



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Enerji üretim yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin istatistiksel ve analitik olarak karşılaştırması: Türkiye örneği

*Statistical and analytical comparison of multi-criteria decision making methods in the evaluation of energy generation investment alternatives: The case of Turkey*

Yazar(lar) (Author(s)): Nermin AVŞAR ÖZCAN<sup>1</sup>, Merve BULUT<sup>2</sup>, Evrencan ÖZCAN<sup>3</sup>, Tamer EREN<sup>4</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-3754-9676

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-4412-9071

ORCID<sup>3</sup>: 0000-0002-3662-6190

ORCID<sup>4</sup>: 0000-0001-5282-3138

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Avşar Özcan N., Bulut M., Özcan E. ve Eren T., “Enerji üretim yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin istatistiksel ve analitik olarak karşılaştırması: Türkiye örneği”, *Politeknik Dergisi*, 25(2): 519-531, (2022).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.763579

# Enerji Üretim Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin İstatistiksel ve Analitik Olarak Karşılaştırması: Türkiye Örneği

## Statistical and Analytical Comparison of Multi-Criteria Decision Making Methods in the Evaluation of Energy Generation Investment Alternatives: The Case of Turkey

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Literatürde ilk kez yenilenebilir, fosil ve çekirdek enerji üretimi yatırım alternatiflerinin 7 farklı ÇKKV yöntemi ile değerlendirilmesi (Evaluation of renewable, fossil and core energy generation investment alternatives with 7 different MCDM methods for the first time in the literature)
- ❖ 7 yöntemle elde edilen çözümlerin Kruskal-Wallis ile analizi ve yöntemlerin Spearman korelasyon analizi ile karşılaştırılması (Analysis of the solutions obtained by 7 methods with Kruskal-Wallis and comparison of the methods with Spearman correlation analysis)
- ❖ ANP ile sosyal kabul faktörünün hesaplanması (Calculation of social acceptance factor with ANP)

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Enerji üretim yatırım alternatifleri 7 farklı çok kriterli karar verme yöntemi ile değerlendirilmiştir./ Energy generation investment alternatives were evaluated with 7 different multi-criteria decision making methods.



Şekil. Enerji üretim yatırım alternatiflerin yöntemlere göre sıralanması /Figure. Ranking of energy generation investment alternatives by methods

### Amaç (Aim)

Genel amaç, enerji üretimi alanındaki yatırımların sürdürülebilir enerji politikasının geliştirilmesi üzerindeki etki düzeyini arttırmaktır./ The overall aim is to increase the level of influence of investments in the field of energy generation on the development of sustainable energy policy.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

7 farklı çok kriterli karar verme yöntemi, Spearman sıra korelasyonu ve parametrik olmayan Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır./ 7 different multi-criteria decision making methods, Spearman rank correlation and nonparametric Kruskal-Wallis test were used.

### Özgünlük (Originality)

ÇKKV sonuçlarının istatistiksel tutarlılığı ve yöntemler arasındaki ilişki analiz edilmiştir./ The statistical consistency of MCDM results and the relationship between methods were analyzed.

### Bulgular (Findings)

ANP-ELECTRE ve ELECTRE-COPRAS çözümleri arasındaki korelasyon pozitif yönlü olarak hesaplanmıştır./ The correlation between ANP-ELECTRE and ELECTRE-COPRAS solutions was calculated positively.

### Sonuç (Conclusion)

Sürdürülebilir bir enerji politikası geliştirmek için ÇKKV yöntemlerini kullanmak ve bu yöntemin sonuçlarının istatistiksel tutarlılığını test etmek değişken şartlardaki kararlara çok yönlülük katar./ Using MCDM methods to develop a sustainable energy policy and testing the statistical consistency of the results of this method adds versatility to decisions under variable conditions.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Enerji Üretim Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin İstatistiksel ve Analitik Olarak Karşılaştırması: Türkiye Örneği

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Nermin AVŞAR ÖZCAN<sup>1</sup>, Merve BULUT<sup>2</sup>, Evrencan ÖZCAN<sup>2</sup>, Tamer EREN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Üretim A.Ş., Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 03.07.2020 ; Kabul/Accepted : 07.10.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 08.10.2020)

## ÖZ

Küresel dünyada ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hamlelerini gerçekleştirmeleri sürecinde enerji kavramı önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle enerji üretimi alanında yapılacak yatırımların sürdürülebilir enerji politikası geliştirilmesi üzerindeki etki düzeyi, ülkelerin global pozisyonlarını yukarı noktalara taşıyan bir ölçüt olarak dünya genelinde dikkate alınmaktadır. Bu bağlamda, ülkelerin sahip oldukları yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından en üst düzeyde yararlanacak şekilde yatırımlar yapması, sürdürülebilir enerji politikalarının 4 sac ayağı olan ekonomiklik, kesintisizlik, çevreye duyarlılık ve verimlilik kriterlerinin tamamına etki etmesi açısından bir zorunluluk halini yansıtmaktadır. Bu doğrultuda, literatürde problem yapısının çok kriterli karar verme yöntemlerine uygunluğunu dikkate alan ve farklı yöntemler kullanarak bölgesel ya da ulusal düzeyde gerçekleştirilen birçok çalışma da bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada literatürden farklı olarak, potansiyel tüm enerji kaynaklarından Türkiye için muhtemel yatırım yapılabilecek olanlar analitik olarak hesaplanmış, veri temelli ve kapsayıcı kriterler altında değerlendirilmiştir. Problem yapısına uygun olan literatürde kabul görmüş 7 yöntem/yöntem kombinasyonu ile enerji yatırım alternatifleri sıralama problemi literatürde ilk kez bu çalışma ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Türkiye özelinde, dünya enerji sektörü açısından ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonuçları göstermiştir ki yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar ve hidroelektrik enerjisi sürdürülebilir enerji politikasına katkı sağlarken diğer yandan fosil kaynaklar içerisinde yer alan doğalgazın, Türkiye açısından uzun yıllar vazgeçilmez bir yatırım kaynağı olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca tüm çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile de yüksek ilişkili korelasyona sahip oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum sürdürülebilirlik açısından anlamlı kriterlerin bir araya getirildiğini de doğrular niteliktedir. Gerçek hayatta tutarlı ve istatistiksel olarak anlamlı sonuçların elde edildiği bu çalışmanın, sürekli değişen koşullara cevap verebilecek sürdürülebilir enerji politikalarının üretilmesine olanak sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji kaynakları, yatırım değerlendirmesi, çok kriterli karar verme.

## Statistical and Analytical Comparison of Multi-Criteria Decision Making Methods in the Evaluation of Energy Generation Investment Alternatives: The Case of Turkey

### ABSTRACT

Energy plays an important role in the countries realization of sustainable development moves in the global world. Especially, the influence level of investments to be made in the energy generation field on the development of sustainable energy policy is taken into consideration as a criterion that takes the global positions of the countries upwards. In this context, the fact that countries make investments to utilize the domestic and renewable energy resources they possess at the highest level reflects a become a necessity in terms of affecting all the criteria of economy, uninterruptedness, environmental awareness, and efficiency, which are the 4 pillars of sustainable energy policies. Accordingly, there are many studies in the literature that consider the suitability of the problem structure for multi-criteria decision-making methods and that are carried out at the regional or national level using different methods. However, in this study, unlike the literature, potential investments from all energy resources can be realized for Turkey have been evaluated under the criteria, which are calculated analytically, base of data and overarching. Energy investment alternatives ranking problem has been solved by using 7 methods/method combinations suitable for problem structure and recognized methods in the literature for the first time and obtained results have been evaluated in terms of Turkey, global energy sector and statistically. While these evaluation results have shown that wind and hydroelectric energy, which are among the renewable energy sources, contribute to the sustainable energy policy, in other hands, natural gas, which is among the fossil resources has been concluded that will be an indispensable source of investment for many years in terms of Turkey. In addition, it was concluded that the results obtained from all solution methods have a high correlation with statistical evaluation. This situation has confirmed that have been gathering significant criteria for sustainable energy. It is expected to enable creation of sustainable energy policies that can meet the ever-changing conditions by this study which includes the results that consistent with real life and statistically significant.

**Keywords:** Energy resources, investment evaluation, multi-criteria decision making.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : tamereren@gmail.com

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Küresel dünyada sosyal devlet anlayışıyla yönetilen ülkelerin en temel ihtiyaçlarından birisi, ekonomik ve toplumsal gelişimin de sürükleyici unsuru olan, enerjidir. Enerji sektörünün, sosyal ve ekonomik birçok parametreden etkilenen kompleks bir sistem olması, enerji kavramına olan bakışın çok yönlü ele alınmasını bir zorunluluk haline getirmiştir [1]. Bu kapsamda, dünyada gelişmiş ülkelerin uyguladığı sürdürülebilir enerji politikaları, kişi başına kullanılan enerji tüketim miktarını her ne şekilde olursa olsun artırmanın aksine, enerjiyi kesintisiz, ekonomik, verimli, çevreye duyarlı ve güvenilir bir şekilde üretmek ve son kullanıcılara sunmak için sistemler geliştirmeye odaklanmıştır. Bu kapsamlı amaçlara özellikle geliştirmekte olan ülkelerde ulaşmak için ekonomik anlamda büyümenin enerji arz yatırımlarıyla paralel olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir [2]. Çünkü, enerji kaynakları ve/veya bu kaynakların kullanımı ile enerji üreten teknolojilerin sıklıkla bu ülkelerde ithal ediliyor olması, söz konusu ülkelerin dışa bağımlılık oranını önemli seviyede yükseltmektedir. Şüphesiz bu durum da gelişmekte olan ekonomiler açısından önemli bir küresel dezavantajdır. Özellikle, enerji üretim tesislerinin yüksek maliyetli büyük altyapı yatırımları olması nedeniyle, hem küresel çapta önemli bir konuma gelmek hem de toplumsal refah düzeyini yükselterek sosyal devlet görevini yerine getirmek adına, Türkiye gibi stratejik önemi ve etkisi çok yüksek, gelişmekte olan ekonomilerin enerji üretim sektörüne yapacakları yatırımlarını sürdürülebilir politikalar dahilinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, enerji üretim yatırım alternatiflerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, ülkelerin küresel rekabet güçlerini artıracak önemli avantajlar elde etmelerine olanak sağlayacaktır yorumunu yapmak yanlış olmayacaktır.

