

Pisagor Bulanık Küme Ortamında Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi

Yasin ÖLÇ^{1*} , Fethullah GÖÇER² 

¹Bilişim Sistemleri Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye.

²Endüstri Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

*yasinolc@gmail.com

Özet

Yenilenebilir Enerji Kaynağı seçiminde kriter belirleme aşaması, yenilenebilir enerji ile ilgili birçok karar kriterinden etkilenen faktörlere sahiptir. Bir seçim ortamında potansiyel kriterlerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi, çok kriterli karar verme problemi olarak ele alınabilir. Bu çalışmanın amacı, yenilenebilir enerji bağlamında kriter seçim süreçlerini teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri ile analiz etmektir. Yazın taraması, çalışma bölgelerini, kısıtlamaları, değerlendirme ölçütlerini ve yenilenebilir enerji seçimi süreci için kullanılan yöntemleri sentezlemek ve kategorize etmek için sistematik bir inceleme yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Kriter seçimi sürecinde, insan yargılarının öznelliği genellikle çatışmaya yol açar ve bir tür tereddüt yaratır. Önerilen çalışma, değerlendirme verileriyle ilişkili belirsizliği ve muğlaklığı Grup Karar Verme ortamında Pisagor Bulanık Küme kullanarak gidermeye çalışmıştır. Önerilen yöntem, Pisagor Bulanık Kümelerin geleneksel bulanık kümelerle kıyasla daha doğru bilgi sağlama yeteneğinden ve grup karar vermenin karar bilgisinde önyargı ve öznellikten kaçınma kolaylığından yararlanır. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) tekniği, grup karar verme kullanılarak Pisagor Bulanık Küme ortamında uygulanmaktadır. Önerilen yaklaşımı doğrulamak için ampirik bir vaka çalışması uygulanmıştır. Son olarak, sentezlenmiş ve kategorize edilmiş bilgi ve araştırma boşluklarından oluşan kapsamlı bir havuz sağlayarak, bu çalışma, karar vericilerin yenilenebilir enerji seçiminde en uygun kriterleri belirlemeleri için bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme, Pisagor Bulanık Kümeleri, Değerlendirme Kriteri, Grup Karar Verme

Renewable Energy Source Selection by Pythagorean Fuzzy Sets

Abstract

The criteria determination in Renewable Energy Source selection has factors that are strongly influenced by many decision criteria regarding renewable energy. Evaluating and prioritizing potential criteria in a selection environment can be addressed as a multi-criteria decision-making problem. This study aims to analyze criterion selection processes in the context of renewable energy with their technical, economic, social, and environmental aspects. The literature review is created using a systematic review method to synthesize and categorize study regions, constraints, evaluation criteria, and methods used for the renewable energy selection process. In the process of criterion selection, the subjectivity of human judgments often leads to conflict and creates a kind of hesitation. To avoid uncertainty and ambiguity associated with evaluation data, the proposed work attempts to eliminate it using Pythagorean Fuzzy Set in a Group Decision Making environment. The proposed method takes advantage of the ability of Pythagorean Fuzzy Sets to provide more accurate information compared to traditional fuzzy sets and ease it with group decision making which avoids bias and subjectivity in decision information. The technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) technique is implemented in the Pythagorean

Fuzzy Set environment using group decision-making. An empirical case study was applied to validate the proposed approach. Finally, by providing a comprehensive repository of synthesized and categorized knowledge and research gaps, this study offers a roadmap for decision-makers to determine the most appropriate criteria for choosing renewable energy.

Keywords: Renewable Energy Selection, Multi-Criteria Decision Making, Pythagorean Fuzzy Sets, Criteria Evaluation, Group Decision Making.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunda meydana gelen hızlı artış ve bu artışla beraber ortaya çıkan enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Giderek artan teknoloji kullanımı, araç sayılarındaki artış, sanayi ürünlerinden küçük ev aletlerinin kullanımına kadar her alanda enerji ihtiyacı artmakta ve büyük bir ihtimalle enerji ihtiyacı daha da artacaktır. Teknolojinin yaygın kullanımıyla paralel olarak artan enerji ihtiyacının da toplumdaki refah artışı ile de doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir [1]. Başlangıçta enerji ihtiyacının karşılanmasında üretim-tüketim odaklı bir anlayışa sahip olan ülkeler, yenilemez enerji kaynaklarının bir gün tükeneceği gerçeğinden hareketle enerjinin sadece üretim tüketim kapsamında değil, ekonomik, sosyal ve çevresel unsurlar kapsamında değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Hükümetlerin politikaları, çağdaş uygarlık ilkeleri, sanayileşme ve yaşam tarzı da enerjiden yararlanmanın kullanımını etkileyen önemli faktörlerdir. Yenilemez enerji kaynaklarının tarihsel süreç içerisinde hızla tükenmesi, artan tüketim ve siyasal krizlerden etkilenerek petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların fiyatlarının gün geçtikçe artması de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmıştır. Fosil yakıtların kullanımının hem sürdürülebilir olmaması hem de çeşitli çevresel sorunlara (küresel ısınma, hava kirliliği, su kirliliği, vb.) sebep olması da hükümetlerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini sağlamıştır [2].

Birçok ülkenin temel politikası haline gelen yenilenebilir enerji kaynakları güneş, hidroelektrik enerjisi, rüzgâr, biokütle enerjisi, jeotermal, dalga ve hidrojen enerji kaynakları, vb. olarak sıralanabilir. Birçok yenilenebilir enerji kaynağı bulunmasına rağmen ülkeler bu enerjilerin seçiminde ekonomik kriterlerin yanı sıra coğrafik, sosyo-politik, çevresel ve teknolojik birçok kriteri göz önüne almak zorundadırlar. Herhangi bir yenilenebilir enerji kaynağının kurulması ve kullanılması, büyük ekonomik yatırımları ve vasıflı bir işgücünü içeren önemli bir durumdur. Bu sebepten dolayı yenilenebilir enerji yatırımlarının kazançlı ve büyük oranda verim alınabilecek bir zemine oturtulması elzemdir [3]. Bunun için yenilenebilir enerji seçimi için kriter belirleme işlemi çok önemlidir. Dünya üzerinde kullanımı yaygınlaşmakta olan bazı yenilenebilir enerji kaynaklarını şöyle sıralayabiliriz:

1. Güneş Enerjisi: Hâlihazırda kullanılabilir en geniş enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağı güneşten doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, güneş panellerinden ve ısı dönüşüm aşamaları şeklinde dünya genelinde yaygın bir kullanıma sahiptir [4]. Güneş panelleri vasıtasıyla elde edilen enerji, elektrik ve sıcak su üretimi ile ısınma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır [4].
2. Rüzgâr Enerjisi: Rüzgârın hareketi nedeniyle ihtiva ettiği kinetik enerjinin ilk olarak mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sisteme rüzgâr türbini denir [5]. Son yıllarda rüzgârdan elektrik üretimi ciddi oranlarda artış göstermiştir ve bunun sonucu olarak dünya genelinde rüzgâr en önemli ikinci yenilenebilir enerji kaynağıdır denilebilir [6].
3. Biokütle Enerjisi: Biyolojik atıkların çeşitli şekillerde kullanılmasıyla elde edilen enerji çeşididir. Biokütle enerji kaynakları sınırsızdır ve istenilen her bölgede üretilebilir [4]. Biyokimyasal dönüşüm ve termo-kimyasal dönüşüm süreci olarak iki bölümde incelenir [7].
4. Jeotermal Enerji: Yerin altında bulunan radyoaktif elementler biçimindeki enerjidir [3]. Jeotermal enerji kaynakları her yerde bulunmayan özel kaynaklardır. Kesintisiz bir kaynak olup hava koşullarından etkilenmemektedir [8].
5. Hidroelektrik Enerji: Suyun yüksek bir mevkiden aşağı doğru düşerken sahip olduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi hidroelektrik enerji üretiminin temel prensibidir [3].

Elektrik enerjisinin üretimi için temin edilebilecek en temel yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinir [9].

6. Okyanus Enerjisi: Okyanusların derin ve derin olmayan suları arasındaki sıcaklık farkından veya gelgit, dalga, ana okyanus enerji sistemleri ve okyanusun akış enerji sistemlerinden elde edilmektedir. Bunlar gibi deniz ve okyanuslardan enerji elde etmek için birçok yöntem kullanılmaktadır [5]. Okyanuslardaki gelgit enerjisi genellikle enerji üretimi için geliştirilmesi mümkün olan bir kaynak olarak kabul edilir [3].
7. Hidrojen Enerjisi: Evrende en fazla bulunan element olan hidrojen, hafif olduğu için yükselir ve atmosfere gider [5]. Çeşitli formlara dönüştürülebilen hidrojenin moleküllerine ayrışmasıyla açığa çıkan kimyasal enerjiye hidrojen enerjisi denir. Farklı yöntemlerle elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülebilir.

