

Hidroelektrik Santrallerinde Senkron Generatör Seçimi için AHP–VIKOR Tabanlı Çok Kriterli Bir Karar Yaklaşımı

Gülsüm Yıldırım¹

Emin Yıldırım²

Özet

Bu çalışmada, hidroelektrik santrallerinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılacak en uygun senkron generatör tipinin belirlenmesi amacıyla çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerine dayalı bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Günümüzde enerji üretim sistemlerinde verimlilik, maliyet, güç yoğunluğu ve sürdürülebilirlik gibi kriterlerin önemi giderek artmakta; bu durum, generatör seçiminde tek bir performans göstergesine dayalı yaklaşımları yetersiz kılmaktadır. Bu kapsamda çalışma, farklı fiziksel ve elektromanyetik özelliklere sahip üç alternatif generatör topolojisini ele almaktadır: bakır iletkenli elektriksel uyartımlı senkron generatör, alüminyum iletkenli elektriksel uyartımlı senkron generatör ve sürekli mıknatıslı senkron generatör.

Seçim sürecinde; verim, stator ve rotor maliyeti, nominal yük torku, ekonomik çalışma torku ve güç yoğunluğu olmak üzere beş temel kriter dikkate alınmıştır. Kriterlerin göreceli önem ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile belirlenmiş, alternatiflerin sıralanması ise VIKOR yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AHP sonuçları, maliyet ve verim kriterlerinin karar sürecinde en yüksek ağırlığa sahip olduğunu göstermiştir. VIKOR analizi sonuçlarına göre, düşük maliyet ve yüksek güç yoğunluğu avantajları sayesinde alüminyum uyartım sargılı senkron generatör en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Bakır uyartım sargılı generatör ikinci sırada yer alırken, yüksek mıknatıs maliyeti nedeniyle sürekli mıknatıslı senkron generatör en düşük uygunluk değerine sahip olmuştur.

1 Öğr. Gör. Dr., Düzce Üniversitesi, gulsunyildirim@duzce.edu.tr ORCID: 0000-0001-6075-7310

2 Doç. Dr., Düzce Üniversitesi, eminyildirim@duzce.edu.tr ORCID: 0000-0002-6003-6780

Elde edilen sonuçlar, hidroelektrik santrallerinde generatör seçiminin yalnızca elektromanyetik performansa değil, aynı zamanda ekonomik ve stratejik faktörlere dayalı bütüncül bir yaklaşımla yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

1. GİRİŞ

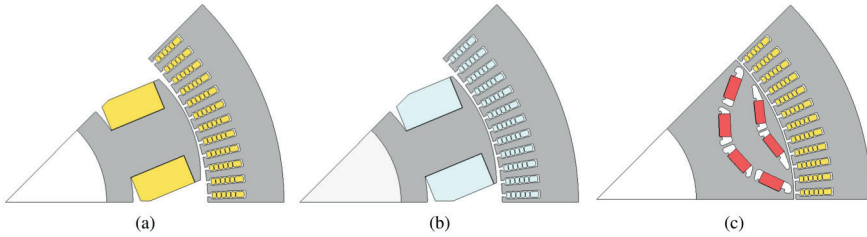
Tüm dünyada PV'e dayalı GES'lerin toplam kurulu güçteki payındaki artışın devam etmesine karşın; elektrik üretiminde termik, nükleer ve hidrolik santrallerin oranı hala oldukça büyüktür. Bu santrallerde çoğunlukla elektriksel uyartımlı senkron generatörler (EUSG) kullanılmaktadır. Bazı rüzgar türbinlerinde de senkron generatörler kullanılmaktadır ve dünyada üretilen toplam elektrik enerjisinde senkron generatörün payı %70-80 aralığındadır. Enerji üretiminin yanında senkron makineler, elektrikli araç itki sistemleri ve pek çok endüstriyel uygulamada da kullanılmaktadır. Senkron makinelerin çalışması için gerekli olan kutup manyetik alanı, elektriksel DC uyartım sargıları veya sürekli mıknatıslar ile sağlanabilir. Elektriksel uyartımlı senkron makinelerde kutup manyetik alanının DC uyartım akımı ile kolayca denetlenmesi, geniş bir tork-hız karakteristiğinde kullanılabilmelerine olanak sağlar. Bu nedenle sürekli mıknatıslı senkron makinelere göre elektrikli araç uygulamalarında tork karakteristiği açısından avantajlıdır. Aynı tork karakteristiğini sürekli mıknatıslı senkron makineler ile elde edebilmek için karmaşık akı kontrol yöntemlerinin uygulanması gerekir. Diğer taraftan sürekli mıknatıslar ile özdeş manyetomotor kuvveti elektriksel uyartım ile sağlamak için, kutup ayaklarının ve kutup sargılarının boyutları arttırılmalıdır. Bu nedenle elektriksel uyartımlı senkron makinelerin güç yoğunlukları mıknatıslı senkron makinelere göre daha düşüktür. Mıknatıs kullanımı, güç yoğunluğunu arttırırken maliyeti de ciddi oranda arttırır. Bu nedenle düşük maliyetli ferit mıknatısların kullanımı, mıknatıs destekli relüktans motorlar ve hatta mıknatıs kullanmayan relüktans motor ve asenkron motorların kullanımı pek çok uygulamada tartışılmaktadır.