Enerji üretim yatırım alternatiflerinin analitik olarak değerlendirilmesi ve en uygun sıralamanın elde edilmesi problemi, sürdürülebilir enerji politikalarının kapsamlı hedeflerini gerçekleştirmeye hizmet edecek olması nedeniyle kaynak mevcudiyetinden yatırım maliyetine, çevresel etkilerden istihdam olanaklarına kadar birçok kriterin eş zamanlı olarak dikkate alınmasını gerektiren bir karar problemidir. Problemin bu yapısı dikkate alındığında, kararların doğruluk derecesini ve kalitesini arttıran çok kriterli karar verme yöntemleri, problem çözüm sürecini açık ve rasyonel bağlamda destekler niteliktedir. Çünkü uygulama aşamaları anlaşılır, kısa süreli ve kolay olan bu yöntemler, karar sürecini probleme etki eden tüm parametrelerin dikkate alınmasını sağlayarak yapılandırmakta, karar vericilerin ölçülemeyen düşüncelerini de probleme yansıtıma olanak sağlamakta ve bu sayede kabul edilebilir ve gerçek hayatla tutarlı sonuçlar vermektedir [3]. Bu doğrultuda, problemlerin bu yapıda olduğu sağlık [4,5], ulaşım[6,7], bakım[8], tedarik [9,10] ve enerji [11] gibi birçok farklı alanlarda da çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulduğu akademik çalışma ile de kanıtlanmıştır. Belirtilen bu avantajları sebebiyle, enerji

kaynak alternatiflerinin karşılaştırılması için literatürde çok kriterli karar verme yöntemleri Çizelge 1.'de özetlenen birçok çalışmada kullanılmıştır.

Çizelge 1.'deki çalışmalarda sıklıkla kullanılan yöntemlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Bulanık AHP ve Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE) olduğu görülmektedir. Bunlarla birlikte, özellikle kriter ağırlıklarının hesaplanması için AHP ile entegre edilmiş diğer sıralama algoritmaları da enerji üretim alternatiflerinin kıyaslanması için literatürde kullanılmıştır. Çizelge 1.'de sunulan çalışmalarda enerji kaynak alternatifleri sıralanırken sürdürülebilirlik [12,22], ilk yatırım maliyeti [13,16,20], seviyelendirilmiş birim üretim maliyeti [12], işletme ve bakım maliyeti [17,19,21], verimlilik [14,16,25], sera gazı ve partikül salınımı [15,18,23] ve arazi kullanımı [17,19,24] gibi birçok temel kriter dikkate alınmıştır. Bu kriterler genellikle, teknik, ekonomik ve çevresel başlıklar altında değerlendirilebilecek kriterler olmakla birlikte, enerji kaynak alternatiflerinin karşılaştırılması için sosyal, toplumsal ve politik etkileri olan kriterler de literatürdeki çalışmalarda dikkate alınmıştır. Bu kriterler arasında en önemli kriter sosyal kabul faktörüdür. Sosyal kabul faktörü, yapılacak bir enerji üretim tesisinin bölge halkı tarafından kabul edilme düzeyini ifade etmektedir. Ülkelerin temel görevlerinden bir tanesinin de halkın refah düzeyini artırmak olduğu ve sürdürülebilir enerji politikalarının da bu ana amacın bir parçası olduğu düşünüldüğünde bu kriterin önemi ortaya çıkmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda da bu gereklilik fark edilmiş ve bazı çalışmalarda [22-24] problemin kapsamına sosyal kabul faktörü dahil edilmiştir.

Yine Çizelge 1.'den görüleceği üzere, kıyaslanan enerji alternatiflerinin çeşitliliği dikkat çekmektedir. Literatürde sadece yenilenebilir kaynak alternatiflerinin değerlendirildiği çalışmalar [17-19] var olduğu gibi, fosil kaynaklı yakıtlarla, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve nükleer enerjiyi [3,12,24] birlikte değerlendiren çalışmalar [12,13,15] da yapılmıştır.

Yukarıda sunulan açıklamalar, problemin önemini, literatürde yapılan çalışmaları ve Türkiye'nin enerji özelindeki stratejik hedeflerini içermektedir. Bunların dikkate alındığı bu çalışmada, sağladıkları avantajlar ve sundukları etkili sonuçlarla literatürde ön plana çıkan AHP, Analitik Ağ Prosesi (ANP), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Elimination and Choice Translating Reality English (ELECTRE), VİseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), Complex Proportional Assessment (COPRAS) ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak Türkiye'de enerji üretimi için yenilenebilir (hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermal ve biokütle), fosil (taş kömürü, linyit ve doğalgaz) ve çekirdek (nükleer) başlıkları altındaki enerji kaynaklarının yatırım önceliklendirmesi problemi ele alınmıştır. Çalışmada ilk olarak, enerji sektöründe üretim, iletim ve dağıtım alanlarında en az 15 yıl tecrübeye sahip mühendislik disiplinlerinden 10 uzmanın görüşleri, Enerji ve Tabii

**Çizelge 1.** Literatür özeti (Literature overview)

Yazar	Enerji kaynak alternatifleri	Yöntem	Yayın yılı
Topçu ve Ülengin [12]	Hidroelektrik, rüzgar, güneş, biokütle, fosil yakıtlar, doğalgaz ve nükleer enerji	PROMETHEE I ve II	2004
Pohekar ve Ramachandran [13]	Gaz yağı, biokütle, LPG, elektrik ve güneş	PROMETHEE	2004
Doukas vd. [14]	Kömür, doğalgaz, akaryakıt, biokütle, rüzgar ve güneş	PROMETHEE II	2006
Ghafghazi vd. [15]	Doğalgaz, biokütle, jeotermal ve atık ısı geri kazanımı	PROMETHEE I ve II	2010
Theodorou vd. [16]	Güneş (Faklı teşvik değerlerine sahip 3 PV tesisi)	AHP, ELECTRE, PROMETHEE	2010
Kahraman ve Kaya [3]	Nükleer enerji, biokütle, kömür, petrol, hidroelektrik, jeotermal, doğalgaz, rüzgar ve güneş	Bulanık AHP	2010
Kaya ve Kahraman [17]	Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidroelektrik	AHP, Bulanık VIKOR	2010
Yi vd. [18]	Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidroelektrik	AHP, BOCR	2011
Sadeghi vd. [19]	Güneş, rüzgar, jeotermal, hidroelektrik	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS	2012
Ertay vd. [20]	Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidroelektrik	MACBETH, Bulanık AHP	2013
Yazdani-Chamzini vd. [21]	Rüzgar, hidroelektrik, güneş, biokütle	AHP, COPRAS	2013
Tasri ve Susilawati [22]	Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidroelektrik	Bulanık AHP	2014
Büyükoçkan ve Güleriyüz [23]	Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidroelektrik	AHP, Bulanık TOPSIS	2014
Abdullah ve Najib [24]	Geleneksel enerji, nükleer enerji, rüzgar, güneş, hidroelektrik, biokütle, CHP	Bulanık AHP	2016
Stojcetovic vd. [25]	Güneş, rüzgar, biokütle, jeotermal, hidroelektrik	SWOT Analizi, AHP	2016

Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2019–2023 Stratejik Planında yer alan Türkiye'nin enerji stratejileri ve hedefleri [26] ile literatürdeki çalışmalar referans alınarak 4 ana başlık altında 12 değerlendirme kriteri yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi için belirlenmiştir. Bu kriterlere göre enerji kaynak alternatiflerinin yukarıda bahsedilen 7 çok kriterli karar verme yöntemi ile karşılaştırmaları yapılmış ve elde edilen sonuçların istatistiksel açıdan anlamlılığı incelenmiştir.

Ülkelerin küresel rekabet gücünden toplumsal refah düzeyine kadar yukarıda belirtilen etkileri ile önemli bir problem olan en uygun enerji üretim yatırım öncelik sıralamasının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın yenilikçi yönleri ve literatüre kazandırdıkları aşağıda özetlenmiştir:

- Bu çalışma, sunduğu avantajlar nedeniyle literatürde sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden öne çıkan 7 yöntem [27] ile enerji kaynak yatırım alternatiflerini değerlendiren literatürdeki ilk çalışmadır. Çizelge 1.'den de görüleceği üzere, literatürde en çok 3 yöntem bu problemin çözümünde kullanılmıştır. Bu çalışmada, 7 yöntemle elde edilen çözümlerin istatistiksel olarak anlamlılığı da enerji kaynaklarının karşılaştırılması açısından literatürde ilk kez gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç, literatürde etkinlikleri birçok farklı karar probleminde kanıtlanmış yöntemlerin enerji kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesinde gösterecekleri performansı hem gerçek hayat tutarlılığı hem de istatistiksel olarak incelemektir. Bu nedenle, yöntemlerin kullanımı ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve gerçek hayatla tutarlı

olan sonuçların istatistiksel olarak da anlamlı olduğu gösterilmiştir. Bu kapsamda, küresel değişkenliklere göre revize edilmesi ya da yeniden belirlenmesi gereken stratejilere bu çalışmanın ışık tutması beklenmektedir.

