

BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI SEÇİMİ

Aygülen KAYAHAN KARAKUL¹

Geliş: 30.10.2019 / Kabul: 31.03.2020

DOI: 10.29029/busbed.640162

Öz

Bu çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi kullanılarak Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynakları arasında, belirli kriterlere göre öncelik sıralaması yapılmıştır. Araştırmanın kriterleri yenilenebilir enerji alanında etkin olan teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal başlıkları altındaki 12 alt kriter, alternatifleri ise biyokütle, güneş, hidrolik, jeotermal ve rüzgâr enerjileridir. Enerji alanındaki çok kriterli karar verme problemlerinde karar vericilerin seçimlerinin sayısallaştırılması bulanık mantık ilkeleri ile daha iyi sağlanabilmektedir. Çalışmada enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde Üçgensel Bulanık Sayılara dayalı, Bulanık AHP yöntemi kullanılmış, kriterler de maliyet odaklıktan ziyade, sürdürülebilir kalkınmanın bir parçası olarak yeşil-çevre odaklı anlayışla oluşturulmuştur. Alternatiflerin bulanık ağırlıklarının sıralanması hem Kwong-Bai, hem de Kareli Ortalama yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda ele alınan kriterlere göre öncelik sıralaması güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerji olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık AHP, Üçgensel Bulanık Sayılar, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

SELECTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCE USING FUZZY AHP METHOD

Abstract

In this study renewable energy sources in Turkey are prioritized by using fuzzy Analytical Hierarchy Process according to defined criteria. The 12 sub

¹ Dr. Öğr. Üyesi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, aygulen.kayahan@ikc.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8310-1709>.

criteria that can be grouped under the titles of technical, economic, environmental and social has been considered among the effective ones in the renewable energy field. The alternatives of research are biomass, solar, wind, hydraulic and geothermal energy sources. The quantification of linguistic terms perform better with fuzzy logic in decision making problems for energy field. The fuzzy Analytical Hierarchy Process based on the Triangular Fuzzy Numbers is used in the research. The criteria are determined by the green environmental perspective as a part of sustainable development. Both Kwong-Bai and Quadratic Mean Methods was used to de-fuzzification of weights of alternatives. As the result of both methods, the order of priority of alternatives was obtained as solar, hydraulic, wind, biomass and geothermal respectively.

Keywords: Fuzzy AHP, Triangular Fuzzy Numbers, Renewable Energy Sources.

Giriş

Enerji alanında verilen kararlar çok sayıda seçim problemi içermektedir. Bu kararlar politik, çevresel, ekonomik ve toplumsal anlamdaki dengeleri gözetmeyi gerektirmektedir. Dengelerin gözetilmesi ilgili alanlarda etkin olan kriterlerin karar aşamasında dikkate alınmasını gerektirir. Türkiye’de ve dünyada gerçekleşen gelişmelerle birlikte enerji alanındaki kararlarda kullanılan kriterler çoğalmış, ve bu durum karar problemlerini karmaşıklştırmıştır. Özellikle son yıllarda çevre konusundaki duyarlılıkların artışı ile birlikte enerji alanındaki karar problemlerinde çevresel kriterler önem kazanmıştır. Enerji alanındaki karar problemlerinde çok sayıda kriterin olması problemlerin çözümünde matematiksel yöntemleri kullanmayı gerekli hale getirmektedir. Türkiye’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan planlamalarda matematiksel yöntemler 1984 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır (Erdoğdu, 2007, 1131). Bugün gelinen noktada Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinin (ÇKKVT) de gelişimi ile birlikte enerji alanındaki planlama problemlerinde birçok matematiksel teknik kullanılmaktadır (Beccalı, Cellura ve Ardente, 1998; Chatzimouratidis ve Pilavachi, 2008; Aras, Erdoğmuş ve Koç, 2004; Erdoğdu, 2007; Uysal, 2011; Karaca ve Ulutaş, 2018). Bulanık mantık ilkelerinin ÇKKVT’ye uygulanması ile elde edilen bulanık teknikler de enerji planlanması problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Kaya ve Kahraman, 2010; Heo, Kim ve Boo, 2010; Sağır ve Doğanalp, 2016; Solangi, Tan, Mirjat, Valasai, Khan ve Ikram, 2019).