Uygulamanın isterlerine göre seçilebilecek motor topolojileri değişkenlik gösterir. Bazı uygulamalarda hangi topolojinin seçileceği tartışılmasız bir gerçekken, bazı uygulamalarda aynı isterleri gösteren birden fazla motor topolojisi olabilir. Rüzgar türbinlerinde, rüzgar hızının kararlılığı ve değişken çalışma hızı esnekliği dikkate alınarak generatör seçimi yapılır. Örneğin, sınırlı değişken hızlı sistemlerde çift beslemeli asenkron generatör (DFIG) tek seçenek olarak gösterilir [1]. Çünkü generatörün kayma parametresi, bu generatörün senkron hızın $\pm\%25$ çalışma hızlarında çalışabilmesine olanak sağlar. Üstelik bunun için generatörün rotor sargılarına bağlanacak düşük güçlü bir güç elektroniği dönüştürücüsü kullanmak yeterlidir. Diğer

taftan, tamamen değişken rüzgar hızlarında çalışan bir rüzgar türbininde ise; tam güçte bir güç dönüştürücü ile birlikte sürekli mıknatıslı senkron generatör (MSG), EUSG veya sincap kafesli asenkron generatör (SCIG) tercih edilebilir.

Elektrikli araçlarda ise yüksek güç yoğunluğu ve sabit güçte çalışma hız aralığı itki motor seçiminde öncelikli kriterlerdir. [2]'de elektrikli araç uygulamaları için Toyota Prius 2010 modelinde kullanılan gömülü mıknatıslı senkron motor, asenkron motor, uyarım sargılı senkron motor, senkron relüktans motor, mıknatıs destekli senkron relüktans motor ve değişken akılı senkron relüktans motor verim ve güç yoğunluğu açısından karşılaştırılmıştır. Uyarım sargılı senkron motor, senkron relüktans motor ve değişken akılı senkron relüktans motor ise düşük tork yoğunluğu ve verim nedeniyle elektrikli araç uygulamaları için karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

Bu çalışmada hidroelektrik santrallerinde mekanik tahrik sistemleri ile elektrik enerjisi üretiminde kullanılacak en uygun senkron generatörün (alternatörler) seçimi incelenmiştir. Sürekli mıknatıslı senkron generatör, alüminyum iletken kullanan EUSG ve bakır iletken kullanan EUSG seçim alternatifi olarak belirlenmiştir. Bakır, alüminyum ve mıknatısın senkron generatördeki varlığı generatörün fiziksel, elektriksel ve elektromanyetik performansına doğrudan etki etmektedir. 315 kW, 5000 rpm özellikleri için belirlenen seçim alternatifleri Şekil 1'de görülmektedir [3]. EUSG'de, uyarım sargısı ve endüvi sargısı aynı iletken tipinde belirlenmiştir. MSG'de ise bakır iletken kullanılmıştır.