- Çizelge 1.'deki çalışmalar incelendiğinde, karşılaştırılan kaynakların bu çalışmaların birçoğunda benzer olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, bunlardan sadece 2 tanesinde [3,14] kömür kaynağı incelenmiştir. Kömür rezervi olan ülkelerin çoğunda Türkiye'de de olduğu gibi farklı kalorifik değer, büyüklük, nem ve kül oranı gibi teknik spesifikasyonlara sahip kömürler yer almaktadır. Türkiye açısından bu ayırım 2 ana başlık altında yapılmaktadır. Bunlar, linyit ve taş kömürüdür.
- [26,28]. Türkiye'nin ana enerji stratejilerinin başında yerli kaynak kullanımı olduğu ve bu iki kaynak için de Türkiye'de potansiyel mevcudiyet düşünüldüğünde, problemin kapsamı gerçeği yansıtacak şekilde literatürde ilk kez linyit ve taş kömürünün ayrı ayrı değerlendirildiği bu çalışma ile genişletilmiştir.
- Bu çalışmada, Türkiye açısından enerji üretim yatırım önceliklendirmesi probleminde etki edebilecek tüm teknik, ekonomik, çevresel ve sosyo-politik değerlendirme kriterleri dikkate alınmıştır. Bu kriterler, Çizelge 1.'deki çalışmaların birçoğundan az olmak üzere yukarıda belirtilen esaslarla belirlenmiş olup, problemi tam yansıması koşuluyla minimal düzeyde tutularak çözüm sürecinin etkinliği sağlanmaya çalışılmıştır. Hem gerçek hayat hem de istatistiksel açıdan tutarlı olarak elde edilen sonuçlar

kriterlerin yeterli sayı ve kapsamda belirlendiğini göstermektedir.

- Literatürdeki diğer çalışmalarda da dikkate alınan sosyal kabul faktörü, yukarıda gerekçeleri belirtildiği üzere bu probleme dahil edilmesi gereken önemli bir kriterdir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde bu sosyo-politik kriterin ya belirlenme süreci ile ilgili bir bilgi verilmediği, ya da 1-10 arasında değerler atandığı görülmüştür. Bununla ilgili olarak, problemin çözüm sonucunu değiştirebilecek bir etkiye sahip olması nedeniyle daha analitik olarak belirlenmelidir şeklinde bir yorum yapmak yanlış olmayacaktır. Bu kapsamda, literatürde ilk kez bu çalışmada sosyal kabul faktörü oluşturulan bir ağ yapısı kullanılarak ANP ile belirlenmiştir.

Bölgesel, ülke çapında ve küresel ölçekte etki düzeyi yukarıda açıklanan enerji üretim kaynaklarının karşılaştırılması problemi, literatürde son yıllarda çalışılmamış bir konu haline gelmiştir (Çizelge 1). Yukarıda sayılan yenilikçi yönler ve beklenen katkılar ile bu durum birlikte ele alındığında, güncel olan bu çalışmanın hem bu probleme hem de problemin ilişkili olabileceği diğer kritik problemlerin çözümüne katkı sunması beklenmektedir.

## 2. ENERJİ ÜRETİM YATIRIM ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ (THE EVALUATION OF ENERGY GENERATION INVESTMENT ALTERNATIVES)

Nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olgusu, ekonomik büyüme ve sürekli gelişen teknoloji, enerjiye olan talebi tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de artırmaktadır. 2002 yılından bu yana yıllık ortalama %5,5’lik enerji talep artış oranıyla Türkiye, OECD üye ülkeleri arasında birinci sırada yer almaktadır. 2019 yılında 303,7 TWh olarak gerçekleşen elektrik tüketimini kesintisiz olarak karşılamak için, 2020 Nisan sonu itibarıyla 91.565 MW’a ulaşan kurulu gücünü Türkiye her geçen gün artırmaktadır [29]. Artan enerji talebini sadece kesintisizlik hedefi doğrultusunda karşılamak geçerli bir politika değildir. Çünkü, büyük alt yapı yatırımları grubunda yer alan enerji üretim santralleri milyonlarca dolarlık yatırım bütçelerine sahiptir. Bu nedenle de ekonomik ilkesi bir enerji politikasının vazgeçilmez unsurlarındandır. Bununla birlikte hem kesintisiz arz hem de ekonomik üretime destek veren verimlilik prensibinin yanına küresel zorunluluklardan dolayı dahil edilmesi gereken çevreye duyarlılık kriteri de eklenince sürdürülebilir bir enerji politikasına ulaşılabilmektedir. Görüldüğü gibi, bu tip kapsamlı bir enerji politikası hem sürekli enerji arzını destekleyecek ve toplumsal gereksinimleri karşılayarak refah düzeyini yükseltecek, hem de ülkenin küresel rekabet gücünü artıracaktır. İşte sürdürülebilir bir enerji politikasına sahip olan Türkiye bu kapsamda, her 5 yılda bir enerji strateji ve hedeflerini güncellemekte ve 4 yıllık stratejik planlar hazırlamaktadır. ETKB 2019-2023 Stratejik Planı da, bu

kapsamda oluşturulmuş bir strateji dokümanı olarak temelde, Türkiye’nin küresel rekabet gücünü artırmak için kaynak ve teknoloji ithalatını minimize etmeyi, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarını ekonomiye kazandırmayı ve yüksek verim, düşük maliyet ve kesintisiz arz gibi avantajlar sağlayan nükleer enerji teknolojilerinin kullanımını amaçlayan stratejiler içermektedir [26].

Buradan hareketle, literatürdeki çalışmalar da dikkate alınarak bu çalışmada, Türkiye’de elektrik üretiminde kullanılan ve yakın gelecekte kullanılması hedeflenen enerji kaynaklarının ekonomiye kazandırılması için yapılacak santral yatırımlarının öncelik sıralamasının teknik, ekonomik, çevresel ve sosyo-politik faktörlere bağlı 12 kriter dikkate alınarak, literatürde kabul görmüş olan 7 farklı çok kriterli karar verme yöntemi (AHP [30], ANP [31], TOPSIS [32], ELECTRE [33], PROMETHEE [34], VIKOR [35], COPRAS [36]) ile elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, bahsedilen tüm algoritma yapıları incelenmiş ve tek bir akış içerisinde Şekil 1’de sunulmuştur.

### 2.1. Değerlendirilen Enerji Kaynakları (Energy Resources Evaluated)

Enerji sektörünün dinamik olduğu günümüz dünyasında ülkeler, yeterli miktarda ve katlanılabilir maliyetlere sahip enerji arzını gerçekleştirmek için çevreye duyarlı ve verimli teknolojilerin arayışı içerisinde dirler. Bu doğrultuda Türkiye’de başta rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji üretim portföyündeki paylarının artırılmasına yönelik çabalarını sürdürmektedir. Ayrıca, yüksek verimleri, çevresel emisyonlarının çok düşük olması, yüksek istihdam olanakları sunması ve yüksek üretim kapasiteleri ile dünyada tercih edilen nükleer güç santrallerinin kurulumu da Türkiye’nin stratejik hedefleri arasında yer almaktadır [26]. Bununla birlikte, dünya enerji ihtiyacının %87’lik kısmı fosil kaynaklardan karşılanmaktadır [37]. Bu durum, fosil (özellikle kömür ve doğalgaz) yakıtsız bir geleceğin uzun yıllar öngörülemeyeceği gerçeğini de gözler önüne sermektedir.

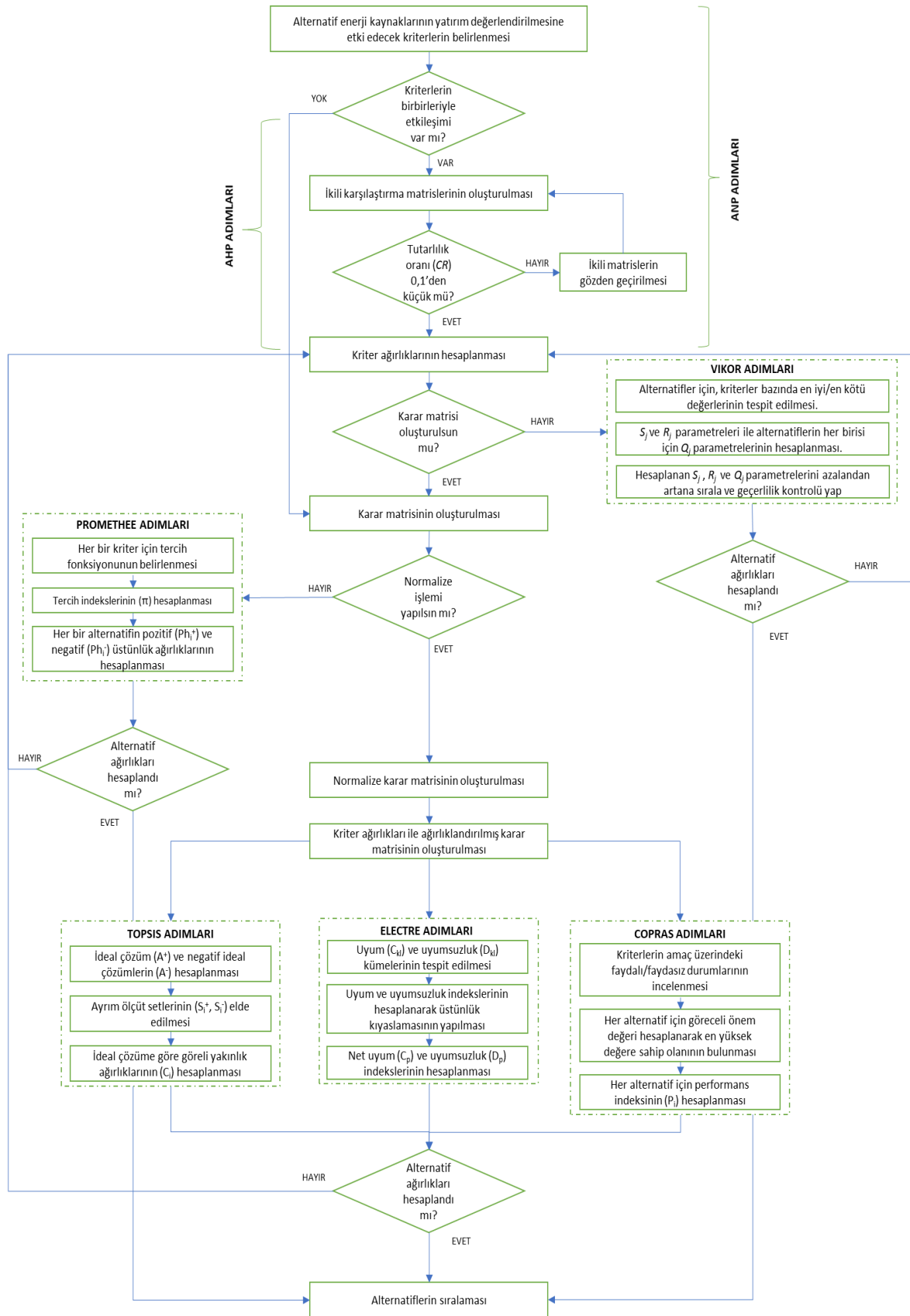
[38]. Bu bağlamda Türkiye, halihazırda kullandığı fosil yakıtlardan yerli kömürlerin payını artırmak, ithal edilen doğalgaz ve sıvı yakıtların ise oranını enerji arz güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde azaltmak doğrultusunda bir strateji belirlemiştir [26]. Bu kapsamda, bu çalışmada hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermal, biokütle, taş kömürü, linyit, doğalgaz ve nükleer kaynaklar ele alınmış ve bunları kullanarak elektrik üretimi yapan santral teknolojileri belirlenen değerlendirme kriterleri altında karşılaştırılmıştır.