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinden birisi de Analitik Hiyerarşı Prosesidir (AHP). AHP karar problemlerinde dilsel ifadelere

faydalanarak kriterleri ya da kriterlere göre alternatifleri ikili olarak kendi aralarında karşılaştırma olanağı veren bir tekniktir. Bulanık mantığın ÇKKV tekniklerine entegre edilmesiyle elde edilen Bulanık AHP ile dilsel ifadelerin sayısal temsili, klasik yöntemlere göre gerçeğe daha yakın olarak yapılmaktadır. Böylece enerji alanındaki planlama, kaynak seçimi, kaynak için yer seçimi, enerji politikası, enerji yönetimi, enerji sistemlerinin dağıtım ve iletimi gibi karar problemlerinde Bulanık AHP kullanılabilir.

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranları gittikçe artmasına rağmen yine de bu oranlar yenilenebilir olmayan kaynaklara göre daha azdır: 2015 yılı itibari ile Türkiye toplam enerji tüketiminin % 87,6’sını fosil yakıtlardan, sadece % 13,4’ünü yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmiştir (HDR, 2018). Dünyada fosil yakıt rezervlerinin azalması bu yakıt türünü çokça kullanan ülkeleri enerji kesintileri riskleri ile karşı karşıya getirmektedir. Öte yandan fosil yakıtların çevreye verdiği zarar da ortadadır. Üstelik Türkiye’de bu fosil yakıtların büyük çoğunluğu ithal edilmekte (Karaca ve Ulutaş, 2018) bu durum da yabancı kaynaklara olan bağımlılığı beraberinde getirmektedir. Tüm bu sorunların çözümü için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. 2019-2023 yılları arasını kapsayan 11. Beş Yıllık Kalkınma planında yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üretiminin artırılması için gerekli planlama ve yatırımların gerçekleştirileceği belirtilmiştir. Ayrıca Plan’da yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı 2018 yılı itibari ile % 32,5 iken bu oranın 2023 itibari ile % 38,5’a çıkarılmasının hedeflendiği ifade edilmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, s.119-121). Bu hedefler yenilenebilir enerji alanında hem kamu hem de özel sektör tarafından yeni yatırımların yapılacağını, yeni enerji santrallerinin kurulacağını göstermektedir. Bu çalışmada bulanık AHP ile yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle, güneş, hidrolik, jeotermal ve rüzgâr enerjisi kaynakları arasından belirlenen kriterlere göre en uygun olanın seçim problemi ele alınmıştır. Birinci bölümde konu ve yöntem ile ilişkili literatür taraması yapılmış, ikinci bölümde araştırma yöntemi olan Bulanık AHP algoritması anlatılmış, üçüncü bölümde Bulanık AHP yöntemi kullanılarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında kriterlere göre öncelik sıralaması gerçekleştirilmiş, dördüncü bölümde ise araştırma bulgularından elde edilen sonuçlar verilmiştir.

1. Literatür Taraması

Enerji planlaması temelde birçok kısıt ve faktöre dayalı olan girdi ve çıktı değerlerini değişkenler olarak ifade eden arz ve talep dengelerinden oluşmaktadır (Beccali, Cellura ve Mistretta, 2003). Enerjiye bağımlı olan gündelik yaşamın

sürdürülmesi için dünya üzerinde coğrafi olarak dengesiz dağılmış olan enerji kaynaklarının (Tatlı ve Koç, 2018) ihtiyaç noktalarına ulaştırılması gereklidir. Bu dağıtımın yanı sıra her ülkenin elindeki yenilenebilir enerji potansiyelini kullanarak kendi enerjisini üretmesi için gereken altyapı çalışmaları da enerji planlamasının bir parçasıdır. Bu planlama çalışmasının ilk aşaması enerji alanındaki yatırım alternatifleri arasından en uygun olanın seçilmesidir. Bu başlık altında ÇKKVT kullanarak enerji alanındaki karar problemlerinin çözümünü konu edinen çalışmalar ele alınmıştır.

Beccali, Cellura ve Ardente (1998) enerji planlaması alanında yaptıkları ve 12 kriter kullandıkları çalışmada ELECTRE III yöntemini kullanmıştır. Kullandıkları kriterler, enerji tasarruf hedefleri, teknik uygunluk-güvenirlilik, kurulum ve bakım gerekliliklerinin yerelde bilinirliği, tasarruf edilen enerji maliyeti, performansın sürekliliği, arazi gereksinimleri, yeşil çevreci faktörlere göre sürdürülebilirlik, kirlilik yaratan diğer emisyonlara göre sürdürülebilirlik, diğer çevresel faktörlere göre sürdürülebilirlik, piyasa uygunluğu, işgücü etkisidir.