Şekil 2. a) Bakır iletkenli EUSG, b) Alüminyum iletkenli EUSG ve c) MSG

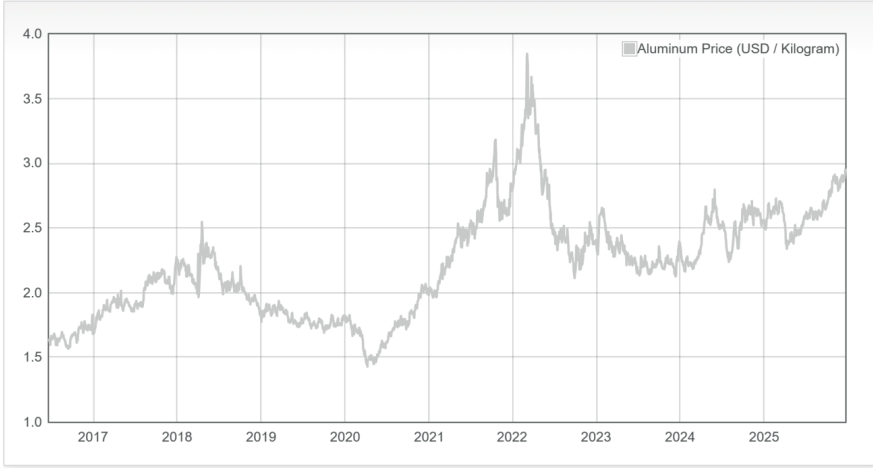
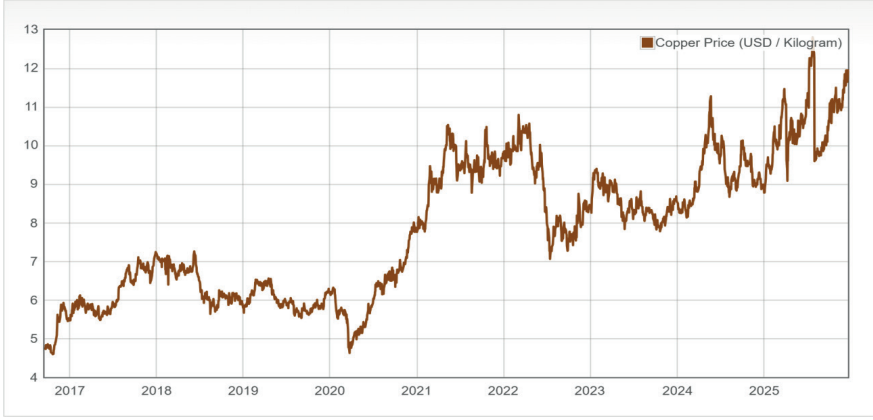
Aynı çalışma isterlerini sağlayan alternatiflerden birkaçı, seçim kriterlerinden bazılarında üstünken, diğerlerinde zayıf olabilir. Bir alternatifin üstün olmadığı bir seçim kriterinde diğer alternatiflerin performansı yüksek olabilir. Bu durumda tüm seçeneklerin her bir seçim kriteri bazındaki üstünlüğü ve sakıncası dikkate alınarak bir karar vermek gerekir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri bu amaca hizmet eder.

2. KARŞILAŞTIRMA KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

SMSG'lerde Neodyum, disprosyum gibi nadir toprak elementlerinden üretilen yüksek manyetik enerji yoğunluklu mıknatıslar kullanılır. Elektriksel iletkenlik kayıpları olmadığından, SMSG'lerin verimlerinin de yüksek olması beklenir. Bu üstünlüklerinin yanında, çalışma koşullarına bağlı olarak mıknatısların demanyetizasyon ve korozyon riskleri vardır. Ayrıca endüstriyel anlamda kullanılan nadir toprak elementlerinin %90'ından fazlası Çin'de üretilmektedir. Günümüzde stratejik ürün olarak bu elementler, ülkelerin ticaret savaşlarında önemli bir rol oynar. SMSG'lerin üretim maliyetinde mıknatıs kalemının yüksek olması ve temin edilebilirlik riskleri de seçimde dikkate alınmalıdır.

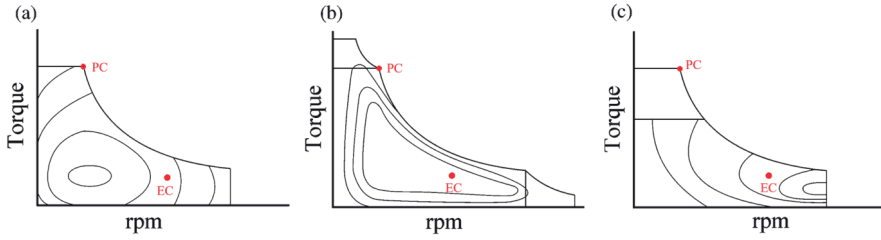
Bir senkron makinenin maliyet, güç yoğunluğu ve verimlilik gibi kritik seçim kriterlerine etki eden bir diğer önemli bileşeni sargılardır. Elektrik makinelerinde genelde bakır veya alüminyum sargılar kullanılır. Bakırın 20 °C'deki elektriksel direnci $1,68 \times 10^{-8} \Omega m$ iken alüminyumun $2,82 \times 10^{-8} \Omega m$ 'dir. Ancak bakırın korozyon dayanımı zayıftır. Ayrıca Şekil 2'de görüldüğü gibi bakır ve alüminyum fiyatları arasında dönemsel olarak farklılıklar görünse de ciddi farklılıklar vardır [4]. Bakırın özgül ağırlığı 8,8-8,95 gr/cm³ iken Alüminyumun özgül ağırlığı 2,7 gr/cm³ civarındadır. Bu nedenle makine seçiminde maliyet, ağırlık ve güç yoğunluğu önemli bir kriter ise iletken türlerinin etkisi de dikkate alınmalıdır. Güç yoğunluğu hacim başına dikkate alınabileceği gibi ağırlık başına da incelenebilir. Hidroelektrik güç santrallerinde hacimden ziyade ağırlık önemli olacağından gravimetrik güç yoğunluğu dikkate alınmalıdır.