### 2.2. Değerlendirme Kriterleri (Evaluation Criteria)

Bu çalışmada ele alınan kriterler belirlenirken, ETKB 2019-2023 Stratejik Planı, literatürdeki çalışmalar ve dünya enerji sektöründeki gerçekler, gelişmeler ve eğilimler [39,40] dikkate alınmıştır. 4 ana başlık altında belirlenen 12 değerlendirme kriteri aşağıda detaylı olarak açıklanmış ve elektrik üretimi yapan santral

teknolojilerine ait her bir kriterin verisi Çizelge 2.'de sunulmuştur.

**Teknik kriterler:** Yatırım alternatiflerinin işleyişi ve kuruluşunu dikkate alan alt kriterleri içerir.



**Çizelge 2.** Alternatiflerin kriterler bazında değerleri (Values of alternatives based on criteria)

Alternatifler\ Kriterler	Teknik			Ekonomik				Çevresel etki			Sosyo-Politik	
	Kurulum süresi (yıl) [44]	Birim kurulu güç (MW) [46]	<sup>a</sup> Verimlilik (%) [39]	Birim ilk yatırım maliyeti (\$/kW) [43]	<sup>b</sup> Devlet teşviki (\$cent/kWh) [42]	Ekonomik ömür (yıl) [40,47,48]	Kaynak potansiyeli (kWh/yıl) [28,44]	<sup>c</sup> Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (\$cent/kWh) [28]	Alan gereksinimi (km <sup>2</sup> /MW) [39]	<sup>d</sup> Sera gazı salınımı (g/kWh) [28]	Çalışan kişi sayısı [43]	<sup>e</sup> Sosyal kabul faktörü
Güneş	1	30	21	2.479	6,7	25	380	14,15	0,04	32	16	0,1399
<sup>f</sup> Taş kömürü	4	360	64	2.000	0	30	11	8,57	3,63	1140	360	0,0732
Linyit	4	360	42	2.000	0	30	118	7,45	4	1055	360	0,0569
<sup>g</sup> Doğalgaz	2	275	80	1.063	0	25	23,2	11,96	0,09	480	65	0,0896
<sup>h</sup> Hidroelektrik	4	150	90	3.500	9,6	30	140	1,04	8,1	10	50	0,1298
Rüzgar	1	30	26	2.200	11	25	144	5,9	0,05	10	12	0,1737
Jeotermal	2	15	16	4.000	13,2	25	4,5	9,2	0,007	38	32	0,1405
Biokütle	2	10	40	3.575	18,9	20	93	11,3	20	25	10	0,1105
Nükleer	5	1200	87	7.350	0	50	0	12,6	6,49	66	125	0,0857

<sup>a</sup>: Verim değerlerinde kullanılan teknoloji, çevresel etkilerin sebebiyet verdiği değişimler ve saha koşulları baz alınarak hesaplanan değerlerdir.

<sup>b</sup>: Her bir teknoloji için sabit alım fiyat garantisi ve yerli katkı ilavesi değerlerinin toplamı verilmiştir.

<sup>c</sup>: İşletmedeki bakım, yapılandırma ve yakıt masraflarını içerir.

<sup>d</sup>: Santraldaki ekipmanlardan bazıları (motorlar, pompalar, şalt ekipmanları vs.) çizelgedeki değerler kadar zararlı salımda bulunmaktadır.

<sup>e</sup>: Görüntü kirliliği, bölgeye katkı, çevresel etki kriterleri ile verilen alternatif santraller için sosyal kabul faktörleri ANP yöntemi ile EK A (Appendix A) 'daki ağ yapısı dikkate alınarak Super Decision 3.0 paket programı ile hesaplanmıştır.

<sup>f</sup>: İthal kömür, asfaltit ve taş kömürü kaynaklarının bulunduğu santrallerin değerlerine içerir.

<sup>g</sup>: LPG ve LNG teknolojisinin kullanıldığı termik santrallerin değerlerini de içerir.

<sup>h</sup>: Akarsu ve baraj tipi santrallara ait değerleri içerir.

- Kurulum süresi (C1): Üretime geçilmesi ve diğer hedeflerin gerçekleşmesi için santral inşasının tamamlanması kriteri bir ön şarttır.
  - Birim kurulu güç (C2): Bir santralin karşılayabileceği maksimum kapasitedir. Bu çalışmada, bir santraldaki birim ünite başına kurulu güç verileri dikkate alınmıştır.
  - Verimlilik (C3): Bir enerji kaynağının ne kadar yararlı ve kullanılabilir enerji üreteceğinin ölçümüdür. Diğer bir deyişle, çıktı olan elektrik enerjisinin üretiminde kullanılması gereken enerji kaynağının aynı birimden miktarına oranı şeklinde açıklanmaktadır [41].
- Ekonomik kriterler:** Enerji santralleri, büyük ölçekli altyapı yatırımları oldukları için kapsamlı bir fizibilite çalışması ile inşa sürecine karar verilmektedir. Bu tekno-ekonomik analizin kapsamında ise, hem ilk yatırım maliyetleri hem de işletme dönemine ait değişken maliyetler ve bu maliyetlere etki eden tüm parametreler dikkate alınmalıdır. Bu kapsamda belirlenen kriterler aşağıda sunulmuştur.
- Birim ilk yatırım maliyeti (C4): Yatırımların yapılması veya yapılmamasının en temel girdisini oluşturmaktadır. Yatırımcı açısından kazanç elde etmek için ilk yatırım maliyetinin, dönemsel

maliyetler toplamından küçük olmasının beklendiği durumdur.

- Devlet teşviki (C5): Stratejik hedefler için ülkelerin enerji alanındaki teşvik edici alanlarda yatırımcıya destek sunduğu durumdur. Özellikle ülkeler yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlar için devlet desteği kapsamında katma değer vergi muafiyeti, hibe/kredi desteği, enerji alım garantisi gibi yatırımcıyı teşvik edecek avantajlar sağlamaktadır [42].
- Ekonomik ömür (C6): Yatırımcılar için ekonomik kârlılığı sağlamakta önemli bir faktördür. Çünkü, bu kriter santralin üretim yapabilme süresini belirtmekte olup, bu süre dahilinde verimli üretimden elde edilecek gelir miktarını direkt olarak belirlemektedir.
- Kaynak potansiyeli (C7): İthal bağımlılığın kırılması ve yerli enerji arzının enerji portföyündeki payının artırılması stratejik bir hedefdir. Bu doğrultuda enerji kaynağının mevcut potansiyeli hakkındaki bilgilerin tespit edilmesi yatırım için belirleyici bir unsur halini almaktadır.
- Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (C8): Bir enerji santrali için gerekli olan yatırım, işletme ve bakım benzeri masraflarının yansıtılması ile hesaplanan birim üretim maliyetidir. Başka bir deyişle,



- maliyetleri karşılamak amacıyla üretilen enerjinin satılacağı minimum fiyatı temsil etmektedir [43].

**Çevresel etki kriterleri:** Santralin inşaatından, üretimin yapılıp tüketim kısmına geçildiği zamana kadar insan

### 2.3. Karar Matrisinin Oluşturulması (Creation of Decision Matrix)

Türkiye'nin enerji üretimini gerçekleştirmesi mümkün ve yakın gelecekte muhtemel olan enerji yatırımlarını

**Çizelge 3.** Karar matrisi (Decision matrix)

Alternatifler\ Kriterler	Teknik				Ekonomik				Çevresel etki		Sosyo-Politik	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Güneş	10	3	2	4	4	5	10	1	7	5	2	8
Taş kömürü	3	6	7	5	0	6	4	3	4	1	10	4
Linyit	3	6	5	5	0	6	7	4	3	1	10	3
Doğalgaz	5	5	9	10	0	5	5	1	5	2	7	5
Hidroelektrik	3	4	10	3	5	6	8	10	2	10	6	7
Rüzgar	10	3	3	5	6	5	8	4	6	10	2	10
Jeotermal	5	1	2	2	7	5	2	3	10	4	4	8
Biokütle	5	1	4	3	10	4	6	2	1	5	1	6
Nükleer	2	10	10	1	0	10	0	2	2	3	7	5

sağlığına ve doğaya olan etkisini ifade eden alt kriterleri içerir.

