden kodlar şu şekildedir;

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kriterler, Birimler ve Kodlar

KRİTER	BİRİM	KOD
Kurulum Gücü	MW	C1
Yıllık Enerji Üretim Kapasitesi	GWh	C2
Net Hidrolik Düşü	Temelden m	C3
Depolama Kapasitesi Alanı (Yüzey Göl Alanı)	Hm ³ / km ²	C4
Türbin (Ünite) Sayısı		C5
Su Seviyesi	m	C6

5.3. Alternatiflerin Belirlenmesi

Bu aşamada seçim veya sıralama yapmak için göz önünde bulundurulması gereken tüm alternatifler karar vericiler tarafından belirlenir.

Tablo 2. Her Bir Kriter İçin Alternatif HES’lerin Hesaplanan Değerleri

ALTERNATİF (SANTRAL ADI)	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1. AKSU	160	136	147	1,8	1	1234
2. BERTA	147	265	138	7,3	2	1059
3. BEYHAN	582	1294	97	1,3	4	982
4. CİZRE	331	1200	135	3,3	6	135
5. ÇUKURCA	771	2164	122	4,3	3	122
6. DİLEKTAŞI	130	316	328	3,2	2	1710
7. DOĞANLI	770	2165	375	4,3	2	365
8. ERİÇ	283	0,8	97	5,7	3	564
9. İVME	152	444	187	3,5	8	102
10. KAYRAKTEPE	282	689	90	59	2	124
11. KEMAH	198	0,57	156	8,3	2	650
12. KESKİN	318	0,90	243	4,3	2	189
13. KONAKTEPE	201	0,58	116	14,2	1	352
14. PERVANİ	409	231	154	3	3	254
15. SİLOPİ	240	1,78	79,5	2	1	93
16. SİLVAN	160	0,68	162	1,8	4	235
17. YUSUFELİ	540	1705	196	2,1	3	1430

Tablo 3'te gösterilen kriterler ve kriterlerin ağırlıkları karar matrisi haline getirilmiştir. Kriterlerin ağırlıkları önem sırasına göre belirlenmiştir. Her bir kriterin ağırlıklarını burada yazmakta yarar var.

Tablo 3. Kriterlere Dair Ağırlıklar

KRİTER	KRİTER İSMİ	KARAR PARAMETRESİ	TOPSIS İDEAL ÇÖZÜM HEDEFİ	AĞIRLIĞI
C1	Kurulu Gücü	Üretim Gücü	Maksimum	0,30
C2	Yıllık-Enerji-Üretimi Kapasitesi	Kapasite	Maksimum	0,30
C3	Net Hidrolik Düşü	Hidrolik Değer	Maksimum	0,10
C4	Depolama Kapasitesi	Depolama	Minimum	0,10
C5	Türbin Sayısı	Teknik-Üretim Kapasitesi	Minimum	0,10
C6	Su Seviyesi	Su Kapasitesi	Minimum	0,10

Tablo 4. TOPSIS ile Hazırlanmış Olan Karar Matrisi

ALTERNATİF	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1.AKSU	160	136	147	1,8	1	1234
2.BERTA	147	265	138	7,3	2	1059
3.BEYHAN	582	1294	97	1,3	4	982
4.CİZRE	331	1200	135	3,3	6	135
5.ÇUKURCA	771	2164	122	4,3	3	122
6.DİLEKTAŞI	130	316	328	3,2	2	1710
7.DOĞANLI	770	2165	375	4,3	2	365
8.ERİÇ	283	0,8	97	5,7	3	564
9.İVME	152	444	187	3,5	8	102
10.KAYRAKTEPE	282	689	90	59	2	124
11.KEMAH	198	0,57	156	8,3	2	650
12.KESKİN	318	0,9	243	4,3	2	189
13.KONAKTEPE	201	0,58	116	14,2	1	352
14.PERVANİ	409	231	154	3	3	254
15.SİLOPİ	2,4	1,78	79,5	2	1	93
16.SİLVAN	160	0,68	162	1,8	4	235
17.YUSUFELİ	540	1705	196	2,1	3	1430