Copper Prices for the Last 10 Years



Şekil 3. Bakır ve Alüminyumun fiyat değişimi (grafiklerin dikey eksenini birim maliyet olarak -USD/kg, yatay eksenini yıl olarak verilmiştir)

Elektrik makinelerinin yüklenme performansı, tork-hız karakteristiği üzerinden incelenir. Şekil 3'te gömülü mıknatıslı senkron makine, DC makine ve elektriksel uyarımlı senkron makinenin verim haritaları karşılaştırmalı olarak verilmiştir [5]. DC motor, yüksek hız - düşük tork bölgesinde daha yüksek verimlere sahipken gömülü mıknatıslı motor ise maksimum verimi düşük hız - düşük tork bölgesinde göstermektedirler. Bunun yanında elektriksel uyarımlı senkron makinenin maksimum verimde olan çalışma bölgesi oldukça geniştir. Herhangi bir uygulama için seçilecek makinenin, nominal yük torku (PC) ve yüksek hız ekonomik çalışma torku (EC) noktalarında çalışırken gösterdiği verim değerleri dikkate alınmalıdır.



Şekil 4. a) IPM, b) EUSM ve DC motorda tork-hız grafiklerine göre verim haritaları [2]

3. AHP-VIKOR YÖNTEMİ

Karar problemlerinde, seçimi belirleyen birden fazla kriter söz konusu ise ve tüm kriterler için mutlak bir birinci yoksa seçim için tek kriteri dikkate almak yanıltıcı olabilir. Tüm kriterleri aynı karar içerisinde değerlendirmek için ÇKKV yaklaşımları kullanılır [6].

En uygun seçime ulaşmak için tüm kriterler aynı önem derecesine sahip olabileceği gibi kriterlerden bazıları seçim için diğerlerinden daha önemli ve etkili de olabilir. Bu gibi durumlarda kriter ağırlıklarını belirlemek için en etkili yöntemlerden biri AHP yöntemidir [7].

AHP yöntemi için öncelikle alternatifler ve alternatiflerin seçimi için belirleyici kriterler belirlenir. Daha sonra uzman görüşü alınarak kriterlerin seçim için birbirlerine nispetle önem öncelikleri belirlenir. Bunun için kriterlerin kendi arasında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Karşılaştırma matrisi oluşturulurken Saaty ölçeği [8] Tablo 1 kullanılır.

Tablo 1. Saaty Ölçeği [8]

Değer	Anlamı
1	Eşit derecede önemli
3	Biraz daha önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Tablo 2'de 7 kritere bağlı bir seçim için Karşılaştırma Matrisi örneği verilmiştir. Örnekte kriterlerin önem sırası $C1 > C2 > C3 > C4 > C5$ olacak şekilde belirlenmiştir. Karşılaştırma matrisleri belirlendikten sonra her bir

sütun Eşitlik 1'deki formülle normalize edilir. Böylece Eşitlik 2'de formülü verilen her bir satırın aritmetik ortalaması kriterlerin ağırlık vektörünü (w_i) oluşturur.