- Alan gereksinimi (C9): Birim alanda (m<sup>2</sup>) üretilen enerji miktarını içermekle birlikte, arazi ihtiyacındaki güçlü bir talep ile ekonomik kayıpları da belirleyen kriterdir [41].
- Sera gazı salınımı (C10): Fosil kaynaklı santrallerin baca gazlarından havaya karışan zararlı molekülleri (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) ifade etmektedir. İnsan ve çevre sağlığının kalitesinde olumsuz etkilere sahiptir.

**Sosyo-politik kriterler:** Santral yatırımları için toplumsal faydaların gözetildiği alt kriterleri içermektedir.

- Çalışan kişi sayısı (C11): Kullandıkları kaynak, teknik spesifikasyonlar, işletme-bakım zorunluluklarına vb. özelliklerine göre değişiklik göstermekle birlikte santraller, MW başına önemli sayıda çalışana gereksinim duyan sürekli ve büyük üretim tesisleri sınıfında yer almaktadır. Toplumsal refah düzeyinin sağlanması açısından istihdam olanakları anlamına gelen bu durum, bu çalışma kapsamında ele alınan problemi bu açıdan da önemli bir konuma taşımaktadır. Sosyal devlet yapısının stratejik görevleri arasında yer alan istihdam olanaklarını destekleme sorumluluğuna bu kapsamda santraller olumlu katkı sağladığı için, yatırım kararlarının istihdam olanakları üzerindeki etkisi önemlidir [44,45].
- Sosyal kabul faktörü (C12): Yukarıda tüm boyutları kapsayan kriterlerin yanı sıra, bir enerji santral yatırımında üretici kuruluş ve çevre halkı arasındaki mutabakatın bölgeye olan katkı, çevresel-mekansal etkiler ve görüntü kirliliği gibi parametreler dahilinde sağlanması, yatırım kararını veren otoritenin toplum üzerindeki sorumluluğu açısından büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, sosyal kabul faktörü santral yatırımlarının önceliklendirilmesi problemine analitik bir boyutta bu çalışma ile ilk defa dahil edilmiştir.

hayata geçirme sürecindeki önceliklerini elde etmek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, alternatif ve kriterlerin belirlenmesinin ardından ilk aşamada verilerin toplanması ve düzenlenmesi süreci gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2). Daha sonra, problemin çözümünde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin bu veriler doğrultusunda uygulanabilmesi için her bir kriter altındaki verinin 0-10 arasındaki değerleri içeren bir skala (en iyi değere 10 verilerek, diğerlerinin buna göre oranlanması yapılmıştır) yardımıyla karar matrisine dönüştürülme işlemi gerçekleştirilmiş ve Çizelge 3.'teki karar matrisi elde edilmiştir.

### 2.4. Değerlendirme Kriterlerinin Ağırlıklandırılması (Weighting Evaluation Criteria)

Enerji kaynak yatırım alternatiflerinin önceliklendirilmesi amacıyla ilk aşamada bu çalışma kapsamında belirlenen 4 ana kriter altında bulunan 12 alt değerlendirme kriteri, probleme etki derecelerinin eşit düzeyde olmaması nedeniyle, enerji sektöründe üretim, iletim ve dağıtım alanlarında en az 15 yıl tecrübeye sahip mühendislik disiplinlerinden 10 uzmanın görüşleri alınarak ağırlıklandırılmıştır. Bu süreçte, karar problemlerinin çözümünde kriter ağırlıklandırılması için literatürde en sık kullanılan yöntemler olan AHP ve ANP [27] tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4. ve Çizelge 5.'te sunulmuştur. Çizelge 4. ve Çizelge 5.'te verilen sonuçlar aşağıda tartışılmıştır:

AHP ile kriterlerin ağırlıklandırılması işlemi için kriterler arasında oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,0302 olarak hesaplanmıştır. Tutarlı olan bu matris üzerinden elde edilen sonuçların da rasyonel olduğu söylenebilir. Çünkü, yerli ve yenilebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanılması ile ekonomiye kazandırılması sonucunda elektrik üretiminin çevresel etkilerinin minimize edilerek istihdam olanaklarının artırılması ve bu doğrultuda küresel rekabet gücünün de artırılacağı herkes tarafından kabul edilen bir gerçektir. Bunun yanı sıra, toplumsal

- kabulün dikkate alınarak verimlilik temelinden uzaklaşmadan bir enerji politikasının izlenmesine ışık tutan bu sıralama, sürdürülebilirlik ilkeleri ile de örtüşmektedir.
- ANP ile elde edilen sonuçların da gerçek hayatta tutarlı olduğu söylenebilir. Yukarıdaki açıklamalar ile paralel olarak, ilk 4 sırada yer alan kriterler yaklaşık 0,5'lik ağırlık değerleri ile birbirlerine yakın sonuçlar almıştır ve bu kriterler, çevresel hassasiyetten kaynak potansiyeline, bölgesel katma değerden görüntü kirliliğine kadar sürdürülebilirliğe etki eden ana unsurları kapsamaktadır. Yine bu kriterleri, 0,30-0,40 aralığındaki değerlerle sürdürülebilirliğin iki önemli sac ayağı olan ekonomiklik ve verimlilik ilkelerini kapsayan kriterler izlemektedir. Kalan kriterler için elde edilen değerler de birbirine yakın

**Çizelge 4.** AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları (Criterion weights obtained with AHP)

Sıralama	Kriterler	Ağırlık Değerleri
1	Sosyal kabul faktörü	0,2201
2	Sera gazı salınımı	0,1794
3	Çalışan kişi sayısı	0,1237
4	Alan gereksinimi	0,0985
5	Kaynak potansiyeli	0,0802
6	Verimlilik	0,0626
7	Devlet teşviki	0,0594
8	Ekonomik ömür	0,0473
9	Birim kurulu güç	0,0476
10	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti	0,0378
11	Birim ilk yatırım maliyeti	0,0268
12	Kurulum süresi	0,0165

**Çizelge 5.** ANP ile elde edilen kriter ağırlıkları (Criterion weights obtained with ANP)

Sıralama	Kriterler	Ağırlık Değerleri
1	Sosyal kabul faktörü	0,5279
2	Sera gazı salınımı	0,5126
3	Kaynak potansiyeli	0,4874
4	Çalışan kişi sayısı	0,4722
5	Verimlilik	0,3642
6	Ekonomik ömür	0,3327
7	Devlet teşviki	0,3031
8	Alan gereksinimi	0,2239
9	Kurulum süresi	0,2185
10	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti	0,1910
11	Birim ilk yatırım maliyeti	0,1882
12	Birim kurulu güç	0,1783

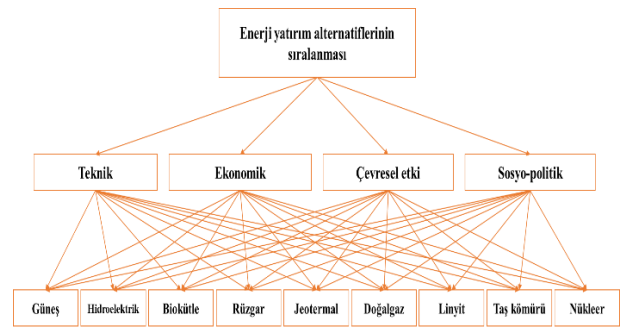
seyretmektedir. Bunlar, daha ziyade santraldaki üretimden elde edilecek kâr düzeyi ile ilgili kriterler olup, toplumsal fayda ve küresel rekabet düzeyine direkt etki eden unsurlar ele alındığında bu kriterlerin daha düşük ağırlık değerlerine sahip olması da gerçek hayatta tutarlıdır.

## 2.4. Enerji Kaynak Alternatiflerinin Önceliklendirilmesi (Prioritizing of energy resource alternatives)

### 2.5.1. Analitik hiyerarşi prosesi (Analytical hierarchy process)

Enerji kaynak yatırım alternatiflerinin hayata geçirilme önceliklerinin elde edilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, 9 yatırım alternatifi ve 12 değerlendirme

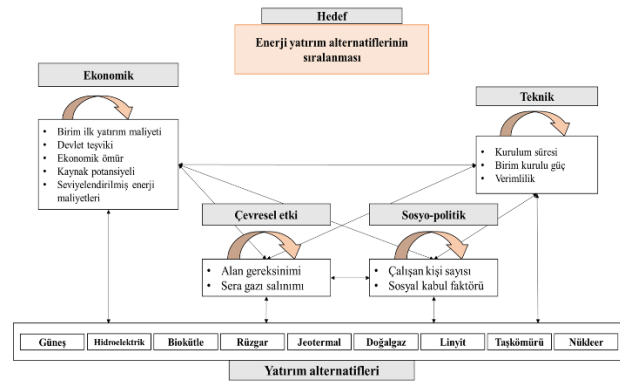
kriteri mevcuttur. 11 kriterden sonra AHP yönteminin kullanım etkinliğinin azaldığını vurgulayan çalışmalara rağmen [27,30], literatürde karar problemlerinin çözümünde bu yöntemin sıklıkla kullanılması, tutarlı ikili karşılaştırma matrislerinin (CR=0,302) hem değerlendirme kriterleri hem de her bir kriter temelinde alternatiflerin kıyaslamasında (CR=0,0200 ile 0,0409 arasında değişmektedir) elde edilmesinden dolayı problem AHP ile de çözümlenerek hem ANP, hem de bu çalışmada kullanılan sıralama algoritmaları ile çözüm sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır. Tüm yöntemlerin adımlarının verildiği uygulama akış şeması Şekil 1'de sunulmuştur. Probleme ait hiyerarşik yapı Şekil 2'de, Çizelge 4.'deki kriter ağırlıklarının kullanılması ile elde edilen sonuçlar ise Çizelge 6.'da yer almaktadır.