Aras, Erdoğan ve Koç (2004) Türkiye’de bir üniversite kampüsüne rüzgâr araştırma türbini kurulumu için en uygun yerin belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarında AHP yöntemini kullanmışlardır. Araştırmalarında maliyet, topografya, altyapı, güvenlik ve ulaşım uygunluğu kriterlerini dikkate almışlar; alt kriterleri ise tesis kurulumu, onarım-bakım, gözlem, yer çalışmaları, kurulum, doğal bariyer, yön, bölgenin yapısı, elektrik kaynağına yakınlık, diğer altyapı kriterleri, hırsızlık ve zarar olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu çalışma sonucunda kampüs içindeki beş alternatif noktadan en uygun olanını belirlemişlerdir.

Sağır ve Doğanalp (2006) çalışmalarında Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak Türkiye’deki enerji kaynaklarını değerlendirmişlerdir. Kriter olarak güvenirlilik, rezerv miktarı, maliyet, çevresel etki, risk, üretim kapasitesi, iklim değişimi üzerine etkileri, sürdürülebilirliğe olan katkısı, hükümet politikalarınca desteklenme, ülke ekonomisi açısından sahip olunan önem, basitlik ve sosyal kabul kriterlerini dikkate almışlardır. Çalışmaları sonucunda alternatiflerin en uygun olan sıralamasının yenilenebilir, nükleer ve fosil kaynaklar olduğunu belirtmişlerdir.

Chatzimouratidis ve Pilavachi (2008) içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının da yer aldığı 10 enerji kaynağını, yerel toplulukların yaşam kalitesi üzerindeki etkilerine göre değerlendirdikleri çalışmalarında AHP yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar kriterleri yaşam kalitesi ve sosyoekonomik konular olarak iki ana başlıkta gruplandırmış, yaşam kalitesi kapsamında ölümcül

olaylar, radyoaktif olmayan emisyonlar, radyoaktivite, arazi gereklilikleri maddelerini; sosyoekonomik konular kapsamında ise yeni işler yaratma kapasitesi, fayda oranı ve sosyal kabul maddelerini dikkate almışlardır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre alternatifler arasındaki yenilenebilir enerji kaynakları ilk beş sırada jeotermal, rüzgâr, biyokütle, güneş ve hidrolik olarak yer almış, diğer enerji kaynakları ise sonraki beş sırada yer almıştır.

Carrion, Estrella, Dols, Toro, Rodriguez ve Ridaio (2008) araştırmalarında bir şebekeye bağlı olan fotovoltatik enerji santrali için en uygun yerin seçim problemine çözüm aramışlardır. Araştırmacılar yöntem olarak AHP ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) kullanmışlardır. Çalışmalarında çevre, orografi, yer bilgisi ve iklim olarak 4 ana kriterin ağırlıklandırılması AHP yöntemi ile gerçekleştirilmiş, bu ağırlıklara göre var olan alternatifler arasından en uygun yerin seçimi CBS ile gerçekleştirmişlerdir.

Kaya ve Kahraman (2010) en uygun yenilenebilir enerji kaynağının ve bu kaynak için İstanbul'da en uygun üretim yerinin seçimi problemlerine odaklandıkları çalışmalarında yöntem olarak bulanık VIKOR ve bulanık AHP yöntemlerini kullanmışlardır. Araştırmacılar yenilenebilir enerji kaynaklarını teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal ana kriterleri altındaki 9 alt kritere göre değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre alternatiflerin en uygun sıralaması rüzgâr, güneş, biyokütle, jeotermal, hidrolik olarak belirlenmiştir. Sonrasında en iyi alternatif olarak rüzgâr enerjisi üretim tesisi için belirledikleri 7 kriteri dikkate alarak İstanbul'daki 6 ilçe arasından en uygun olan yeri belirlemişlerdir.

Heo, Kim ve Boo (2010) yenilenebilir enerji dağıtım programını değerlendirme faktörlerini analiz ettikleri araştırmalarında yöntem olarak Bulanık AHP kullanmışlardır. Faktörleri belirlerken Kore'de yenilenebilir enerji alanındaki ilişkili kamu kurumlarından, özel kuruluşlardan ve sivil toplum örgütlerinden oluşan tüm paydaşlardan oluşturdukları geniş bir uzmanlar kümesini kullanmışlardır. Araştırmada teknoloji, piyasaya uyum, ekonomiklik, çevre ve politika olarak grupladıkları 5 ana kriter altında toplamda 17 alt kriteri önem derecelerine göre sıralamışlardır.