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \quad (2)$$

Tablo 2. AHP Karşılaştırma Matrisi Örneği

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	3	5	7	9
C2	1/3	1	3	5	7
C3	1/5	1/3	1	3	5
C4	1/7	1/5	1/3	1	3
C5	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Kriter ağırlıkları AHP ile belirlendikten sonra VIKOR yöntemi uygulayabilmek için öncelikle kriterler ve alternatiflerin karar matrisi oluşturulur [9]. Karar matrisi oluşturulduğunda kriterlerin alternatifler bakımından maksimize edilmesi mi yoksa minimize edilmesi mi faydalı olduğuna karar verilir. Böylece maksimize edilmesi istenen kriterlerin en büyük değeri ve minimize edilmesi istenen kriterlerin en küçük değeri seçimin en iyi değerlerini (f_j^*) ve maksimize edilmesi istenen kriterlerin en küçük değeri ve minimize edilmesi istenen kriterlerin en büyük değeri seçimin en kötü değerlerini (f_j^-) verir. Elde edilen en iyi ve en kötü değerler kullanılarak Eşitlik 3'de verilen " S_i " ve Eşitlik 4'te verilen " R_i " hesaplanır. " S_i " ve " R_i " alternatiflerinin en iyi çözüme uzaklığını ve en kötü çözüme uzaklığını ifade etmektedir

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (3)$$

$$R_i = \max_j \left[w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (4)$$

Son olarak “ S_i ” ve “ R_i ” değerleri kullanılarak Eşitlik 5’te verilen “Çözüm indeksi (Q_i)” hesaplanır. En küçük Q_i değerine sahip alternatif en iyi alternatifi verir.

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (5)$$

Q_i değerinin güvenilir bulunması için iki şarta dikkat edilir. Şartlardan birincisi; Q_i sıralamasına göre en iyi 2 alternatif arasındaki fark $\frac{1}{m-1}$ değeri ile eşit yada büyük olmalıdır. Burada “ m ” alternatif sayısıdır. İkinci şart ise; Q_i sıralamasına göre en iyi alternatifin, “ S_i ” ve “ R_i ” sıralamalarının en az birinde daha en iyi sırada olmalıdır. Bu iki koşulun sağlanması VIKOR yöntem çözümünün tutarlılığını ortaya koyar.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, “Bakır uyartım sargılı senkron generatör (A1)”, “Alüminyum uyartım sargılı senkron generatör (A2)” ve “IPM (A3)” için “Verim (%) (K1)”, “Stator Sargısı + Rotor Bobini veya Kalıcı Mıknatısların Maliyeti (\$) (K2)”, “Nominal yük torku (Nm) (K3)”, “Ekonomik çalışma torku (Nm) (K4)” ve “Güç yoğunluğu (kW/kg) (K5)” kriterlerine göre değerlendirilerek, en uygun alternatifin bulunması amaçlanmıştır. Alternatiflerin seçiminde birden fazla kriter etkili olduğu için ÇKKV yöntemlerinde hibrit AHP-VIKOR yöntemi kullanılmıştır.

Kriterler için K1, K3, K4 ve K5 maksimize, K2 kriterinin ise minimize edilmesi alternatiflerin faydasına olduğu değerlendirilmiştir. Bu aşama alternatifler ve kriterler için oluşturulmuş Karar Matrisi Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3’teki veriler referans çalışmadan alınmıştır [3].

Tablo 3. Karar Matrisi [9]

Alternatifler Kriterler	A1	A2	A3
K1	97,90	97,30	97,80
K2	139,20	12,90	182,30
K3	611,00	612,00	615,00
K4	93,00	91,00	96,00
K5	6,34	8,11	6,31

Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için kriterlerin kendi aralarında oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te görüleceği üzere K1 ve K2 kriterleri seçim için en önemli kriterler olarak değerlendirilmiştir ve önem ağırlıkları eş değerdir. Önem sırasını K3 kriteri takip etmektedir. K3 ve K4 kriterlerinin seçim üzerindeki önemleri diğer kriterler nispeten daha azdır.

Tablo 4. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1	3	5	5
C2	1	1	3	5	5
C3	1/3	1/3	1	3	3
C4	1/5	1/5	1/3	1	1
C5	1/5	1/5	1/3	1	1

İkili karar matris elemanları kullanılarak Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 hesaplanmıştır. Böylece AHP yöntemi ile Tablo 5'te verilmiş olan kriter ağırlıkları (w_i) elde edilmiştir.