**Şekil 2.** Hiyerarşik yapı (Hierarchical structure)

### 2.5.2. Analitik ağ prosesi (Analytical network process)

Çalışma kapsamında dikkate alınan değerlendirme kriterlerinin aralarındaki ilişkiler, yukarıda belirtilen uzman görüşlerine göre oluşturulmuş ve Şekil 3'teki ağ yapısı elde edilmiştir. Çizelge 5.'deki kriter ağırlıklarının kullanılması ile Şekil 1'deki ANP yöntem adımları takip edilerek Super Decision 3.0 paket programı ile problemin çözümü neticesinde Çizelge 6.'daki alternatif ağırlıklarına ulaşılmıştır.



**Şekil 3.** Ağ yapısı (Network structure)

### 2.5.3. Sıralama algoritmaları (Ranking algorithms)

TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR ve COPRAS yöntemleri, birinci sıradaki alternatifin seçilebilmesine ve diğer alternatiflerinde analitik adımlarla sıralanmasına olanak sağlayan, etkinlik

seviyesi yüksek olan sıralama algoritmalarıdır. Literatürde farklı karar problemlerinde karar etkinliği temelinde sağladıkları, tutarlı sonuçları sunma, uygulama kolaylığı, nitel ve nicel değer yargılarını yansıtabilme ve farklı ağırlıklara sahip değerlendirme kriterlerini işleyişlerine yansıtma gibi avantajlardan dolayı sıklıkla kullanılmaları [27], bu yöntemlerin kullanılmalrının temel nedenleridir.

Şekil 1’de verilen yöntemlerin algoritma akışlarının Çizelge 5.’deki kriter ağırlıkları ile yürütülmesi sonucunda alternatiflerin öncelik sıralamaları elde edilmiş ve Çizelge 6.’da sunulmuştur. Problemin çözümünde, ANP ile hesaplanan kriter ağırlıklarının kullanılmasının temel nedeni, kriterler arasındaki ilişkilerin de probleme yansıtılmasındandır. Bu sayede,

gerçeğinin, bu santrallarda sosyal kabul faktörünü etkilemesinden ve bu santralların kurulum süreleri ile ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Rüzgar enerjisinin hidroelektrik kaynağına göre en önemli dezavantajı ise, kesikli üretim rejiminden kaynaklanan yapısıdır. Başka bir ifade ile rüzgarın az olduğu saat dilimlerinde santrallar üretim yapamamakta, bu da bu santralların sıklıkla talebin yükseldiği pik zaman dilimlerinde kullanılmalrına neden olmaktadır. Ancak, her iki kaynaktan elektrik üretimi verimlilik, ekonomiklik ve çevreye duyarlılık açısından ele alındığında bu iki kaynağın ilk iki sırada olmaları anlamlıdır.

Tüm çözümlerde 3. sırada yer alan kaynak güneştir. Türkiye’nin en yüksek kaynak potansiyeline sahip bu

**Çizelge 6.** Alternatiflerin önem ağırlıkları (Importance weights of alternatives)

Alternatifler/ Yöntemler	AHP	ANP	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	COPRAS	ELECTRE	
	$L^1$	$W^2$	$C_i^*$	$Q_j^*$	$Ph_i^*$	$P_i^*$	$C_p^*$	$D_p^*$
Rüzgar	0,1671	0,1514	0,6791	0,4378	0,2787	100	10,192	-3,406
Hidroelektrik	0,1929	0,1454	0,5537	0,1236	0,3732	99	5,7324	-2,7455
Güneş	0,1303	0,1212	0,4732	0,6012	0,2758	55	3,2975	-0,2305
Doğalgaz	0,1138	0,1106	0,3961	0,685	0,1547	54	0,2026	-0,593
Nükleer	0,1144	0,1073	0,297	0,7097	0,1509	46	-0,7661	0,182
Taş kömürü	0,1008	0,1048	0,4583	0,6256	-0,0328	49	-2,5504	0,5405
Jeotermal	0,049	0,1002	0,1247	0,7703	-0,4803	34	-4,1061	0,9279
Linyit	0,0855	0,0936	0,2632	0,8953	-0,2756	43	-2,8253	1,8634
Biokütle	0,0461	0,0655	0,2396	0,9616	-0,4447	33	-9,1767	3,4612

<sup>1</sup>: Alternatiflerin AHP ile hesaplanan önem ağırlıkları

<sup>2</sup>: Alternatiflerin ANP ile hesaplanan önem ağırlıkları

\*: Bu notasyonlardan Şekil 1’deki algoritma akışı içerisinde bahsedilmiştir.

daha doğru kararların alınacağı düşünülmüş ve literatürde de sıklıkla bu yaklaşım neticesinde ANP kombinasyonlu sıralama algoritması kullanımının varlığı görülmüştür [27].

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan ve enerji talebi son 10 yılda 2 kat artan Türkiye için enerji alanında yapacağı yatırımların sürdürülebilirlik ekseninde değerlendirilmesinin öneminden [26] hareketle gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde elde edilen ve Çizelge 6.’da verilen sonuçların sıralaması Şekil 4’te sunulmuştur. Tüm yöntemlerde dikkat çeken ilk konu, kaynak mevcudiyeti yüksek olan yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelikli olarak yatırım planına alınması doğrultusundadır. AHP, VIKOR ve PROMETHEE sonuçlarına göre birinci sırada yer alan hidroelektrik kaynağı, yerini diğer yöntemlerde rüzgar enerjisine bırakmıştır. Bunun temel nedeni, hidroelektrik santralların baraj gövdelerinde su tutmak amacıyla yerleşim yerleri ve tarım arazilerinin bir kısmının sular altında kalmasından dolayı kullanılamaz hale gelmesi

kaynağın rüzgar ve hidroelektrik enerjiden sonra gelmesi, Türkiye’nin güneş enerjisi teknolojilerinde dışa bağımlı olması ve bu teknolojilerin yatırım maliyetlerinin yüksekliğinin yanı sıra, kesikli üretim rejimine sahip bu tesislerin enterkonnekte iletim sistemine anlık devreden çıkışlarla vermesi muhtemel büyük zararlardan kaynaklıdır.

Bu üç kaynağın yüksek potansiyellerinin yanı sıra, Çizelge 2.’den de görülebilecek olan taşıdıkları tüm diğer avantajlardan dolayı yüksek öncelikli yatırım grubunda olması ETKB’nin stratejik hedefleri ile de tutarlıdır. Zira Türkiye, 2023 yılına kadar hidroelektrik, rüzgar ve güneş kurulu güçlerini sırasıyla 34.000 MW, 20.000 MW ve 5.000 MW’a yükseltmeyi hedeflemektedir [26].

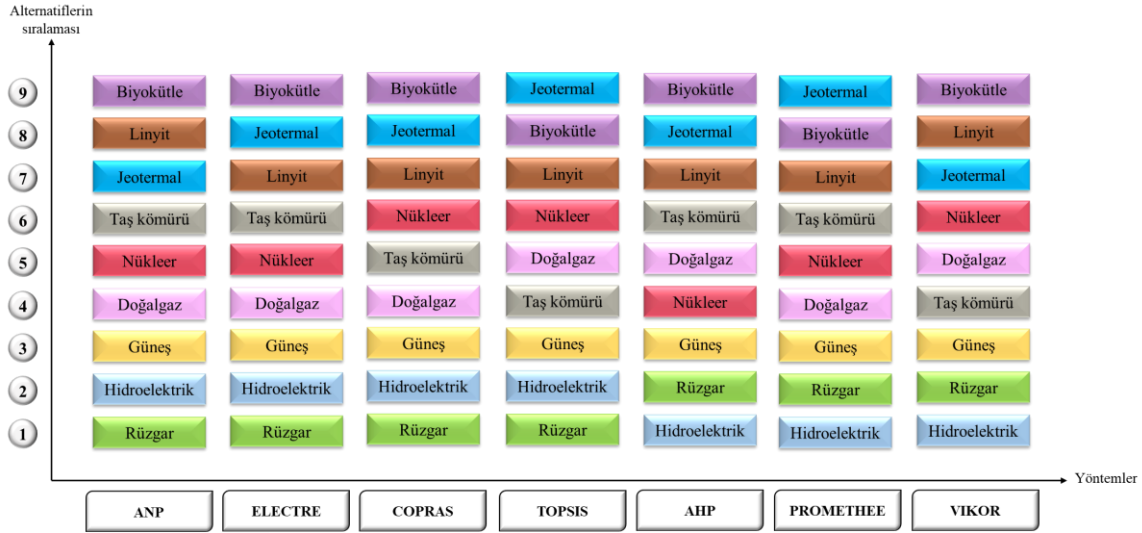
Elde edilen sıralamalar incelendiğinde doğalgaz kaynağının AHP’de nükleer, TOPSIS ve VIKOR’da ise taş kömürü ile yer değiştirdiği ve 4. sırada yer aldığı görülmektedir. Tamamı ithal olmasına rağmen bu kaynağın diğer kaynakların önüne geçmesinin nedenleri Çizelge 2.’den de görüleceği üzere, hızlı devreye alınma imkanları, baz yük santrali olarak çalıştırılabilmeleri, çevresel emisyonlarının diğer fosil yakıtlara nazaran düşüklüğü ile hammadde ve atık taşıma işlemlerinin

olmayışıdır. Bu bağlamda, sürdürülebilirlik açısından doğalgazın Türkiye’de uzun yıllar devam etmesi gerekliliği kaçınılmazdır [38].