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), seçim sürecinde birden fazla kriteri dikkate alarak en iyi alternatifi belirlemeyi amaçlayan temel karar verme problemlerinden biridir. ÇKKV, finanstan mühendislik tasarımına kadar farklı alanlarda uygulanabilecek çok çeşitli araç ve yöntemlere sahiptir [10]. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), Oran analizine ve tam çarpımsal forma dayalı çok amaçlı optimizasyon (MILTIMOORA), Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü (VIKOR) ve İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS) gibi birçok ÇKKV tekniği bulunmaktadır. Bu tekniklerden TOPSIS metodu, karar verme durumlarında pozitif ve negatif ideal çözümlerin sonucuna göre alternatif seçilmesine karar vermeye dayanır [11]. TOPSIS yöntemi, çok sayıda karar vericinin birden fazla ölçüte göre belirsizlik durumlarında alternatifleri değerlendirerek bu alternatifleri sıralamasına dolayısıyla da seçim yapmaya yönelik kararını isabetli vermesine yardımcı olmaktadır [12]. Birden fazla değerlendirme planının mevcut olduğu durumlarda karar verme, bilim insanları ve karar analistlerinin önemli bir endişesi haline gelmiştir. Ancak bu alanda literatürde önerilen çok sayıda model ve yöntemde, kriterlerin yanı sıra çözüm yolunun da net bir şekilde tanımlanabileceği varsayılmaktadır. Kriterlerden birinin veya çözüm uzayının veya her ikisinin de bulanık olması durumunda bu problemlerin net (Crisp) sayılarla nasıl çözülebileceği açık değildir. Net küme iki değerli (0, 1) mantığı kullanır. Buna karşılık bulanık küme sonsuz değerli mantığı kullanır. Net kümeler ikili üyeliklere sahip elemanlara sahipken, bulanık kümeler üyelik derecesine sahip bileşenlere sahiptir. Bulanık küme, kümede değişen üyelik derecelerine sahip bileşenlerin bir koleksiyonudur. "Bulanık" terimi belirsizlikle ilgilidir; yani farklı üyelik dereceleri arasındaki geçiş, bulanık kümelerin sınırlarının belirsiz olduğu anlamına gelir. Sonuç olarak, evrenin öğelerinin kümedeki üyeliği, belirsizlik ve muğlaklığı tespit etmeye yönelik bir fonksiyonla karşılaştırılır. Geçmişte, formal akıl yürütmeye ve bilgisayarlarda çözümleri "doğru" veya "yanlış" ve "evet" veya "hayır" gibi iki biçimde temsil etmek için ikili mantık tabanlı kesin kümeler kullanılıyordu. Bu konuda ortaya çıkan problemleri gidermek için, bulanık küme teorisi ilk olarak 1965 yılında bilgisayar bilimcisi Lotfi A. Zadeh tarafından önerildi [13]. Bundan sonra bu konuda çeşitli teorik gelişmeler meydana geldi. Zadeh, her bir elemanın kümeye üyelik derecesi [0,1] olarak tanımlanan bazı elemanları ve üyelik derecesinin l'e tamamlayıcısı ile temsil edilen elemanların üye olmayışını içeren tekil sıradan bulanık kümeleri temsil etti.

Sıradan bulanık kümelerin bu tamamlayıcı özelliği, çeşitli araştırmacılar tarafından, bir elemanın üyelik derecesinin de bulanık olması gerekliliği ve sıradan bulanık kümelerin tamamlayıcı özelliği için fazlalık olması gerektiği temelinde eleştirilmiştir. Bu iki eleştiriye dayanarak, sıradan bulanık kümeler birçok araştırmacı tarafından üyelik fonksiyonlarını daha ayrıntılı olarak tanımlamak için başarıyla genişletildi. Yager, tarafından önerilen Pisagor bulanık küme, sezgisel bulanık küme üzerinden geliştirilmiş ve uygulanmış bulanık kümenin genişletilmiş nesnel ortamlarından biridir [14]. Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümelerin belirsizliği tam anlamıyla gideremeyeceği hallerde kullanılabilmesi sebebi ile belirsizlik ihtiva eden problemleri çözmek için diğer bulanık küme ortamlarından daha esnek, daha güçlü ve daha kullanışlıdır [15]. Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler gibi üyelik derecesi ve üye olmama derecesi ile niteliği ortaya konulur ve üyelik derecesi ile üye olmama derecesinin karelerinin toplamının bir veya birden küçük olma şartına dayanır [16].

Grup karar verme (GKV), daha fazla sayıda bireyin deneyimlerinden ve bakış açılarından faydalanma avantajına sahiptir. Bir grup tarafından tek başına çalışan bir kişiden daha fazla fikir üretilebilir. Dolayısıyla bir grup daha yaratıcı olma ve daha etkili kararlar alma potansiyeline sahip olabilir. Aslında gruplar bazen bireysel olarak yapabileceklerinin ötesinde sonuçlar elde edebilirler. Bu yüzden ÇKKV yöntemleri kullanarak çözümlenecek olan bu çalışmada Grup Karar Verme ortamında Pisagor Bulanık Kümeleri uygulanarak yenilenebilir enerji seçiminde en uygun kriterleri belirlemek amaçlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynağı seçiminde birden fazla alternatifi, birden fazla ölçütü değerlendirme çalışması yapılacaktır. Bu alternatiflerinin değerlendirilmesinde sadece maliyet ya da sadece çevreye olan etki kriterleri göz önüne alınırsa sürdürülebilir enerji temini zorlaşabilir. Bu nedenle yenilenebilir enerji seçimi için olası bütün kriterler değerlendirilmelidir. Literatürde yenilenebilir enerji konusunda ÇKKV yöntemleriyle değerlendirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan faydalanılarak ve uzman görüşleri kullanılarak, karar vericilere yenilenebilir enerji seçiminde en uygun kriterleri belirlemeleri için bir yol haritası sunulacaktır.

Makalenin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Yenilenebilir Enerji seçimine yönelik kriterlerin araştırılması ve yazın taraması Bölüm 2'de sunulmaktadır. Bölüm 3'te ise uygulanacak yöntem için kullanılan çerçeve, bu çerçevede oluşturulmuş yöntem konsolide edilmiştir. Bölüm 4'te sayısal sonuçlar sunulmakta ve tartışılmaktadır. Bölüm 5, yönetsel çıkarımların sunulduğu ve tartışıldığı bir alan sağlamıştır. Son olarak, makale 6. bölümde sonlandırılmakta ve geleceğe yönelik çalışma alanları hakkında bilgiler sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde yenilenebilir enerji konusunda ÇKKV yöntemiyle değerlendirilmiş birçok çalışma bulunmaktadır. Tablo 1 literatürde bulunan çalışmaların, grup karar verme ortamında yenilenebilir enerji kriterleri açısından değerlendirildiği ve kullanılan ÇKKV yöntemlerinin gösterildiği bir çerçeve sunmaktadır. Yaygın olarak belirsizlik altındaki ÇKKV problemlerini çözmek için kullanılan Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi, klasik TOPSIS yaklaşımının Pisagor Bulanık kümelerine genişletilmiş bir versiyonudur [17]. Pisagor Bulanık küme teoremi, bir elemanın üyeliğini belirlemede eleman ile kümenin merkezi arasındaki mesafeyi kullanır [18, 19]. Pisagor Bulanık TOPSIS, Pisagor bulanık kümelerin bu özelliğini dikkate alarak pozitif ideal çözüme en kısa mesafeye ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip çözümün seçilmesine dayanan bir ÇKKV tekniğidir [20]. Bu alanda yapılan çalışmalar arasında, Pisagor Bulanık TOPSIS yaklaşımının algoritmik yapısını inceleyen Yücesan ve Gül [21] 5 adımdan oluşan bir Pisagor Bulanık TOPSIS algoritmasını sunmuştur. Birçok araştırmacı TOPSIS yöntemini karar verme amacıyla kullanmış ve Pisagor Bulanık ortamda genişletmiş birçok farklı versiyonu bulunmaktadır [22-24]. Önerilen yöntem literatürde bulunan diğer Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemlerinden farklıdır. Öncelikle, bu çalışmada GKV ortamında Pisagor Bulanık Kümeleri uygulanarak yenilenebilir enerji kaynağı seçimi gerçekleştirilmiştir. Mevcut yazında “Grup Karar Verme ile Pisagor Bulanık TOPSIS [20]” veya “Yenilenebilir Enerji ile Pisagor Bulanık [9]” çalışmaları olsa da “Grup Karar Verme, Pisagor Bulanık Küme, TOPSIS ve Yenilenebilir Enerji Seçimini” bütünüyle entegre eden çalışma yoktur. Bu yönüyle, bu çalışma yazına katkı sağlamaktadır. Ayrıca, bu çalışma GKV için kullanılan Pisagor bulanık ağırlıklı ortalama (PFWA) toplama yöntemini önerilen metodolojiye özgün bir şekilde adapte etmektedir. Bu nedenle çalışmamız PFWA operatörünün gerçek bir probleme güvenilir bir uygulamasını sunmaktadır. Literatürde pek çok uygulaması bulunması nedeniyle geliştirilen ÇKKV çerçevesini daha güvenilir ve tutarlı hale getirmek için TOPSIS yöntemi Pisagor aritmetik operatörleri kullanılarak sunulmuştur.