Uysal (2010) Türkiye'de yenilenebilir enerji alternatiflerinin değerlendirilmesini amaçladıkları çalışmada yöntem olarak teori ve matris yaklaşımı kullanmıştır. Teknolojik, çevresel, sosyo politik, ekonomik ve yenilenebilir enerji potansiyeli kriterleri olarak grupladıkları kriterleri kullanmış ve beş yenilenebilir enerji kaynağını kriterlere göre sıralamışlardır. Araştırma sonunda alternatiflerin en uygun sıralamasını güneş, rüzgâr, biyokütle, hidrolik ve jeotermal biçiminde oluşturmuşlardır.

Yakıcı-Ayan ve Babuççu (2013) yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yatırım projelerini değerlendirdikleri çalışmalarında AHP yöntemini kullanmışlardır. Araştırmalarında ana kriterleri enerji kriterleri, ekonomik, çevresel, kurumsal kriterler olmak üzere dört başlıkta ele almışlar, ana kriterleri 17 alt kritere ayırmışlardır. Araştırma sonucunda yenilenebilir enerji alanındaki yatırım projelerinin en uygun sırası hidrolik, rüzgâr, biyokütle, jeotermal ve güneş enerjisi olarak belirlenmiştir.

Özcan, Ünlüsoy ve Eren (2017) Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygun olan kaynağın seçimini araştırdıkları çalışmalarında ANP ve TOPSIS yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmalarında teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler olarak grupladıkları ana kriterlere göre 12 kriter üzerinden yenilenebilir enerji alternatiflerini sıralamış, bu kaynaklarla yapılacak yatırım önceliklerini elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre alternatiflerin en uygun sıralaması rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal ve güneş şeklinde olmuştur.

Karaca ve Ulutaş (2018) Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimini amaç edindikleri çalışmalarında Entropi ve WASPAS yöntemlerini kullanmışlardır. Araştırmalarında teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterler olarak grupladıkları ana kriterleri toplamda 20 alt kritere ayırmışlardır. Araştırmacılar kriterleri Entropi yöntemi ile ağırlıklandırmış, alternatifleri de bu kriter ağırlıklarını kullanarak WASPAS yöntemi ile sıralamışlardır. Sonuçlara göre alternatiflerin en uygun sıralanması hidrolik, jeotermal, rüzgâr, biokütle ve güneş şeklinde belirlenmiştir.

Solangi, Tan, Mirjat, Valasai, Khan ve Ikram (2019) Pakistan’daki yenilenebilir enerji kaynaklarını Bütünleşik Delphi, AHP ve Bulanık TOPSIS kullanarak değerlendirmişleridir. Araştırmacılar çalışmalarında yenilenebilir enerji kaynağı seçimindeki en önemli kriterleri Delphi yöntemi ile ekonomik, çevresel, teknik ve sosyo-politik olarak dört ana başlıkta belirlemişlerdir. Bu kriterlerin toplamda 20 alt kriterini oluşturmuşlar, ağırlıklandırmada AHP, alternatifleri sıralamada Bulanık TOPSIS kullanmışlardır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre alternatiflerin en uygun sıralamasını rüzgâr, hidrolik, güneş, biyokütle ve jeotermal kaynaklar olarak belirlemişlerdir.

Yapılan literatür taraması sonucunda enerji alanındaki karar problemlerinde çok sayıda ÇKKVT kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada bulanık AHP kullanılması klasik ÇKKV tekniklerine göre bulanık ortamın sağladığı bir avantaj olacaktır. Ayrıca bu araştırmada literatürdeki çalışmalarda rastlanmamış olan ancak sürdürülebilir yeşil ekonominin bir parçası olan çevreci alt kriterler diğer kriterler arasında dağıtılmıştır.