Nükleer enerji uzun zamandır Türkiye’nin gündeminde yer almaktadır. Taşıdığı risklere rağmen, yüksek kurulu güçleri, yüksek verimleri, istihdam olanakları ve enerji arz güvenliğini dengeleme konusundaki kabiliyetleri ile Türkiye nükleer enerji alanına yatırımlarını yapmaya başlamış ve önümüzdeki dönemde de bunları yürütmeyi

sıralarda yer almalarıdır. Bunun en temel sebebi, bu kaynakların potansiyellerinin çok düşük olması ve biokütlede konvansiyonel santrallarda olduğu gibi atık yönetimi sorununun varlığıdır.

9 enerji kaynağının 7 farklı yöntemle sıralandığı çözüm sonuçları için yöntemler arasındaki ilişkinin varlığını belirlemek amacıyla Spearman sıra korelasyonu kullanılarak korelasyon analizi SPSS 26 paket programı ile yapılmış ve sonuçlar Şekil 5’te sunulmuştur.



		Correlations							
		ANP	AHP	TOPSIS	VIKOR	ELECTRE	PROMETHEE	COPRAS	
Spearman's rho	ANP	Correlation Coefficient	1.000	.950**	.900**	.933**	.983**	.933**	.967**
		Sig. (2-tailed)	.	.000	.001	.000	.000	.000	.000
		N	9	9	9	9	9	9	9
AHP		Correlation Coefficient	.950**	1.000	.900**	.967**	.967**	.917**	.933**
		Sig. (2-tailed)	.000	.	.001	.000	.000	.001	.000
		N	9	9	9	9	9	9	9
TOPSIS		Correlation Coefficient	.900**	.900**	1.000	.933**	.883**	.933**	.867**
		Sig. (2-tailed)	.001	.001	.	.000	.002	.000	.002
		N	9	9	9	9	9	9	9
VIKOR		Correlation Coefficient	.933**	.967**	.933**	1.000	.917**	.900**	.900**
		Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.	.001	.001	.001
		N	9	9	9	9	9	9	9
ELECTRE		Correlation Coefficient	.983**	.967**	.883**	.917**	1.000	.917**	.983**
		Sig. (2-tailed)	.000	.000	.002	.001	.	.001	.000
		N	9	9	9	9	9	9	9
PROMETHEE		Correlation Coefficient	.933**	.917**	.933**	.900**	.917**	1.000	.900**
		Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.001	.001	.	.001
		N	9	9	9	9	9	9	9
COPRAS		Correlation Coefficient	.967**	.933**	.867**	.900**	.983**	.900**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	.000	.002	.001	.000	.001	.
		N	9	9	9	9	9	9	9

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Şekil 5. Korelasyon analizi (Correlation analysis)

planladığını belirtmiştir [26]. Bu bağlamda bu kaynağın, 4 ile 6. sırada yer alması tutarlı bir sonuçtur. Bununla birlikte, fosil bir yakıt olan taş kömürü yerli olması açısından 4 ile 6. sırada yer almıştır. Burada akla gelebilecek bir soru, linyit kaynağının taş kömüründen daha fazla potansiyele sahip olmasına rağmen 7. ve 8. sıradaki yeridir. Bunun temel nedeni, linyit kömürünün çok daha fazla çevresel etkilerinin olması (Çizelge 2) ve bu etkilerin giderilmesi için yüksek maliyetli baca gazı arıtma ve elektrofiltre sistemlerine ihtiyaç duymasındır.

Şekil 4’teki sıralamalarda dikkat çeken bir diğer husus ise, biokütle ve jeotermal kaynakların yerli ve yenilenebilir enerji grubunda olmalarına rağmen son

ANP-ELECTRE ve ELECTRE-COPRAS çözümleri arasındaki korelasyon 0,983 olarak hesaplanmış olup, bu değer pozitif yönlü ve çok yüksek bir ilişkinin varlığını ifade etmektedir. ELECTRE yöntem ailesi karmaşık bir yapıda olmasına rağmen [36], ikili değerlendirmelerde karar verici yorumlamalarının hassasiyetle yapılmasının bir sonucu olarak, COPRAS gibi basit hesaplama prosedürlerine sahip, hiçbir ek parametreden etkilenmeyen, nicel ve nitel faktörler alabilen sıralama algoritmasıyla aynı sonucu vermeleri de [36], bu çalışmanın hem problem yapısı hem de sonuç analizleriyle, literatüre sunacağı katkılardan birisidir. Bununla birlikte, çözüm yöntemlerinden elde edilen

sonuçların ikili ilişkileri temelinde hesaplanan 21 korelasyon değerinden en düşük korelasyon değeri Şekil 5'ten de görüleceği üzere 0,883'tür (TOPSIS-ELECTRE). Hesaplanan rho değerleri 0,8'den büyük olduğu için [49], tüm çözüm yöntemlerinden elde edilen sonuçların yüksek ilişkili olduğu, başka bir ifade ile tüm sonuçların bu çalışmada dikkate alınan problem için birbirlerini destekler nitelikte olduğu söylenebilir.

Şekil 5'teki çok yüksek ilişkiye dayanarak, 7 yöntem ile elde edilen sıralama puanları hesaplanmış ve enerji kaynaklarının sıra – sayı puanları arasında fark olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla parametrik olmayan Kruskal-Wallis testi yapılmış ve Çizelge 7.'de sunulmuştur.

**Çizelge 7.** Kruskal-Wallis test sonuçları (Kruskal-Wallis test results)

Enerji Kaynak Numarası	Enerji Kaynak Adı	Ortalama Sıra
1	Rüzgar	7,00
2	Hidroelektrik	8,00
3	Güneş	18,00
4	Doğalgaz	28,00
5	Nükleer	34,00
6	Taş kömürü	34,00
7	Linyit	48,00
8	Jeotermal	53,00
9	Biokütle	58,00

Çizelge 7.'de sunulan sonuçlara göre, enerji kaynaklarına ilişkin ortalama sıra değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ( $p=0,000$  olarak hesaplanmıştır). Elde edilen bu sonuçlar, 7 yöntemin ürettiği enerji kaynak sıralarının ortak bir sonucu olarak da düşünülebilir. Bu kapsamda, Çizelge 7'deki ortalama sıra sütunun küçükten büyüğe doğru sıralamasına göre 7 yöntemin ürettiği sıraların ortak sonucu olarak enerji kaynaklarının Türkiye açısından rüzgar, hidroelektrik, güneş, doğalgaz, nükleer, taş kömürü, linyit, jeotermal ve biokütle yatırım öncelik sırası, yapılan istatistiksel analize göre uygundur yorumu yapılabilir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Dünya nüfusunun ve toplumların refah düzeyindeki artış, enerjiye olan ihtiyacı sürekli karşılanabilir olması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Enerji üretim yatırımları ise bu amaca kesintisiz, ekonomik, verimli, çevreye duyarlı ve güvenilir bir şekilde katkı sağlanmasına yönelik, ülkelerin stratejik hedeflerini de içeren yatırımları kapsamaktadır. Problemin bu yapısı dikkate alındığında eşzamanlı değerlendirilecek birçok kriterin olduğu ve çözüm olarak literatürde sıklıkla kullanılan ve etkinliğini yüksek 7 farklı çok kriterli karar verme yöntemleri içerisindeki sıralama algoritmaları ile analizler yapılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın literatürden ilk farkı, 7 yöntem ile enerji kaynak yatırım

alternatiflerini değerlendiren ilk çalışma olmasıdır. Bu katkıları destekleyecek nitelikte olan bir diğer analiz ise yöntemler arasındaki ilişkinin varlığını belirlemek amacıyla Spearman sıra korelasyonudur. Bu sayede yöntemlerle elde edilen çözümlerin istatistiksel olarak anlamlılığı da enerji kaynaklarının karşılaştırılması açısından literatürde ilk kez gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde ilk üç sırada yenilenebilir alternatiflerin yer alması, Sonuçlar ve Tartışmalar bölümünde de açıklandığı gibi, gerçek hayatta alınan sürdürülebilir enerji politika kararlarındaki verimlilik, ekonomiklik ve çevresel etki düzeylerinde olumlu etkileri ve devletlerin temiz enerji kararlarındaki artış trendinin de dikkate alınmasıyla, elde edilen sonucun tutarlı olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Türkiye'de fosil kaynaklar içerisinde taşkömürü ve linyitin potansiyel mevcudiyeti düşünüldüğünde, problemin kapsamında iki kaynağında ayrı ayrı değerlendirilmesi, geçeceği yansıtacak sonuçlar alınmasını sağlamıştır. Ayrıca doğalgaz kaynağının da bu grup içerisinde yer aldığı ve analizlerde yenilenebilir alternatiflerden sonra çoğunlukla ilk sırada hesaplanması, ülkelerin gelecek için stratejik kararlarında da tercih edileceğini ve geliştirilmeye mecbur bir yatırım olacağını göstermektedir.

Gelecek enerji üretim yatırım alternatiflerinin değerlendirildiği çalışmaların temalarında, bu çalışmadaki problem yapısına uygulduğu tespit edilen yöntem/yöntem kombinasyonlarının, uzmanların esnek kararlar alabildiği, bulanık, kesin ve aralıklı sayılar ile geniş bir değerlendirme havuzunu kullanan bulanık karar verme yaklaşımlarından oluştuğu bir çerçevede sunulması, stratejik pozisyonda yer alan, ekonomik olarak gelişmiş ve gelişmekte olan hükümetlere, buna ek olarak literatürdeki akademik çalışmalar arasındaki eksikliğe ve bu alandaki uzmanlara geniş bir perspektif sunarak önemli katkılar sağlayacaktır.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Nermin AVŞAR ÖZCAN:** İnceleme ve düzenleme süreçlerini gerçekleştirmiştir.