Tablo 1. Yenilenebilir enerji kriterleri ve kullanılan yöntemler

Yazar	Yılı	Kriterler	Yöntemler
[25]	2011	Teknoloji kullanımı, çevre uyumu, sosyo-politik durum, ekonomik potansiyel.	Graf Teorisi, Matris Yaklaşımı
[26]	2011	Politik, güvenlik, insani yardım, fayda, maliyet, risk	AHP, BOCR
[27]	2012	Ulusal enerji politikası hedefleriyle uyumluluk, projenin siyasi kabulü, sosyal kabul, istihdam olanağı, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, birincil enerji maliyeti, kirletici emisyon, arazi gereksinimi, ekosistem üzerindeki etkisi, hazırlık ve uygulama aşaması süresi, süreklilik ve performansın öngörülebilirliği, teknik fizibilite.	Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS
[28]	2013	Yerel ekonomiye katkı, istihdamın artması, potansiyel ticaret yapabilme, pazarın genişliği, yatırım maliyetlerinin makul seviyede olması, İthalat riskleri, karbon emisyon oranının azaltılması, azot ve kükürt salınımının azaltılması, alan gereksiniminin azlığı, ekolojik planlamalara uygunluk, enerji fiyat istikrarı, enerji arz güvenliği, enerji üretiminde istikrar, dışa bağımlılığın azaltılması, enerji verimliliğini sağlama, etkin politika uygulama, yenilikçi ve destekleyici olma	AHP
[29]	2013	Fizibilite etüdü, risk analizi, güvenilirlik analizi, hazırlık süresi, uygulama süresi, sürekli ve performanslı olmanın öngörülebilirliği, yerli teknolojiyi destekleme, kirletici salınımları azaltma, arazi gereksinimi, atık bertaraf ihtiyacı, milli enerji politikalarıyla ile uyumlu olma, siyasi olarak kabul edilme, sosyal çevrenin kabulü, işgücünün yatırıma etkisi, uygulama maliyeti, fon kaynakları ve devlet teşviki, ekonomik değer	MACBETH ve Bulanık AHP
[30]	2013	Güç, işletme ve bakım maliyeti, yatırım oranı, uygulama süresi, işlem süresi, kullanım ömrü, CO2 emisyon oranı	AHP, COPRAS
[31]	2014	Enerji kaynağının kaliteli olması (sürdürülebilir olması sağlam ve dayanıklı, kullanıcıya yakın olması), devlet politikası, işgücünün tesiri, sosyal çevrenin kabulü, uygulama maliyeti, ekonomik olarak kıymeti, ekonomik olması, performansın sürekli ve tahmin edilebilir olması, risk, yerel teknik bilgi, kirletici salınım, arazi ihtiyacı, atık bertaraf için gereklilik	Bulanık AHP
[32]	2014	Verim, fizibilite, güvenlik, risk, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yatırım getirisi, dışa bağımlılık, siyasi ve yasal durumla uygunluk, ulusal enerji politikası ile uyumluluk, sosyal fayda, sosyal kabul, iş olanakları, sera emisyonu, arazi kullanım gereksinimi, ekosisteme etkisi	AHP ve Bulanık TOPSIS
[33]	2014	Ortalama elektrik maliyeti, talebe cevap verebilme yeteneği, verim, kapasite faktörü, arazi kullanımı, dış masraflar (çevre), iş yaratımı, sosyal kabul edilebilirlik, harici tedarik riski	SWING
[34]	2014	Üretilen güç miktarı, teknolojinin yetkinliği, enerji arzının güvenilirliği, sera gazı emisyonu, kolaylık etkisi, alan gereksinimi, ortalama elektrik maliyeti, ekonomiye katkı, sosyal kabul	Monte Carlo Simülasyonu, PROMETHEE
[35]	2015	Verimlilik, enerji verimliliği, birincil enerji oranı, güvenlik, güvenilirlik, olgunluk, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik maliyeti, net şimdiki değer, ödeme süresi, hizmet ömrü, eşdeğer yıllık maliyet, Azot emisyonu, karbondioksit emisyonu, karbon emisyonu, kükürt emisyonu, parçacık emisyonları, metan olmayan uçucu organik bileşikler, arazi kullanımı, sosyal kabul, iş olanakları, sosyal fayda	Bulanık TOPSIS
[36]	2016	Sürdürülebilirlik ve erişilebilirlik, verimlilik, kullanım alanlarının çeşitliliği, saklanabilirlik, iletim verimliliği, ilk yatırım maliyeti, tesisin sadeliği, teknolojinin gereksinimi, bakım gereksinimi, kaza riski ve etkileri, doğaya ve insanlara olan zarar düzeyi.	Bulanık ANP, Bulanık DEMATEL, Bulanık VIKOR

[37]	2016	Maliyet, çevresel etki, risk ve iklim değişimi üzerine etki, güvenilirlik, rezerv miktarı, üretim kapasitesi, sürdürülebilirliğe olan katkı, hükümet politikalarınca desteklenme, ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem, basitlik ve kamu kabulü	Bulanık TOPSIS
[38]	2016	Verim, enerji verimliliği, yatırım maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, Azot emisyonu, karbondioksit emisyonu, arazi kullanımı, sosyal kabul, istihdam olanağı,	Bulanık AHP
[39]	2016	Verim, sermaye maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, iş oluşturma, arazi gereksinimi, emniyet, enerji maliyeti, kaynak kullanılabilirliği, olgunluk, emisyon üzerindeki etkisi, yerinden uzman girişleri, önem pozisyonu, ulusal ekonomik gelişme, sosyal ve politik kabul	AHP
[40]	2017	Ekonomik, teknolojik, sosyal, politika, çevresel	Bulanık ANP, Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS
[41]	2017	Verimlilik, santral inşa süresi, maliyet, devlet teşviki, ekonomik ömür, dışa bağımlılık, istihdam olanakları, sosyal kabul, alan gereksinimi, çevresel etki, topografik gereksinimler, sera gazı salınımı.	ANP, TOPSIS
[42]	2020	Maliyet, Elde edilebilirlik miktarı, gürültü, arazi ihtiyacı, iş imkânı güvenilirlik, sera emisyonları, teknolojik olgunluk, ekolojik etki, hizmet ömrü, verimlilik, su tüketimi, teslim süresi, devlet teşvikleri	SWARA-TOPSIS
[43]	2021	Yatırım maliyeti, işletme maliyeti, istihdam işletme ömrü, enerji verimliliği ekonomik potansiyel, alan gereksinimi, elektrik üretim maliyeti, çevresel etkiler ve sera gazı salınımı	Best Worst Method (BWM)
[44]	2021	İnsan kaynakları, çekici araştırma sistemleri, inovasyon dostu ortam, finansman, destek ve firma yatırımları, araştırma sistemleri, istihdam etkileri	MULTIMOORA
[45]	2021	Öğrenme ve büyüme, müşteri, iç süreçler, finans durumları	DEMATEL
[46]	2022	Yatırım maliyeti, işçilik maliyeti, ARGE maliyeti, üretim maliyeti, gürültü etkisi, sera gazı etkisi, atık bertarafı, şehir merkezine mesafe, ekonomik riskler	DEMATEL
[47]	2022	Potansiyel toplam güç üretimi, CO ₂ ve CH ₄ emisyonu, alan gereksinimi, seviyelendirilmiş enerji maliyeti, potansiyel istihdam oluşturma	AHP, Fuzzy Shannon Entropy, ve Weighted Sum Model
[48]	2022	Verimlilik, güç çıkışı, kapasite, kullanılabilirlik, ürün maliyeti, bakım ve işletme maliyeti, CO ₂ emisyonu, toprak ve su kullanımı	WSM, AHP, WPM, ELECTRE
[49]	2023	Rüzgâr enerjisinin etkileri, rüzgâr enerjisinin öngörülebilirliği, kurulum ve elektrik ağ maliyeti, risk değerlendirmesi, coğrafi konum	DEMATEL
[50]	2023	Çok haneli konutlar, beş kat, 1945-1995 yılları arasında inşa edilenler, bağımsızlık, teknolojik gereksinim	TOPSIS
[51]	2023	Enerji geçişi, karbon salınımı, hızlı arz, ekonomik canlanma, istihdam oluşturma, ulusal ve uluslararası stratejiler	FF-CRITIC-VIKOR
[10]	2023	İstihdam oluşturma, yasal teşvikler, sosyal kabul, yerel kalkınma, kazsa durumları, yatırım maliyeti, üretim maliyeti, yatırım getiri oranı, bakım maliyeti, Pazar payı, verimlilik, güvenilirlik, sürdürülebilirlik, güvenli olma, yenilikçilik	IVFF-ARAS
[52]	2024	Çevresel kısıtlamalar, dalga gücü yoğunluğu, su derinliği, kıyıdan uzaklık	GKV-AHP, TOPSIS ve PSO-ANN

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Ön Hazırlıklar

Pisagor bulanık setlerinin ana kavramları kısaca tanıtılmış ve bunların aritmetik işlemleri sunulmuştur. Yager [14] sonlu sabit bir x kümesi sunar ve Denklemden Pisagor bulanık kümesi \tilde{P} 'yi Denklem (1)'de tanımlamıştır.

$$\tilde{P} = \{x, \tilde{P}(\mu_{\tilde{P}}(x), v_{\tilde{P}}(x)) \mid x \in X\} \quad (1)$$

Burada $\mu_{\tilde{P}}(x)$ ve $v_{\tilde{P}}(x)$ sırasıyla üyelik ve üyeliksizlik dereceleridir ($\mu_{\tilde{P}}(x), v_{\tilde{P}}(x) \in [0,1]$) ve $0 \leq (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 + (v_{\tilde{P}}(x))^2 \leq 1, \forall x \in X$ için Tereddüt derecesi Denklem (2) de şu şekilde tanımlanır:

$$\pi_{\tilde{P}}(x) = \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{P}}(x))^2 - (v_{\tilde{P}}(x))^2}, \quad (2)$$

$p_1 = (\mu_{P_1}(x), v_{P_1}(x))$ ve $p_2 = (\mu_{P_2}(x), v_{P_2}(x))$ iki PFS numarası olsun ve $\lambda > 0$.