2. Araştırmanın Yöntem ve Modeli

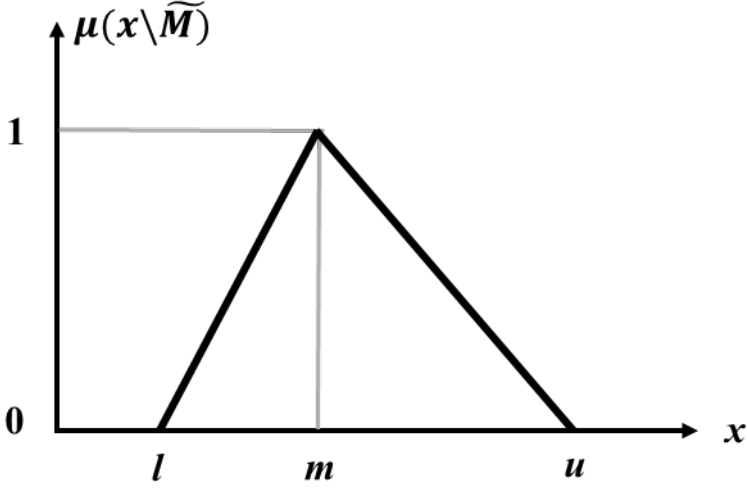
2.1. Bulanık Mantık

İlk defa Azeri asıllı Lütü Askerzade (Lotfi Askar Zadeh) tarafından literature kazandırılan “bulanık ilkeler” uzun yıllar bilim dünyasında kabul görmemiş, Japonya’nın 1970 sonrasında bulanık mantık ve sistemlere ilişkin yapılar kullanarak teknolojik alanda yarattığı devasa gelişmeler sonucunda dikkate alınmaya başlamıştır. Mamdani ve Assilian tarafından 1975’de buhar makinesi kontrolünün bulanık mantıkla modellenmesi sonucu bulanık kümeler kuramına ilişkin felsefi yaklaşımlar pratikte de uygulanmaya başlamıştır (Şen, 2003).

Bulanık mantık, klasik kümeler teoreminin nesnelere bir kümeyle ait olup olmaması gibi iki keskin sınırla belirlenen ölçütün esnetilmesi ile ortaya çıkan yeni bir kümeler kuramına dayanmaktadır. Aristo mantığı ile kurulan klasik anlamdaki kümeler teorisi, nesnelere bir kümeyle ait olma ya da olmama gibi ikici (düalist) durumu kümeyle ait olma derecesine genişletilerek yeniden ele alınmıştır. Böylece, bulanık mantık sayesinde özellikle insan algıları, tercihleri ve düşüncelerinin “var-yok”, “evet-hayır”, “sıcak-soğuk”, “siyah-gri-beyaz”, “az katılıyorum-çok katılıyorum-hiç katılmıyorum-fikrim yok” gibi keskin sınırlarla belirlenmesi yerine, bir yargıdan diğerine geçişkenlik derecelerinin de dikkate alınması mümkün hale getirilmiştir. Bulanık mantığın bu yeni bakış açısı, klasik mantık ve istatistik biliminin algoritmalarıyla ifade edilen insan algı, görüş ve düşüncelerinin daha açıklayıcı olmasını; düşünce ile ilişkili dilsel ifadelerin sembolleştirilmesinin daha kavrayıcı olarak yapılmasını sağlamıştır. Koç (2019) karar vericilerin cinsiyetiniz nedir gibi sonlu net yanıt içeren sorularla karşı karşıya olmadığını, dolayısıyla karar verme problemlerinde geleneksel “Boolean Mantığı”ndan daha ileri bir mantık kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Sosyal yaşamdaki ÇKKV problemleri matematiksel olarak modellenirken karar vericilerin algılarının dilsel ifadeler aracılığı ile sayısal sembollere dönüştürülmesi ihtiyacı öne çıkmaktadır. Bulanık ÇKKV tekniklerinin kullanımı, insan algılarının matematiksel olarak modellenmesine dayanan klasik ÇKKV tekniklerine göre daha gerçekçi bir yaklaşımı temsil etmektedir.

2.1.1. Üçgensel Bulanık Sayılar:

Bulanık ÇKKV tekniklerinden birçoğu Üçgensel Bulanık Sayıları kullanmaktadır. Bir Üçgensel Bulanık Sayı bir olaydaki en düşük olasılık l (lower), net değer m (middle) ve en yüksek olasılık u (upper) olmak üzere (l,m,u) şeklinde ifade edilmektedir (Şekil 1)



Şekil 1. Üçgensel Bulanık Sayı

Üçgensel Bulanık Sayı Eşitlik (1)'de verilen fonksiyonla ifade edilmektedir (Göktolga ve Karakış; 2018: 96).

$$\mu(x \setminus \widetilde{M}) = \begin{cases} 0 & x < l \\ (x - l)/(m - l) & l \leq x \leq m \\ (u - x)/(u - m) & m \leq x \leq u \\ 0 & x > u \end{cases} \quad (1)$$

$\mu(x \setminus \widetilde{M}) = 1$ olmak üzere m 'ye Üçgensel Bulanık Sayının tepesi denir ve m 'nin l ve u 'nun orta noktası olma zorunluluğu bulunmamaktadır (Baykal ve Beyan, 2004:234).