TOPSIS işlem basamakları ile elde edilmiş olan değerler hesaplanmış olan negatif ve pozitif ideal çözüm değerleri eksenindeki S^- ve S^+ olarak ifade edilen uzaklık dereceleri ile hesaplanmıştır. Yine aynı doğrultuda -1 ve $+1$ olarak yakınlık dereceleri hesaplanmış ve en ideal çözüme ve de alternatife erişilmiştir. Bu ekseninde tüm alternatifler bu verilere ve işlem aralıklarına göre belirlenmiştir. TOPSIS işlem basamakları uygulandığında ortaya çıkan yakınlık ve uzaklık değerleri Tablo 5'te yer almaktadır.

Tablo 5. İdeal Çözüme Göre Alternatiflerin Yakınlık ve Uzaklık Değerleri

ALTERNATİF	Si+	Si-	Pi	SIRALAMA
1.AKSU	0,41945	0,05340	0,11292	13
2.BERTA	0,37942	0,08322	0,17989	10
3.BEYHAN	0,17731	0,27216	0,60551	4
4.CİZRE	0,22462	0,23386	0,51007	5
5.ÇUKURCA	0,10458	0,43155	0,80493	2
6.DİLEKTAŞI	0,36805	0,12379	0,25169	7
7.DOĞANLI	0,08450	0,43355	0,83689	1
8.ERİÇ	0,42469	0,06044	0,12459	12
9.İVME	0,35913	0,08897	0,19856	8
10.KAYRAKTEPE	0,31087	0,13971	0,31007	6
11.KEMAH	0,42707	0,05156	0,10773	14
12.KESKİN	0,42681	0,06299	0,12860	11
13.KONAKTEPE	0,43056	0,04093	0,08680	15
14.PERVANİ	0,38205	0,08887	0,18872	9
15.SİLOPİ	0,44491	0,00025	0,00056	17
16.SİLVAN	0,43364	0,03256	0,06984	16
17.YUSUFELİ	0,10124	0,34650	0,77388	3

Hesap edilmiş değerlere göre Tablo 5’te en ideal seçeneklere yer verilmiştir. Bu tablo doğrultusunda bir sıralama yapılmış ve HES’ler için en ideal çözümler tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda 1-Doğanlı, 2-Çukurca, 3-Yusufeli ve 4-Beyhan barajlarının HES yeri seçimi için en ideal değerlere sahip olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Araştırma ekseninde toplamda 17 adet orta ve küçük ölçekli HES’ler belirlenmiştir. Bu HES’lerin hepsi son 20 sene içerisinde inşa edilmiş olan yapılardır. TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiş olan araştırmada toplamda 6 kriter belirlenmiş ve çalışma bu kriterlere göre yapılmıştır. HES’ler için belirlenmiş olan kriterler içerisinde en önemlilerinin kurulum güçleri, yıllık enerji üretme kapasitesi ve net hidrolik düşüleri olduğu tespit edilmiştir.

HES’ler çerçevesinde kurulum güçleri bağlamında analiz gerçekleştirildiğinde en yüksek düzeye sahip olan barajların Çukurca, Doğanlı ve Beyhan olduğu tespit edilmiştir. Yıllık olarak üretim kapasiteleri perspektifinden bakıldığında da Çukurca, Doğanlı ve Beyhan barajlarının üst seviyede olduğu görülmektedir.

Net hidrolik düşüleri analiz edildiğinde ise en yüksek değere sahip barajların Doğanlı, Dilektaş ve Keskin olduğu verisine ulaşılmıştır. Elde edilen veriler analiz edildiğinde HES’lerin sahip olduğu net hidrolik düşülerinin genellikle 100 ya da 100’den daha fazla bir değere sahip oldukları görülmektedir. Araştırma bağlamında elde edilen verilere göre yalnızca tek bir santralin küçük ölçekliler sınıfına dahil olduğu belirlenmiştir. Bu santral ise Silopi’dir. TOPSIS yöntemi ile yapılmakta olan altı aşamalı uygulamada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde kuruluş aşaması en iyi şekilde gerçekleştirilen ve de en verimli biçimde işlerliği olan barajların üst seviyeden başlamak kaydıyla sırasıyla Doğanlı, Çukurca, Yusufeli, Beyhan ve Cizre olduğu görülmüştür.