Temel PFS işlemleri Denklem (3) ile Denklem (11) arasında sunulmaktadır [45, 46]:

$$p_1 \oplus p_2 = \left(\sqrt{(\mu_{P_1}(x))^2 + (\mu_{P_2}(x))^2 - (\mu_{P_1}(x))^2 \cdot (\mu_{P_2}(x))^2}, v_{P_1}(x) \cdot v_{P_2}(x)} \right), \quad (3)$$

$$p_1 \otimes p_2 = \left(\mu_{P_1}(x) \cdot \mu_{P_2}(x), \sqrt{(v_{P_1}(x))^2 + (v_{P_2}(x))^2 - (v_{P_1}(x))^2 \cdot (v_{P_2}(x))^2} \right), \quad (4)$$

$$p_1 \ominus p_2 = \left(\sqrt{\frac{(\mu_{P_1}(x))^2 - (\mu_{P_2}(x))^2}{1 - (\mu_{P_2}(x))^2}}, \frac{v_{P_1}(x)}{v_{P_2}(x)}} \right), \quad (5)$$

$$\text{if} \left(\mu_{P_1}(x) \geq \mu_{P_2}(x), v_{P_1}(x) \leq \min \left\{ v_{P_2}(x), \frac{v_{P_2}(x) \cdot \pi_{P_1}(x)}{\pi_{P_2}(x)} \right\} \right), \quad (6)$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{\mu_{P_1}(x)}{\mu_{P_2}(x)}, \sqrt{\frac{(v_{P_1}(x))^2 - (v_{P_2}(x))^2}{1 - (v_{P_2}(x))^2}} \right), \quad (7)$$

$$\text{if} \left(\mu_{P_1}(x) \leq \min \left\{ \mu_{P_2}(x), \frac{\mu_{P_2}(x) \cdot \pi_{P_1}(x)}{\pi_{P_2}(x)} \right\}, v_{P_1}(x) \geq v_{P_2}(x) \right), \quad (8)$$

$$\lambda p_1 = \left(\sqrt{1 - (1 - (\mu_{P_1}(x))^2)^\lambda}, (v_{P_1}(x))^\lambda \right), \quad (9)$$

$$p_1^\lambda = \left((\mu_{P_1}(x))^\lambda, \sqrt{1 - (1 - (v_{P_1}(x))^2)^\lambda} \right), \quad (10)$$

$$p_1^c = (v_{P_1}(x), \mu_{P_1}(x)), \quad (11)$$

3.2 Önerilen Yöntem

TOPSIS tekniği, 1981 yılında Hwang ve Yoon [11] tarafından sunulan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntem, en iyi tercih edilen alternatifin, negatif ideal çözümden mümkün olduğunca uzak ve pozitif ideal çözüme mümkün olduğunca yakın olan alternatif olduğu hipotezinden yararlanır. Pozitif ideal çözüm, maliyet kriterlerinin minimumunu ve fayda kriterlerinin maksimumunu dikkate alırken, negatif ideal çözüm, maliyet kriterlerinin maksimumunu ve fayda kriterlerinin minimumunu dikkate alır. Kısaca, pozitif ideal çözüm, çözüm kriterlerinin en iyi değerini dikkate alırken, negatif ideal çözüm, çözüm kriterlerinin en kötü değerini dikkate alır. Bu yöntem, alternatifleri pozitif idealden negatif ideal noktalara olan mesafeleri dikkate alarak sıralar. Önerilen metodoloji adımları aşağıdaki gibi sunulmaktadır:

Adım 1: Karar kriterlerini ve alternatifleri belirleme:

$i = 1, 2, \dots, m$ olan A_i kümesinin alternatiflerinin her biri $j = 1, 2, \dots, n$ olan C_j kümesinin karar kriterleri için değerlendirildi. Kümeleme karar kriterleri için her biri ile küme alternatifleri değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Pisagor bulanık kümelerinin dilsel değişkenleri [46]

Dilsel Terimler		μ	ν
Çok Zayıf	ÇZ	[0,15	0,85]
Zayıf	Z	[0,25	0,75]
Orta zayıf	OZ	[0,35	0,65]
Orta	O	[0,50	0,45]
Orta İyi	Oİ	[0,65	0,35]
İyi	İ	[0,75	0,25]
Çok iyi	Çİ	[0,85	0,15]

Adım 2: KV'lerin ağırlıklarını belirleme

$k = 1, 2, \dots, K$, bir KV seti olarak, bireysel ağırlıkları ile λ_k ve $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$. KV'lerin ağırlıklarını hesaplamak için Denklem (12) kullanılır.

$$\lambda_k = \frac{\left[\mu_{P_k}(x) + \pi_{P_k}(x) \left[\frac{1 - \pi_{P_k}(x)}{\mu_{P_k}(x)} \right] \right]}{\sum_{k=1}^K \left[\mu_{P_k}(x) + \pi_{P_k}(x) \left[\frac{1 - \pi_{P_k}(x)}{\mu_{P_k}(x)} \right] \right]}, \quad (12)$$

Adım 3: Bireysel karar matrisini belirleme

KV'nin dilbilimsel açıdan bireysel seçenekleri, Tablo 2'deki dilsel değişkenler tarafından dönüştürülür ve bireysel karar matrisi $(A_{(k)}_{ij})_{m \times n}$ Denklem (13)'teki gibi oluşturulur.

$$A_{(k)}_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Adım 4: Toplu karar matrisini belirleme

Bireysel alternatif değerlendirmeler, PFWA toplama operatörü [14, 16] tarafından GKV matrisinde Denklem (14)'te gösterildiği gibi birleştirilir.

$$PFWA = \left\langle \sqrt{1 - \prod_{k=1}^K \left(1 - \left(\mu_{ij}^{(k)} \right)^2 \right)^{\lambda_k}}, \prod_{k=1}^K \left(\nu_{ij}^{(k)} \right)^{\lambda_k} \right\rangle \quad (14)$$

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Adım 5: Kriter ağırlıklarını belirleme

\tilde{w}_j kriter ağırlıklarını PFS değeri şeklinde tanımlayalım,

Denklem (16) kriter ağırlıklarını hesaplamak için kullanılır.

$$PFWA_\lambda = (\tilde{w}_j^{(1)}, \tilde{w}_j^{(2)}, \dots, \tilde{w}_j^{(K)})$$

$$PFWA_\lambda = \lambda_1 * \tilde{w}_j^{(1)} \oplus \lambda_2 * \tilde{w}_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_K * \tilde{w}_j^{(K)}$$

$$PFWA_\lambda = \langle \sqrt{1 - \prod_{k=1}^K (1 - (\mu_j^{(k)})^2)^{\lambda_k}}, \prod_{k=1}^K (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \rangle$$

$$\tilde{w}_j = \langle (\sqrt{\mu_j^{(k)}} - (v_j^{(k)})^2) / 2 \rangle \quad (16)$$

Adım 6: Ağırlıklandırılmış normalleştirilmiş karar matrisi oluşturma

Matris, maliyet türü kriterleri olması durumunda Denklem (11) kullanılarak normalleştirilir.

Ağırlıklı matrisi bulmak için Denklem (17) kullanılır. Ağırlıklar Adım 5'te verilmiştir.

$$\tilde{R}_{ij} = \tilde{w}_j \otimes \tilde{x}_{ij}, j = 1, 2, 3, \dots, n, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (17)$$

$\tilde{r}_{ij} = (\mu_{\tilde{A}}(x), v_{\tilde{A}}(x))$ olduğu yerde

Adım 7: Pozitif ve negatif ideal çözümü hesaplama

Sırasıyla pozitif (A^+) ve negatif (A^-) ideal çözümleri bulmak için Denklem (18) ve Denklem (19) kullanılır.

$$A^+ = (\tilde{r}_1^+, \tilde{r}_2^+, \dots, \tilde{r}_n^+), \tilde{r}_j^+ = (\mu_j^+, v_j^+, \pi_j^+), \quad (18)$$

$$A^- = (\tilde{r}_1^-, \tilde{r}_2^-, \dots, \tilde{r}_n^-), \tilde{r}_j^- = (\mu_j^-, v_j^-, \pi_j^-), \quad (19)$$

$j = 1, 2, \dots, n$, olduğu yerde

$$\mu_j^+ = \{(\max_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_1)\}, \{(\min_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_2)\}$$

$$v_j^+ = \{(\min_i \{v_{ij}\} | j \in J_1)\}, \{(\max_i \{v_{ij}\} | j \in J_2)\}$$

$$\mu_j^- = \{(\min_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_1)\}, \{(\max_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_2)\}$$

$$v_j^- = \{(\max_i \{v_{ij}\} | j \in J_1)\}, \{(\min_i \{v_{ij}\} | j \in J_2)\}$$

J_1 fayda kriteri, J_2 maliyet kriteri olarak kabul edilsin.

Adım 8: Ayırma ölçülerini hesaplama

Negatif ve pozitif ideal çözümlerin ayırma ölçülerini hesaplamak için Denklem (20) ve Denklem (21) kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [|\mu_{ij}^2 - \mu_j^{*2}| + |v_{ij}^2 - v_j^{*2}| + |\pi_{ij}^2 - \pi_j^{*2}|]} \quad (20)$$

$$S_i^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n [|\mu_{ij}^2 - \mu_j^{-2}| + |v_{ij}^2 - v_j^{-2}| + |\pi_{ij}^2 - \pi_j^{-2}|]} \quad (21)$$

Adım 9: Yakınlık katsayısını hesaplama

Denklem (22) 'yi kullanarak her alternatif için yakınlık katsayısı hesaplanır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, m \quad 0 \leq C_i^+ \leq 1 \quad (22)$$

Adım 10. Alternatifleri sıralama.

Yakınlık katsayısının (C_i^+) azalan sırasına göre alternatifler sıralanır.

4. UYGULAMA

Yenilenebilir enerji kaynaklarını belirlemek için literatürde bulunan farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre bazı ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalara göre; teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel kriterler olmak üzere dört ana kriter ve bu kriterlerin alt kriterleri olarak sekiz tane alt kriter belirlenmiş ve Tablo 3'te belirtilmiştir.