Tablo 5. Kriter ağırlık değerleri

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5
w_i	0,30	0,30	0,20	0,10	0,10

VIKOR yöntemi uygulaması için öncelikle kriterlerin maksimize ya da minimize edilmesi durumuna göre alternatiflerin en iyi ve en kötü

performansları belirlenir. Belirlenmiş olan en iyi ve en kötü değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. En iyi ve en kötü değerler

Kriter	f^*	f^-	Yön
C1	97,9	97,3	max
C2	12,9	182,3	min
C3	615	611	max
C4	96	91	max
C5	8,11	6,31	max

Daha sonra Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te verilen formüllerle kriter ağırlıkları da kullanılarak " S_i " ve " R_i " değerleri hesaplanır. Son olarak Eşitlik 5'te verilen formülle alternatiflerin " Q_i " değerleri hesaplanır. " S_i ", " R_i " ve " Q_i " değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Alternatiflerin performans sonuçları

Alternatif	S_i	R_i	Q_i	Sıra
A2	0,19	0,1	0	1
A1	0,36	0,3	0,44	2
A3	0,58	0,3	1	3

Nihai sonuca göre en düşük maliyet, en yüksek güç yoğunluğu ve kabul edilebilir seviyede verim özellikleri sayesinde "Alüminyum uyartım sargılı generatör" en uygun alternatif olduğunu ortaya koymuştur. En yüksek verime sahip olmasına rağmen yüksek maliyete sahip olması nedeniyle "Bakır uyartım sargılı generatör" uygunluk sırasında 2. olmuştur. Tork açısından güçlü olmasına rağmen çok yüksek mıknatıs maliyetleri nedeniyle, fiyat kriterinin önem ağırlığının yüksek olmasının da katkısıyla uygun olmaya en uzak alternatifin "IPM" olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, hidroelektrik santrallerinde kullanılacak senkron generatör tipinin seçimi problemi, hibrit AHP-VIKOR yöntemi kullanılarak çok kriterli bir karar verme çerçevesinde ele alınmıştır. İncelenen alternatifler; bakır uyartım sargılı senkron generatör, alüminyum uyartım sargılı senkron generatör ve sürekli mıknatıslı senkron generatördür. Seçim sürecinde verim,

maliyet, nominal tork, ekonomik çalışma torku ve güç yoğunluğu kriterleri birlikte değerlendirilmiştir.

AHP analizi sonuçları, maliyet ve verim kriterlerinin karar sürecinde belirleyici rol oynadığını göstermiştir. VIKOR yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçlarına göre, alüminyum uyarım sargılı senkron generatör en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin karşılaştırmasında referans çalışmadaki veriler dikkate alınmıştır. Sonuçta, alüminyum iletkenin düşük maliyeti ve yüksek güç yoğunluğu sağlaması etkili olmuştur. Bakır uyarım sargılı senkron generatör, yüksek verim değerlerine rağmen maliyet dezavantajı nedeniyle ikinci sırada yer almıştır. Sürekli mıknatıslı senkron generatör ise yüksek mıknatıs maliyetleri ve tedarik riskleri nedeniyle uygunluk açısından son sırada kalmıştır.

Sonuç olarak, hidroelektrik santrallerinde generatör seçiminin yalnızca teknik performans kriterleriyle değil, aynı zamanda ekonomik, stratejik ve tedarik risklerini de içeren çok boyutlu bir değerlendirme ile yapılması gerektiği ortaya konulmuştur. Çalışmada kullanılan AHP-VIKOR yaklaşımı, benzer enerji üretim ve elektrik makinesi seçim problemleri için de uygulanabilir nitelikte genel bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.

Referanslar

- [1] Patil, N. S., & Bhosle, Y. N. (2013, February). A review on wind turbine generator topologies. In 2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC) (pp. 625-629). IEEE
- [2] Zhu, Z. Q., Chu, W. Q., & Guan, Y. (2017). Quantitative comparison of electromagnetic performance of electrical machines for HEVs/EVs. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, 1(1), 37-47.
- [3] Petrelli, G., Nuzzo, S., Zou, T., Cutuli, G., Barater, D., & Gerada, C. (2024, September). On comparing aluminum and copper in wound field synchronous motors for traction applications. In *2024 International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (pp. 1-7). IEEE.
- [4] <https://www.dailymetalprice.com/metalpricecharts.php>
- [5] De Santiago, J., Bernhoff, H., Ekergård, B., Eriksson, S., Ferhatovic, S., Waters, R., & Leijon, M. (2011). Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 61(2), 475-484.
- [6] Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., & Mardani, A. (2019). Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008–2018. *Symmetry*, 11(3), 350.
- [7] Podvezko, V. (2009). Application of AHP technique. *Journal of Business Economics and management*, (2), 181-189.
- [8] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- [9] Jahan, A., Mustapha, F., Ismail, M. Y., Sapuan, S. M., & Bahraminasab, M. (2011). A comprehensive VIKOR method for material selection. *Materials & Design*, 32(3), 1215-1221.