En etkin alternatiflerin ise büyük ölçekli HES'ler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İncelenmiş olan HES'lerin ebatları değerlendirildiğinde ölçek olarak büyük olan HES'lerin yüzölçümleri ve kapasiteleri ile verimliliğin doğru orantılı olarak pozitif yönde hareketlilik gösterdiği anlaşılmıştır.

Özetle; çalışma kapsamında incelenmiş olan HES'lerin teknik olarak tespit edilen özellikleri ile yıllık üretim kapasitesi ve verimliliklerinin daha yüksek değerlerde sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Ancak, incelenmekte olan barajların tek kıstası kapasite ve verimlilik değildir. Çalışma içerisinde olan 6 kriterin de incelenmesi gerekliliği söz konusudur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda finansal çıktılarında alınması önerilmektedir. Çünkü çalışmanın finansal açıdan yapılması, mali tablolar ile verimlilik analizlerinin de somut çıktılarının ortaya konulacağı anlamını taşımaktadır. Nitekim spesifik olarak finansal çıktılarla çalışmanın genişletilebilmesinin yolu da açıktır. Finansal perspektiften bir incelemenin yapılması mali tablolarla verimlilik analizlerinin somut çıktılarını gözler önüne sermek anlamı taşımaktadır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada Semra ALBAYRAK fikir, araştırma, veri toplama, analiz, yorum ve kaynak taraması makalenin yazımı üzerine katkıda bulunmuştur. Münevver TURANLI analiz, yorum ve eleştiri üzerine makalenin geliştirilmesi konusunda katkı sağlamıştır.

Teşekkür

Yazarlar çalışmanın araştırmasına katkı sağlayan Sayın Ünal Halit ÖZDEN ve Muhammet CEYLAN'a teşekkürlerini sunar.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Ak Oğuz, M. (2018). AHP ve TOPSIS yöntemi ile tedarikçi seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(34), 69-89.

Aslay, F. (2021). TOPSİS çok kriterli karar verme yöntemi ile güneş enerjisi sistemlerinde panel seçimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 548- 551.

Bayazıt, Y. (2013). *Seydisuyu Havzasının hidroelektrik potansiyelinin araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir.

Derse, O. & Yontar, E. (2020). SWARA-TOPSIS yöntemi ile en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(3), 389-419.

Gündoğan, K., & Borat, O. (2021). Çelik yapıda kullanılan endüstriyel boya için AHP ve TOPSİS yöntemleri uygulanarak yapılan tedarikçi seçimi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(40), 162-177.

IHA. (2020). Türkiye'de hidroelektrik enerji santralleri. <https://www.hydropower.org/country-profiles/turkey> adresinden 22 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.

- Külekçi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- Koçak, A., Yazılım seçiminde analitik hiyerarşi yöntemi yaklaşımı ve bir uygulama, *Ege Akademik Bakış Dergisi*, 3(1), 67-77.
- Özden, Ü. H. (2009). Türkiye’de ki mevduat bankalarının performansları: Çok kriterli karar verme yöntemleri ile analiz. *Detay Yayıncılık*. Ankara.
- Şekkeli, M., & Keçecioglu, Ö. (2011). Hidroelektrik santrallerin Türkiye’deki gelişimi ve Kahramanmaraş bölgesi örnek çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 19-26.
- TSKB. (2020). Hidroelektrik enerji santrallerinin değerlendirilmesi. <https://www.tskb.com.tr/tr/arama-sonuc?search=HES>. adresinden 21 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.
- Twidell, J. & Weir, T. (2015). Renewable energy resources. *Routledge. E. F.N. Spon*, London.
- Turanlı, M. (1988). Pazarlama Yönetiminde Karar alma. *İstanbul Beta Basım*. İstanbul.
- Uludağ, A. S. & Doğan, H. (2016). Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(2), 17-48.
- USGS.(2012).Hydroelectric power water use. https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-water-use?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects adresinden 21 Şubat 2022 tarihinde alınmıştır.