Tablo 3. Belirlenen kriterler

Ana kriter ID	Ana Kriter	Alt Kriter ID	Alt Kriter	Açıklamalar
C ₁	Teknik Kriterler	C ₁₁	Kurulum Süresi	Teknolojinin kullanılabilir hale gelme süresidir [1,3,4, 8, 41, 55].
		C ₁₂	Kapasite Faktörü	Toplam üretimin yıllık miktarının, kurulmuş gücün kapasitesine oranıdır [1, 2, 4, 8, 29, 34, 38].
C ₂	Ekonomik Kriterler	C ₂₁	Yatırım Maliyeti	Teçhizat, şebeke bağlantısı, yolların yapımı, teknolojinin kurulması ve tesisat gibi hizmetlerin maliyeti [5, 6, 9, 32, 55].
		C ₂₂	Ekonomik Ömür	Santral kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, yatırımın ekonomik ömrü kârlılığını belirleyen faktör [3, 4, 5, 41, 42, 43, 48].
C ₃	Sosyal Kriterler	C ₃₁	İstihdam Oluşturma	Santrallerin oluşturabileceği istihdamı belirtir [2, 3, 7, 11, 26, 31, 39, 41].
		C ₃₂	Yerel Ekonomiye Katkı	Herhangi bir teknoloji yatırımının özelde bölgeye yapacağı katkı [2, 4, 5, 7, 8, 9, 37, 41].
C ₄	Çevresel Kriterler	C ₄₁	Ekolojik Etki	Tabii hayat bölgelerinin değişimi veya kaybı ile su kaynakları, orman alanları, tarım ve balıkçılık gibi ekosistem hizmetlerinin azalması ya da bitmesi [1, 2, 3, 39, 40, 42, 55].
		C ₄₂	Alan Gereksinimi	Yenilenebilir enerji teknolojileri için ihtiyaç duyulan arazi miktarıdır [7, 8, 9, 11, 27, 28, 29, 30].

Adım 1: Tablo 3’te bahsedilen 4 ana kriter altındaki 8 kriter Kahramanmaraş genelinde kullanılabilir 4 adet yenilenebilir enerji kaynağı alternatifini değerlendirmek için kullanılacaktır. Bu alternatifler rüzgâr, hidroelektrik, güneş enerjisi ve biyoenerji olarak belirlenmiştir. Karar verici olarak alanında uzman iki elektrik mühendisi ve üniversiteden bir akademisyene başvurulmuştur. Üç karar verici (KV)’ye göre 4 alternatif için her bir kritere ait dilsel değişkenler Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Her bir kritere göre her alternatife ilişkin karar matrislerinin dilsel değerlendirilmesi

	A_1 (Rüzgâr)			A_2 (Güneş)			A_3 (Hidroelektrik)			A_4 (Biyoenerji)		
	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3	KV_1	KV_2	KV_3
C_{11}	oi	o	oi	çi	i	i	i	i	oi	o	oz	oz
C_{12}	çi	i	oi	çi	çi	i	çi	i	i	i	i	oi
C_{21}	i	oi	oi	çi	çi	çi	i	oi	i	oz	z	Z
C_{22}	oi	i	i	i	çi	i	i	oi	i	oi	oi	o
C_{31}	o	oz	o	oi	oi	o	çi	çi	i	o	oi	o
C_{32}	o	o	oi	i	i	oi	çi	i	çi	o	oi	oz
C_{41}	i	i	çi	çi	i	çi	çi	çi	i	oi	i	oi
C_{42}	çi	i	çi	çi	i	i	oi	o	o	o	oz	z

Adım 2: Karar matrislerinin ağırlıkları Denklem (12) kullanılarak hesaplanmıştır.

İlk KV için değerlendirme alanında Çİ olduğu, üçüncü KV’nin Oİ olduğu ve ikinci KV’nin de İ olduğu değerlendirilmiştir. Bu sözel değerlendirmeler ikinci adımda Tablo 2’yi kullanarak Pisagor bulanık küme değerlerine dönüştürülmüş ve Denklem (12) ile KV’lerin ağırlıklarını hesaplamak için kullanılmıştır. Örneğin, ilk karar vericinin ağırlığını bulmak için, dilsel değişkenlerin sayısal aralıkları kullanılarak yapılan hesaplamayla;

$$\lambda_1 = \frac{0,85 + 0,5 \left[\frac{1-0,50}{0,85} \right]}{\left[0,85 + 0,5 \left[\frac{1-0,5}{0,85} \right] \right] + \left[0,75 + 0,61 \left[\frac{1-0,61}{0,75} \right] \right] + \left[0,65 + 0,67 \left[\frac{1-0,67}{0,65} \right] \right]} = 0,3577 \text{ değeri bulunur.}$$

Tablo 5’te bütün karar matrislerinin ağırlıkları görülmektedir.

Tablo 5. Her bir karar matrisinin ağırlıkları

KV	KV_1	KV_2	KV_3
Dilsel Terim	çi	i	oi
λ_k	0,3577	0,3335	0,3088

Adım 3: KV’lerin her bir alternatifi her kriter için değerlendirdikleri dilsel değerler Tablo 4 te verilmiştir. Bu dilsel değerlendirmelerin Pisagor bulanık değerler, alan kısıtlaması nedeniyle tümüyle gösterilememiştir. Ancak, veriler çalışmanın özünü yansıtacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Tablo 6 ilk alternatif için üç KV’nin her bir kriter açısından değerlendirmesini Pisagor bulanık küme değerleri olarak göstermektedir.

Tablo 6. İlk alternatif için bireysel karar matrisi

A_1	KV_1			KV_2			KV_3		
C_{11}	0,650	0,350	0,675	0,500	0,450	0,740	0,650	0,350	0,675
C_{12}	0,850	0,150	0,505	0,750	0,250	0,612	0,650	0,350	0,675
C_{21}	0,750	0,250	0,612	0,650	0,350	0,675	0,650	0,350	0,675
C_{22}	0,650	0,350	0,675	0,750	0,250	0,612	0,750	0,250	0,612
C_{31}	0,500	0,450	0,740	0,350	0,650	0,675	0,650	0,350	0,675
C_{32}	0,500	0,450	0,740	0,500	0,450	0,740	0,650	0,350	0,675
C_{41}	0,750	0,250	0,612	0,750	0,250	0,612	0,850	0,150	0,505
C_{42}	0,850	0,150	0,505	0,750	0,250	0,612	0,850	0,150	0,505

Adım 4: Bireysel alternatif değerlendirmeler, PFWA toplama operatörü tarafından GKV matrisine Denklem (14) kullanılarak dönüştürülür.

Elde edilen sonuçlar Tablo 7’de gösterilmiştir. Örnek olarak kurulum süresi kriterine (C_{11}) ait toplu karar matrislerini elde etmek için;

$$\mu_1 = \sqrt{1 - ((1 - 0,65^2)^{0,3577} * (1 - 0,50^2)^{0,3335} * (1 - 0,65^2)^{0,3088})} = 0,608$$

$$v_1 = 0,35^{0,3577} * 0,45^{0,3335} * 0,35^{0,3088} = 0,381$$

Tablo 7. Toplu karar matrisi

A_i	A_1		A_2		A_3		A_4	
	μ	v	μ	v	μ	v	μ	v
C_{11}	0,608	0,381	0,793	0,208	0,723	0,277	0,413	0,570
C_{12}	0,771	0,231	0,825	0,176	0,793	0,208	0,723	0,277
C_{21}	0,691	0,310	0,850	0,150	0,721	0,280	0,291	0,713
C_{22}	0,719	0,282	0,790	0,211	0,721	0,280	0,612	0,378
C_{31}	0,521	0,471	0,612	0,378	0,825	0,176	0,559	0,414
C_{32}	0,555	0,416	0,723	0,277	0,823	0,178	0,528	0,464
C_{41}	0,787	0,214	0,823	0,178	0,825	0,176	0,688	0,313
C_{42}	0,823	0,178	0,793	0,208	0,612	0,378	0,392	0,596

Adım 5: Kriter ağırlıkları KV’lerin dilsel her bir kriter için dilsel değerlendirmeleri alındıktan sonra Denklem (16) kullanılarak hesaplanır. Tablo 8 bu dilsel değerlendirmeleri, net kriter ağırlıklarını ve kriter sıralamasını sunmaktadır. Tablo 9 kriter Pisagor Bulanık değerleri ve ağırlıklarını sunmaktadır. Örnek olarak C_{11} kriterine ait ağırlığı elde etmek için;

$$\mu_1 = \sqrt{1 - ((1 - 0,650^2)^{0,3577} * (1 - 0,500^2)^{0,3335} * (1 - 0,750^2)^{0,3088})} = 0,649,$$

$$v_1 = 0,350^{0,3577} * 0,450^{0,3335} * 0,250^{0,3088} = 0,343,$$

$$\tilde{w}_1 = \langle (\sqrt{0,649} - (0,343)^2) / 2 \rangle = 0,344$$

Tablo 8. Kriter değerlendirme, net ağırlık ve sıralamaları

C_j	C_{11}	C_{12}	C_{21}	C_{22}	C_{31}	C_{32}	C_{41}	C_{42}
KV_1	oi	çi	çi	o	oi	o	i	oz
KV_2	o	i	çi	oz	o	i	i	z
KV_3	i	oi	çi	o	oi	o	çi	o
w_j	0,344	0,412	0,450	0,209	0,318	0,322	0,421	0,124
Sıra	4	3	1	7	6	5	2	8

Tablo 9. Kriter Pisagor Bulanık değerleri ve ağırlıkları

C_j	KV_1		KV_2		KV_3		PFWA $_{\lambda}$	
C_{11}	0,650	0,350	0,500	0,450	0,750	0,250	0,649	0,343
C_{12}	0,850	0,150	0,750	0,250	0,650	0,350	0,771	0,231
C_{21}	0,850	0,150	0,850	0,150	0,850	0,150	0,850	0,150
C_{22}	0,500	0,450	0,350	0,650	0,500	0,450	0,458	0,509
C_{31}	0,650	0,350	0,500	0,450	0,650	0,350	0,608	0,381
C_{32}	0,500	0,450	0,750	0,250	0,500	0,450	0,611	0,370
C_{41}	0,750	0,250	0,750	0,250	0,850	0,150	0,787	0,214
C_{42}	0,350	0,650	0,250	0,750	0,500	0,450	0,381	0,609