**Merve BULUT:** Literatür taraması, yöntemlerin uygulanması ve makalenin yazımını gerçekleştirmiştir.

**Evrencan ÖZCAN:** Verilerin elde edilmesi ve sonuçların yorumlanmasını gerçekleştirmiştir.

**Tamer EREN:** Makalenin incelemesini gerçekleştirmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

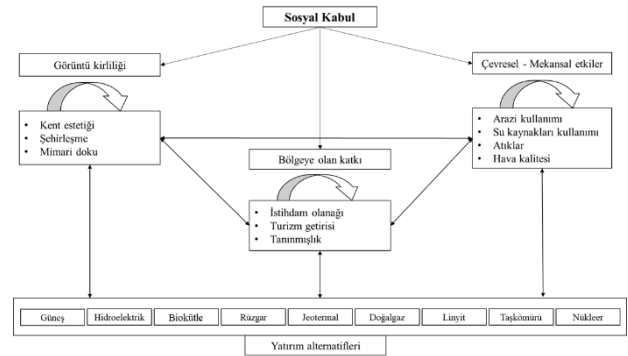
## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Palabıyık H., Yavaş H. ve Aydın M., “Nükleer Enerji ve Sosyal Kabul”, 3, *International Strategic Research Organization (USAK)*, Türkiye, Ankara, (2010).
- [2] Pamir N.A., “Dünyada ve Türkiye’de enerji: Türkiye’nin enerji kaynakları ve enerji politikaları”, *Metalurji Dergisi*, 134: 73-100, (2003).
- [3] Kahraman C. and Kaya İ., “A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives”, *Expert Syst. Appl.*, 37(9): 6270- 6281, (2010).
- [4] Özcan E., Ökten S. and Eren T., “Decision making for promising quinoline-based anticancer agents through combined methodology”, *J Biochem Mol Toxicol*, 1-10, (2020).
- [5] Gür Ş. ve Eren T., “Ameliyathanelerde verimliliğin çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi”, *Academic Perspective Procedia*, 2(3): 973-981, (2019).
- [6] Hamurcu M. And Eren T., “Electric bus selection with multicriteria decision analysis for green transportation”, *Sustainability*, 12(7): 2777, (2020).
- [7] Hamurcu M., Alağaç H.M. and Eren T., “Selection of rail system projects with analytic hierarchy process and goal programming”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 8(2): 291-302, (2017).
- [8] Özcan E.C., Danişan T. and Eren T., “A mathematical model proposal for maintenance strategies optimization of the most critical electrical equipment groups of hydroelectric power plants”, *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, 25: 498-506, (2019).
- [9] Özder E.H. ve Eren T., “Çok ölçütlü karar verme yöntemi ve hedef programlama teknikleri ile tedarikçi seçimi”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3): 196-207, (2016).
- [10] Dağdeviren, M. ve Eren T., “Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 16(2): 41-52, (2001).
- [11] Kabak M. and Dağdeviren M., “Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology”, *Energy Conversion and Management*, 79: 25-33, (2014).
- [12] Topçu Y.I. and Ülengin F., “Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey”, *Energy*, 29(1): 137-154, (2004).
- [13] Pohekar S.D. and Ramachandran M., “Multicriteria evaluation of cooking energy alternatives for promoting parabolic solar cooker in India”, *Renewable Energy*, 29(9): 1449-1460, (2004).
- [14] Doukas H., Patlitzianas K.D. and Psarras J., “Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM”, *Resources Policy*, 31(2): 129-136, (2006).
- [15] Ghafghazi S., Sowlati T., Sokhansanj S. and Melin S., “A multicriteria approach to evaluate district heating system options”, *Applied Energy*, 87(4): 1134-1140, (2010).
- [16] Theodorou S., Florides G. and Tassou S., “The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus: A review”, *Energy Policy*, 38(12): 7783-7792, (2010).
- [17] Kaya T. and Kahraman C., “Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul”, *Energy*, 35(6): 2517-2527, (2010).
- [18] Yi S.K., Sin H.Y. and Heo E., “Selecting sustainable renewable energy source for energy assistance to North Korea”, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 15(1): 554-563, (2011).
- [19] Sadeghi A., Larimian T. and Molabashi A., “Evaluation of renewable energy sources for generating electricity in province of Yazd: a fuzzy MCDM approach”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62: 1095-1099, (2012).
- [20] Ertay T., Kahraman C. and Kaya İ., “Evaluation of renewable energy alternatives using MACBETH and fuzzy AHP multicriteria methods: the case of Turkey”, *Technological and Economic Development of Economy*, 19(1): 38-62, (2013).
- [21] Yazdani-Chamzini A., Fouladgar M.M., Zavadskas E.K. and Moini, S.H.H., “Selecting the optimal renewable energy using multi criteria decision making”, *Journal of Business Economics and Management*, 14(5): 957-978, (2013).
- [22] Tasri A. and Susilawati A., “Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia”, *Sustainable Energy Technol. Assess.*, 7: 34-44, (2014).
- [23] Büyüközkan G. and Güleriyüz S., “A new GDM based AHP framework with linguistic interval fuzzy preference relations for renewable energy planning”, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 27(6): 3181-3195, (2014).
- [24] Abdullah L. and Najib L., “Sustainable energy planning decision using the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process: Choosing energy technology in Malaysia”, *Int. J. Sustainable Energy*, 35(4): 360-377, (2016).
- [25] Stojcetovic B., Nikolic D., Velinov V. and Bogdanovic D., “Application of integrated strengths, weaknesses, opportunities, and threats and analytic hierarchy process methodology to renewable energy project selection in Serbia”, *J. Renewable Sustainable Energy*, 8(3): 035906, (2016).
- [26] [https://sp.enerji.gov.tr/ETKB\\_2019\\_2023\\_Stratejik\\_Plan\\_i.pdf](https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Plan_i.pdf), “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2019-2023 Stratejik Planı”, (2019).
- [27] Velasquez M. and Hester T.P., “An analysis of multicriteria decision making methods”, *International Journal of Operations Research*, 10(2): 56-66, (2013).
- [28] [https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSEkt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor\\_Raporu2016.pdf](https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSEkt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf), “Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ)”, (2017).
- [29] <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/rakamlarla-elektrik-iletimi#>, “Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Nisan 2020 Elektrik İletim İstatistikleri”, (2019).
- [30] Saaty T.L., “The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation”, *Mcgraw-Hill*, (1980).
- [31] Saaty T.L., “Theory and applications of the analytic network process: Decision making with benefits, opportunities, costs and risks”, *Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications*, (2005).
- [32] Hwang C.L. and Yoon K., “Multiple attribute decision making: Methods and applications”, *CRC press*, New York, 1981.
- [33] Roy B., “Classement et choix en présence de points de vue multiples”, *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle*, 2(8): 57-75, (1968).

- [34] Greco S., Figueira J., Ehrgott M., “Multiple criteria decision analysis”. **New York: Springer**, (2005).
- [35] Ali M., Yadav A., Anis M. and Shah R.K., “Evaluation of hazardous waste management by using VIKOR: a case study of USA States”, *Modern Applied Science*, 11(1): 180-187, (2017).
- [36] Mousavi-Nasab S.H. and Sotoudeh-Anvari A., “A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems”, *Materials & Design*, 121, 237-253, (2017).
- [37] [https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/tr\\_tr/turkey/home/bas%C4%B1n-merkezi/bas%C4%B1n-b%C3%BCltenleri/2019/15-02-19-bp-enerji-gorunumu-bb.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/tr_tr/turkey/home/bas%C4%B1n-merkezi/bas%C4%B1n-b%C3%BCltenleri/2019/15-02-19-bp-enerji-gorunumu-bb.pdf), “BP Review of World Energy, BP Enerji Görünümü”, (2019).
- [38] Özcan E.C. and Küçükayrar U., “Assessment of potential south gas corridor projects with a combined methodology”, *In 23rd World Energy Congress*, İstanbul-Türkiye, 9-13, Ekim 2016.
- [39] <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=TA6#/?f=A&start=1949&end=2019&charted=5-6-7-8>, “U.S. Energy Information Administration (EIA), What is the Efficiency of Different Types of Power Plants?”, (2019).
- [40] <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>, “International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Power Generation Costs in 2018”, (2019).
- [41] Kaya T. and Kahraman C., “Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology”. *Expert Syst. Appl.*, 38(6): 6577-6585, (2011).
- [42] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar>, “Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Elektrik piyasası sektör raporu”, (2020).
- [43] Özcan E.C., “Elektrik üretim planlamasında çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı: Türkiye örneği”, **Doktora Tezi**, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [44] Özcan E.C. and Erol S., “A multi-objective mixed integer linear programming model for energy resource allocation problem: the case of Turkey”, *Gazi University Journal of Science*, 27(4): 1157-1168, (2014).
- [45] Altuntas F. and Gök M.Ş., “Technological evolution of wind energy with social network analysis”, *Kybernetes*, (2020).
- [46] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikaylik-sektor-raporu>, “Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), 2018 Yılı piyasa gelişim raporu”, (2018).
- [47] <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/13864.pdf>, Keskinel F., “Türkiye’de Elektrik Üretimi ve Doğalgaz Kombine Çevrim Santralleri”, (2016).
- [48] <https://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/136-nukleer-enerji-ve-nukleer-reaktorler-sss/856-nukleer-bir-santralin-omru-ne-kadardir.html>, “Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Nükleer Bir Santralin Ömrü Ne Kadardır?”, (2020).
- [49] Delice E.K., Can G.F. ve Kahya E., “Hızlı ofis zorlanma değerlendirmesi yönteminin entegre birçok kriterli karar verme yaklaşımıyla geliştirilmesi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi*

## EKLER (APPENDICES)

### EK A (Appendix A)



Şekil 1A. Sosyal kabul faktörü ağ yapısı (Social acceptance factor network structure)