Adım 6: Toplu karar matrisleri belirlendikten sonra kriter ağırlıkları hesaba katılarak ağırlıklandırılmış normalleştirilmiş karar matrisleri oluşturulur. Kriterler C_{11} , C_{21} , C_{41} ve C_{42} maliyet kriterleri, diğerleri fayda kriterleridir. Denklem (17) kullanılarak Tablo 9’da her alternatife ait kriterlerin ağırlıklandırılmış değerleri görülmektedir. Maliyet türü kriterler olması durumunda minimum değer ideal olarak kabul edilmektedir. Örnek olarak C_{11} kriterine ait ağırlıklandırılmış karar değerini bulmak için; $\mu_{11} = \sqrt{1 - ((1 - 0,608^2)^{0,649}} = 0,509, v_{11} = 0,381^{0,343} = 0,718,$

Tablo 10. Ağırlıklandırılmış karar matrisleri

A_i	A_1		A_2		A_3		A_4	
	μ	v	μ	v	μ	v	μ	v
C_{11}	0,509	0,718	0,689	0,584	0,618	0,644	0,338	0,825
C_{12}	0,666	0,605	0,723	0,551	0,689	0,584	0,618	0,644
C_{21}	0,252	0,881	0,121	0,946	0,227	0,894	0,607	0,654
C_{22}	0,614	0,648	0,686	0,586	0,616	0,646	0,616	0,646
C_{31}	0,431	0,772	0,512	0,716	0,723	0,551	0,465	0,739
C_{32}	0,461	0,740	0,618	0,644	0,721	0,553	0,437	0,768
C_{41}	0,683	0,589	0,721	0,553	0,723	0,551	0,584	0,671
C_{42}	0,721	0,553	0,689	0,584	0,512	0,716	0,320	0,837

Tablo 11. Pozitif (A^+) ve negatif (A^-) ideal çözümler

C_j	A^+		A^-	
	μ_j^+	v_j^+	μ_j^-	v_j^-
C_{11}	0,689	0,584	0,338	0,825
C_{12}	0,723	0,551	0,618	0,644
C_{21}	0,121	0,946	0,607	0,654
C_{22}	0,686	0,586	0,614	0,648
C_{31}	0,723	0,551	0,431	0,772
C_{32}	0,721	0,553	0,437	0,768
C_{41}	0,723	0,551	0,584	0,671
C_{42}	0,721	0,553	0,320	0,837

Adım 7: Pozitif (A^+) ve negatif (A^-) ideal çözümleri bulmak için Denklem (18) ve Denklem (19) kullanılmıştır. Belirlenen değerler Tablo 11’de gösterilmiştir. C_{11} , C_{21} , C_{41} ve C_{42} maliyet kriterleri, diğerleri fayda kriterleri olarak hesaplanmıştır.

Adım 8: Ayırma ölçüleri (S_j^+ , S_j^-) hesaplamak için Denklem (20) ve Denklem (21) kullanılır.

Adım 9: Denklem (22) kullanılarak her alternatif için yakınlık katsayısı (C_i^+) hesaplanır.

Adım 10: yakınlık katsayısının azalan sırasına göre alternatifler sıralanır. Tablo 12’de bu sıralama görülmektedir. A_2 yani güneş enerjisi en iyi alternatif, A_4 ise en son alternatif olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 12. Alternatiflerin sıralanması

	S_i^+	S_i^-	C_i^+	Rank
A_1	0,492	0,481	0,495	3
A_2	0,300	0,614	0,672	1
A_3	0,342	0,595	0,635	2
A_4	0,678	0,103	0,132	4

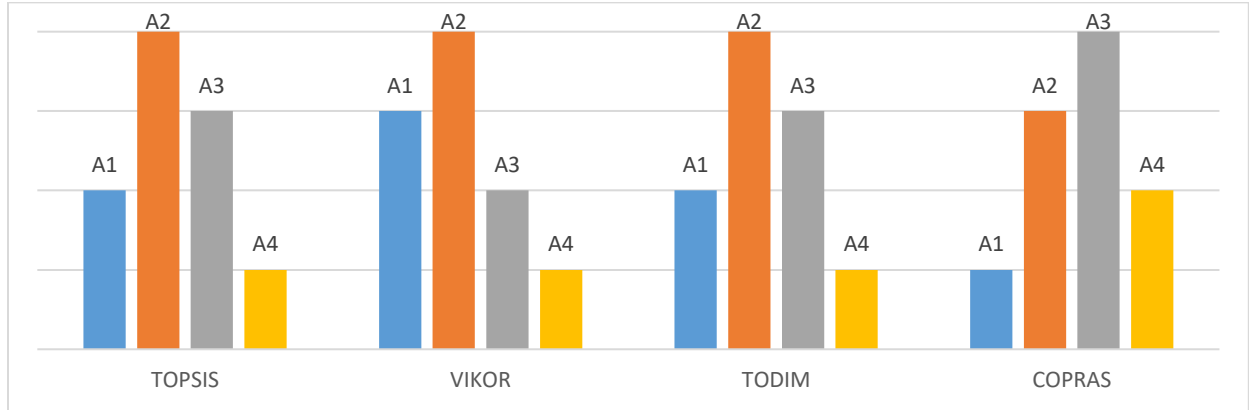
5. YÖNETİMSEL ÇIKARIMLAR VE TARTIŞMA

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi kadar, hangi kaynağın seçileceği de büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma Kahramanmaraş genelini kapsayan bir çalışmadır. Hâlihazırda Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde elektrik üretimi için kullanılan barajlar mevcuttur. Aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarından olmayan Afşin- Elbistan yöresinde bulunan iki adet termik santral mevcuttur. Nurhak ilçesine de yapılmayı planlanan bir hidroelektrik santral de Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) sürecindedir. Ancak bahsedilen hidroelektrik santrallerinin kapasitesinin sınırlı olması ve termik santrallerin hem çevreye verdiği büyük zararlar hem de tükenbilir bir kaynak olması nedeniyle yeni santrallere ihtiyaç olduğu söylenebilir [26].

Bu santrallerin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla oluşturulması da daha önce belirtilen sebeplerden dolayı elzemdir. Kahramanmaraş genelinde kullanılabilecek dört tip yenilenebilir enerji kaynağı mevcuttur. Bunlar rüzgâr, güneş, hidro ve biyoenerjidir. Bu enerji kaynaklarının kullanımı için uzman görüşü alınarak sekiz kriter belirlenmiştir. Kurulum süresi teknolojinin hazır hale gelme süresidir ve kısa olması bir avantajdır. Kapasite faktörü karar vericiler tarafında önem verilen bir ölçüt olup santralin üretim miktarını belirtmektedir. Yatırım maliyeti ve ekonomik ömür karar vericiler tarafından dikkate alınan ekonomik kriterlerdir. İstihdam oluşturma ve yerel ekonomiye katkı Kahramanmaraş bölgesi için oldukça önemli ölçütlerdir. Karar vericilerin önemle üzerinde durduğu önemli çevresel kriterlerden olan ekolojik etki yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimini etkileyen en önemli nedenlerden biridir. Alan gereksinimi, Kahramanmaraş genelinde müsait bölgelerin olduğunu gösteren bir ölçüttür. Örneğin, Elbistan ilçesi sınırlarında yer alan Doğan mevkiinde güneş enerji panelleri bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan, Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi, Pisagor bulanık kümelerini içeren geleneksel TOPSIS yönteminin bir uzantısıdır. Pisagor bulanık kümeleri, belirsizliği ve muğlaklığı temsil etmede daha fazla esnekliğe izin veren bulanık kümelerin bir genellemesidir. Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminin bazı güçlü ve zayıf yönleri şunlardır: Pisagor bulanık kümelerinin temel güçlü yönlerinden biri, belirsizliği geleneksel bulanık kümelerden daha etkili bir şekilde ele alma yetenekleridir. Bu özellikle belirsizliğin hâkim olduğu karar verme süreçlerinde önemlidir. Pisagor bulanık kümeler, üyelik derecesi ve üyeliksizlik derecesinin toplamının 1'den büyük bir değere toplanmasına izin vererek belirsizliğin daha esnek bir temsilini sağlar. Bu esneklik, gerçek dünyadaki karar problemlerindeki belirsizliği ve belirsizliği daha iyi yakalayabilir. Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi, karar vericilerin alternatiflerin performansı hakkında kesin bilgiye sahip olamayacakları durumlar için uygundur. Pisagor bulanık kümesi, karar matrislerindeki belirsizliğin daha gerçekçi bir temsiline izin verir. Yöntem, özellikle çok kriterli ve kesin olmayan bilgiler içeren çok çeşitli karar verme problemlerine uygulanabilir. Finans, mühendislik, çevre yönetimi gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Pisagor bulanık kümelerinin dâhil edilmesi, geleneksel TOPSIS yöntemleriyle karşılaştırıldığında ek hesaplama karmaşıklığı getirebilir. Bu, özellikle büyük ölçekli karar problemlerinde hesaplama yükünün artması nedeniyle bir sınırlama olabilir. Birçok bulanık tabanlı yöntem gibi Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi de üyelik ve üyeliksizlik dereceleri gibi parametrelerin ayarlanmasını gerektirir. Bu parametrelerin seçimi subjektif olabilir ve sonuçları etkileyebilir. Pisagor Bulanık TOPSIS yöntemi pratikte yaygın kabul ve uygulama kazanmamış olabilir. Karar vericiler ve uygulayıcılar geleneksel TOPSIS veya diğer karar verme yöntemlerine daha aşina olabilirler. Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminin etkinliği, karar alternatifleri için doğru ve kapsamlı verilere dayanır. Bu tür verileri elde etmek, özellikle gerçek dünya senaryolarında zorlayıcı olabilir ve sonuçların güvenilirliğini etkileyebilir. Özetle, Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminin belirsizlik ve esneklikle başa çıkma konusunda kayda değer güçlü yönleri olmasına rağmen, aynı zamanda hesaplama karmaşıklığı, parametre belirlemede öznellik, sınırlı kabul ve veri toplamadaki potansiyel zorluklarla ilgili sınırlamaları da vardır. Uygunluğu, eldeki karar probleminin spesifik özelliklerine ve karar vericilerin tercihlerine bağlıdır. Bu çalışmada, Pisagor Bulanık TOPSIS yönteminin GKV ortamında ve Yenilenebilir Enerji Kaynağı seçimine uygulanması etkinliğini artırmış ve güçlü yönlerini ortaya çıkarmıştır.

Günümüz gelişen ve ilerleyen dünyasının önemli bir bölümünü karar verme süreci oluşturmaktadır. Kişiler, kurumlar veya işletmeler hızla değişen ve giderek zorlaşan çalışma koşulları altında sürekli kararlar almaktadır. Durum böyle olunca karar verme sorunları da karmaşık hale geldi. Alternatif ve kriterlerin sayısının artması ve kriterlerin birbiriyle çelişmesi, karar vericilerin aralarında seçim yapmasını oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, birden fazla alternatif arasından bir karara varmak amacıyla birden fazla kriterin değerlendirilmesi amacıyla ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır. ÇKKV yöntemleri yalnızca araç, teknik veya algoritma olarak yürütülmez, aynı zamanda insana özgü yargılama durumlarını da içerir. Farklı ölçü birimlerine sahip kriterlerin bulunması durumunda bu farklılıkların ortadan kaldırılması esastır. Örneğin niteliksel ve niceliksel kriterlerin ölçüm birimi farklı olmasına rağmen TOPSIS yöntemindeki bu farklılığı uzaklığa dayalı ölçeklendirme ile ortadan kaldırılmaktadır. ÇKKV yöntemleri ile ilgili literatür taraması yapıldığında karar problemlerinin çözümü için kullanılan birçok farklı yöntemin olduğu görülmektedir. Farklı ÇKKV yöntemlerine göre değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkisini incelemek için bir karşılaştırma analizi de yapılmıştır. Göreceli yöntemlerdeki olası değişikliklerin nihai sıralamayı nasıl etkileyeceğini gözlemlemek için araştırılmalıdır. Bu amaçla TOPSIS, VIKOR, TODIM ve COPRAS ÇKKV yöntemleri Pisagor Bulanık Ortam altında incelenmiştir. Analizde alternatif sıralamaların varyasyonlarını görebilmek için bilgi sağlamaya yardımcı olmak amacıyla karşılaştırma yapılır. Sonuçlar incelendiğinde yöntemlerde bahsedilen değişikliklerin bazı alternatiflerin sıralamasını az da olsa değiştirdiği görülmektedir. Ancak, COPRAS tekniği dışında ilk ve son alternatifin sonuçları aynı kalmıştır. Farklı ÇKKV durumları için bu aday performans değerlerinin (sıralamaları) bir özeti Şekil 1'de gösterilmektedir. Sonuçlar, önerilen yöntemin avantajlarının ve sonuçların tutarlılığının etkin bir şekilde doğrulanmasını sağlar.



Şekil 1. Farklı ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmaları

ÇKKV yöntemlerinden olan TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirmede ilk sırada güneş enerjisinin çıkması normal karşılanabilir. Halen il genelinde sınırlı sayıda da olsa güneş panelleri bulunmaktadır. Bu sayının çok daha fazla artması gerektiği düşünülmektedir. Daha sonra hidroelektrik enerjisi gelmektedir. Büyük akarsu kaynaklarına ve engebeli arazilere sahip olan Kahramanmaraş ilinde hidro enerjiden daha fazla faydalanma çalışmaları devam etmektedir. Örneğin Nurhak ilçesine bir baraj yapılması projesi ÇED sürecindedir [57]. Hidroelektrik enerjiden daha çevreci olan rüzgâr enerjisinde kapasite faktörü sorunu bulunmaktadır. Dört mevsim rüzgârlı yer sayısı il genelinde fazla bulunmamaktadır. Dördüncü alternatif olan biyoenerji için bölgede ciddi bir yatırımın olmadığı görülmektedir. Bu nedenden dolayı diğer alternatiflere göre karar vericiler tarafından geri planda değerlendirilmiştir. Tarım ve hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı bölgede bu enerji kaynağı da destekleyici bir alternatif olarak düşünülebilir. Pisagor bulanık küme ortamında TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmanın isabetli bir sonuç verdiğini söyleyebiliriz.

6. SONUÇ

Enerjiye olan ihtiyacın günden güne arttığı günümüz dünyasında yenilenemez enerji kaynağı olan doğalgaz, petrol, kömür, vb. kaynakların da hızla tükenmesi, küresel olarak tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin nasıl kullanılacağı konusunda araştırma, yatırım ve üretim yapma mecburiyeti ortaya çıkmıştır. Bu yapılacak olan yatırımların maliyet, verim, kapasite, istihdam oluşturma gibi ölçütler düşünülerek en ideal şekilde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada da Pisagor bulanık küme ortamında TOPSIS çok kriterli karar verme tekniği kullanılarak pozitif ideal çözüme en kısa mesafedeki ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki karar seçeneğinin belirlenmesi işlemi yapılmak suretiyle bir vaka çalışması yapılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin avantajları kullanılarak uzman görüşlü alınarak belirlenen kriterlerden dört alternatif içerisinde en iyi alternatif bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışma sonucunda, A_2 yani Güneş enerjisi Kahramanmaraş bölgesi için en tercih edilebilir yenilenebilir enerji kaynağı olarak ortaya konmuştur. A_4 yani Bioenerji ise en son tercih olarak bulunmuştur. Yatırım maliyeti (C_{21}) ve Ekolojik etki (C_{41}) kriterleri bu seçime en çok etki yapan kriterler olarak görülmüş, seçimde en az etkiyi ise Alan gereksinimi (C_{42}) kriteri olmuştur. Bu tercihler yapılan literatür taraması ve uzman görüşleri ile örtüşmektedir. Bu konu ile alakalı gelecek çalışmalara ışık tutacak bazı önemli hususlarda burada belirtilebilir. Farklı ÇKKV yöntemleri bu önerilen modele entegre edilebilir. İlerde AHP benzeri başka yöntemler kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılabilir. Yenilenebilir enerji kaynağının seçimi değerlendirilirken kullanılan metod ile elde edilen sonuçlar duyarlılık analizi ile kontrol edilebilir. Bu sayede farklı yöntemler aynı anda uygulanarak sonuçların güvenilirliği duyarlılık analizi ile doğrulanmış olacaktır. Genel ölçütler her bölgede kullanılabilir olacakken, bölgesel farklılıkları açığa çıkaracak bölgesel ölçütler kullanılabilir olacaktır. Ayrıca daha geniş bir çerçevede yapılacak çalışmalarda seçilecek olan yöntemlerin seçim nedenleri daha objektif bir şekilde açıklanırsa, daha etkili sonuçlar ve çıkarımlara ulaşılabilir.

REFERANSLAR

- [1] Koç E and Kaya K, “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu,” *Mühendis ve Makina*, vol. 56, no. 667, pp. 36–47, 2015.
- [2] A. Kayahan Karakul, “Bulanık AHP Yöntemi ile Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi,” *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, no. 19, pp. 127–150, Apr. 2020, doi: 10.29029/busbed.640162.
- [3] D. Ghose, S. Pradhan, and Shabbiruddin, “Development of model for assessment of renewable energy sources: a case study on Gujarat, India,” *International Journal of Ambient Energy*, vol. 43, no. 1, pp. 1157–1166, Dec. 2022, doi: 10.1080/01430750.2019.1691650.
- [4] H. Dinçer and S. Yüksel, “Multidimensional evaluation of global investments on the renewable energy with the integrated fuzzy decision-making model under the hesitancy,” *Int J Energy Res*, vol. 43, no. 5, pp. 1775–1784, Apr. 2019, doi: 10.1002/er.4400.
- [5] G. N. Yücenur, Ş. Çaylak, G. Gönül, and M. Postalcioglu, “An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility,” *Renew Energy*, vol. 145, pp. 2587–2597, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.011.
- [6] Y. A. Solangi, Q. Tan, N. H. Mirjat, G. Das Valasai, M. W. A. Khan, and M. Ikram, “An Integrated Delphi-AHP and Fuzzy TOPSIS Approach toward Ranking and Selection of Renewable Energy Resources in Pakistan,” *Processes*, vol. 7, no. 2, p. 118, Feb. 2019, doi: 10.3390/pr7020118.
- [7] E. Billig and D. Thraen, “Renewable methane – A technology evaluation by multi-criteria decision making from a European perspective,” *Energy*, vol. 139, pp. 468–484, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.07.164.

- [8] H.-C. Lee and C.-T. Chang, “Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 883–896, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.007.
- [9] P. Rani, A. R. Mishra, K. R. Pardasani, A. Mardani, H. Liao, and D. Streimikiene, “A novel VIKOR approach based on entropy and divergence measures of Pythagorean fuzzy sets to evaluate renewable energy technologies in India,” *J Clean Prod*, vol. 238, p. 117936, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117936.
- [10] F. Göçer, “A Novel Extension of Fermatean Fuzzy Sets into Group Decision Making: A Study for Prioritization of Renewable Energy Technologies,” *Arab J Sci Eng*, Oct. 2023, doi: 10.1007/s13369-023-08307-5.
- [11] C.-L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making*, vol. 186. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981. doi: 10.1007/978-3-642-48318-9.
- [12] S. Dündar, F. Ecer, and Ş. Özdemir, “Fuzzy Topsis Yöntemi İle Sanal Mağazaların Web Sitelerinin Değerlendirilmesi,” *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt. 21, Sayı. 1, ss.1- 19.
- [13] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, Jun. 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [14] R. R. Yager, “Pythagorean Membership Grades in Multicriteria Decision Making,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 22, no. 4, pp. 958–965, Aug. 2014, doi: 10.1109/TFUZZ.2013.2278989.
- [15] E. Ilbahar, A. Karaşan, S. Cebi, and C. Kahraman, “A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system,” *Saf Sci*, vol. 103, pp. 124–136, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.ssci.2017.10.025.
- [16] R. R. Yager, “Pythagorean fuzzy subsets,” in *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*, IEEE, Jun. 2013, pp. 57–61. doi: 10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375.
- [17] P. Rani, A. R. Mishra, G. Rezaei, H. Liao, and A. Mardani, “Extended Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method Based on Similarity Measure for Sustainable Recycling Partner Selection,” *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 735–747, Mar. 2020, doi: 10.1007/s40815-019-00689-9.
- [18] F. Göçer and G. Büyükoçkan, “A novel extension of Pythagorean fuzzy MULTIMOORA approach for new product development,” *Heliyon*, vol. 9, no. 6, p. e16726, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16726.
- [19] F. Göçer, “Improving sustainable supplier evaluation by an integrated MCDM method under pythagorean fuzzy environment,” *Cumhuriyet Science Journal*, vol. 42, no. 1, pp. 218–235, Mar. 2021, doi: 10.17776/cs.j.735674.
- [20] M. Akram, W. A. Dudek, and F. Ilyas, “Group decision-making based on pythagorean fuzzy TOPSIS method,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 7, pp. 1455–1475, Jul. 2019, doi: 10.1002/int.22103.
- [21] M. Yucesan and M. Gul, “Hospital service quality evaluation: an integrated model based on Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS,” *Soft comput*, vol. 24, no. 5, pp. 3237–3255, Mar. 2020, doi: 10.1007/s00500-019-04084-2.
- [22] Y. Dorfeshan and S. M. Mousavi, “A group TOPSIS-COPRAS methodology with Pythagorean fuzzy sets considering weights of experts for project critical path problem,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 36, no. 2, pp. 1375–1387, Mar. 2019, doi: 10.3233/JIFS-172252.

- [23] A. Biswas and B. Sarkar, “Pythagorean fuzzy TOPSIS for multicriteria group decision-making with unknown weight information through entropy measure,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 34, no. 6, pp. 1108–1128, Jun. 2019, doi: 10.1002/int.22088.
- [24] M. Hajiaghaei-Keshteli, Z. Cenk, B. Erdebilli, Y. Selim Özdemir, and F. Gholian-Jouybari, “Pythagorean Fuzzy TOPSIS Method for Green Supplier Selection in the Food Industry,” *Expert Syst Appl*, vol. 224, p. 120036, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2023.120036.
- [25] Uysal F, “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçimi İçin Graf Teori ve Matris Yaklaşım,” *Ekonometri ve İstatistik Sayı:13 (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı)*, pp. 23–40, 2011.
- [26] S.-K. Yi, H.-Y. Sin, and E. Heo, “Selecting sustainable renewable energy source for energy assistance to North Korea,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 1, pp. 554–563, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.08.021.
- [27] A. Sadeghi, T. Larimian, and A. Molabashi, “Evaluation of Renewable Energy Sources for Generating Electricity in Province of Yazd: A Fuzzy Mcdm Approach,” *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 62, pp. 1095–1099, Oct. 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.187.
- [28] Yakıcı Ayan Tuba and Pabuçcu Hakan, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Değerlendirilmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 18, pp. 89–110, 2013.
- [29] T. Ertay, C. Kahraman, and İ. Kaya, “Evaluation Of Renewable Energy Alternatives Using Macbeth And Fuzzy AHP Multicriteria Methods: The Case Of Turkey,” *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 19, no. 1, pp. 38–62, Apr. 2013, doi: 10.3846/20294913.2012.762950.
- [30] A. Yazdani-Chamzini, M. M. Fouladgar, E. K. Zavadskas, and S. H. H. Moini, “Selecting The Optimal Renewable Energy Using Multi Criteria Decision Making,” *Journal of Business Economics and Management*, vol. 14, no. 5, pp. 957–978, Sep. 2013, doi: 10.3846/16111699.2013.766257.
- [31] A. Tasri and A. Susilawati, “Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 7, pp. 34–44, Sep. 2014, doi: 10.1016/j.seta.2014.02.008.
- [32] G. Büyüközkan and S. Güleriyüz, “A new GDM based AHP framework with linguistic interval fuzzy preference relations for renewable energy planning,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 27, no. 6, pp. 3181–3195, 2014, doi: 10.3233/IFS-141275.
- [33] A. Maxim, “Sustainability assessment of electricity generation technologies using weighted multi-criteria decision analysis,” *Energy Policy*, vol. 65, pp. 284–297, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2013.09.059.
- [34] M. Troldborg, S. Heslop, and R. L. Hough, “Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, pp. 1173–1184, Nov. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.07.160.

- [35] Ü. Şengül, M. Eren, S. Eslamian Shiraz, V. Gezder, and A. B. Şengül, “Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey,” *Renew Energy*, vol. 75, pp. 617–625, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.renene.2014.10.045.
- [36] Y. Çelikkilek and F. Tüysüz, “An integrated grey based multi-criteria decision making approach for the evaluation of renewable energy sources,” *Energy*, vol. 115, pp. 1246–1258, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.09.091.
- [37] Sağır H and Doğanalp B, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi,” *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Ocak 2016, Sayı:11*, 2016.
- [38] L. Abdullah and L. Najib, “Sustainable energy planning decision using the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process: choosing energy technology in Malaysia,” *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 35, no. 4, pp. 360–377, Apr. 2016, doi: 10.1080/14786451.2014.907292.
- [39] H. Al Garni, A. Kassem, A. Awasthi, D. Komljenovic, and K. Al-Haddad, “A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 16, pp. 137–150, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.seta.2016.05.006.
- [40] G. Büyükoçkan and S. Gülerüz, “Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations,” *Energy*, vol. 123, pp. 149–163, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.01.137.
- [41] S. Ünlüsoy, T. Eren, and E. Özcan, “ANP VE TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi,” *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 204–219, Jun. 2017, doi: 10.15317/Scitech.2017.82.
- [42] O. Derse and E. Yontar, “SWARA-TOPSIS Yöntemi ile En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Belirlenmesi,” *Endüstri Mühendisliği*, vol. 31, no. 3, pp. 389–419, Dec. 2020, doi: 10.46465/endustrimuhendisligi.798063.
- [43] S. Bilgiç, B. Torğul, and T. Paksoy, “Sürdürülebilir Enerji Yönetimi için BWM Yöntemi ile Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi,” *Verimlilik Dergisi*, no. 2, pp. 95–110, Apr. 2021, doi: 10.51551/verimlilik.663721.
- [44] M. Sipa and I. Gorzeń-Mitka, “Assessment of the Progress towards the Management of Renewable Energy Consumption in the Innovativeness Context—A Country Approach,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 16, p. 5064, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14165064.
- [45] Y. Xie, Y. Zhou, Y. Peng, H. Dincer, S. Yuksel, and P. an Xiang, “An Extended Pythagorean Fuzzy Approach to Group Decision-Making With Incomplete Preferences for Analyzing Balanced Scorecard-Based Renewable Energy Investments,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 43020–43035, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065294.
- [46] E. Yontar, “Determining the Importance Order of The Criteria Affecting the Problems of Regional Selection in Renewable Energy Studies,” *Uluslararası Mühendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, vol. 14, no. 2, pp. 475–491, Jul. 2022, doi: 10.29137/umagd.1034298.

- [47] F. Sitorus and P. R. Brito-Parada, “The selection of renewable energy technologies using a hybrid subjective and objective multiple criteria decision making method,” *Expert Syst Appl*, vol. 206, p. 117839, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.117839.
- [48] H. Rezk *et al.*, “Multi-criteria decision making for different concentrated solar thermal power technologies,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, p. 102118, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102118.
- [49] K. Govindan, “Pathways to low carbon energy transition through multi criteria assessment of offshore wind energy barriers,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 187, p. 122131, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2022.122131.
- [50] K. Barnaś *et al.*, “Algorithm for the comprehensive thermal retrofit of housing stock aided by renewable energy supply: A sustainable case for Krakow,” *Energy*, vol. 263, p. 125774, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2022.125774.
- [51] M. Kamali Saraji, E. Aliasgari, and D. Streimikiene, “Assessment of the challenges to renewable energy technologies adoption in rural areas: A Fermatean CRITIC-VIKOR approach,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 189, p. 122399, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2023.122399.
- [52] M. Shao, Z. Han, J. Sun, H. Gao, S. Zhang, and Y. Zhao, “A novel framework for wave power plant site selection and wave forecasting based on GIS, MCDM, and ANN methods: A case study in Hainan Island, Southern China,” *Energy Convers Manag*, vol. 299, p. 117816, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117816.
- [53] X. Peng and Y. Yang, “Fundamental Properties of Interval-Valued Pythagorean Fuzzy Aggregation Operators,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 31, no. 5, pp. 444–487, May 2016, doi: 10.1002/int.21790.
- [54] X. Zhang and Z. Xu, “Extension of TOPSIS to Multiple Criteria Decision Making with Pythagorean Fuzzy Sets,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 29, no. 12, pp. 1061–1078, Dec. 2014, doi: 10.1002/int.21676.
- [55] J.-J. Wang, Y.-Y. Jing, C.-F. Zhang, and J.-H. Zhao, “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9, pp. 2263–2278, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
- [56] G. Büyüközkan, Y. Karabulut, and E. Mukul, “A novel renewable energy selection model for United Nations’ sustainable development goals,” *Energy*, vol. 165, pp. 290–302, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.08.215.
- [57] <https://kahramanmaras.csb.gov.tr/kahramanmaras-ili-caglayancerit-nurhak-ilcesindeki-duyuru-340537>.