$M_1 = (p_1, r_1, s_1)$ ve $M_2 = (p_2, r_2, s_2)$ iki Üçgensel Bulanık Sayı olmak üzere temel matematiksel işlemler Eşitlik (2), Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'te açıklandığı gibi yapılmaktadır (Ecer, 2018a:621).

$$(p_1, r_1, s_1) \oplus (p_2, r_2, s_2) = (p_1 + p_2, r_1 + r_2, s_1 + s_2) \quad (\text{Toplama}) \quad (2)$$

$$(p_1, r_1, s_1) \otimes (p_2, r_2, s_2) = (p_1 p_2, r_1 r_2, s_1 s_2) \quad (\text{Çarpma}) \quad (3)$$

$$(p_1, r_1, s_1)^{-1} = \left(\frac{1}{s_1}, \frac{1}{r_1}, \frac{1}{p_1} \right) \quad (\text{Çarpımsal Tersini Alma}) \quad (4)$$

2.2. Bulanık AHP

Bulanık AHP, belirli kriterlere göre amaca en uygun seçeneği belirlemek üzere Bulanık Küme teorisinin AHP algoritmalarına uygulanması ile oluşturulmuş bir yöntemdir. Bu yöntem Chang (1996) tarafından kurulan mertebeye analizine dayanmaktadır. Yöntemin gelişimi ile ilgili olarak çok sayıda araştırmacının katkıları bulunmaktadır. Liou ve Wang (1992) çalışmalarında bulanık AHP algoritmasına, iyimserlik indeksini dâhil etmiştir. Stam, Minghe ve Haines (1996) ise AHP'deki bulanık tercihleri belirlerken yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Öte yandan gerçekleştirilen diğer çalışmalar kapsamında, Weck, Klocke, Schell ve Rüenauer (1997) bulanık AHP'de bulanık kümeyi ortaya çıkaran bir yöntemi, Kwong ve Bai (2003) ise Bulanık AHP'de son aşamadaki Üçgensel Bulanık Sayıları sıralamak için kullanılan bir yöntemi geliştirmiştir. Bir diğer çalışmada kapsamında, Abdel-Kader, Dugdale (2001), Bulanık Sayıları sıralamada α yöntemini geliştirmiştir.

2.2.1. Bulanık AHP Algoritması:

Günümüze kadar, seçim ya da sıralama yaptıkları alanları farklı olsa da yöntem olarak bulanık ÇKKVT kullanan çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Awasthi, Govindan ve Gold (2018) Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR yöntemlerini sürdürülebilir küresel tedarikçi seçim problemine uygulamışlardır. Ecer (2018b) mobil bankacılık hizmetlerini değerlendirmek için Bulanık AHP ve ARAS modelini kullanmıştır. Perçin ve Aldalou (2018) Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini bütünleştirerek havacılık sektöründe çalışan şirketleri finansal performanslarına göre sıralamışlardır. Göktolga ve Karakış (2018) bireysel emeklilik şirketlerinin finansal değerlendirmesini Bulanık AHP ve VIKOR yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Güler ve Yomralıoğlu (2018) Elektrikli araçlar için şarj istasyonu yeri seçim problemini Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bulanık AHP yöntemlerini kullanarak ele almışlardır. Ecer (2018a) Bulanık AHP ve EDAS yöntemlerini kullanarak üçüncü parti lojistik tedarikçi seçim problemini ele almıştır. Çalık, Pehlivan ve Kahraman (2018) istatistiki bölge birimlerinin performanslarına göre değerlendirilmesi için Bulanık AHP ve Veri Zarflama yöntemlerini kullanmışlardır.

Bulanık AHP'de ilk adım problemin amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifleri gösterecek şekilde hiyerarşik bir yapıda ifade edilmesidir (Awasthi, Govindan ve Gold, 2018: 112). İkinci aşamada ise amaç ile ölçütler arasında sayısal bağ kurulmaktadır.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ölçüt kümesi, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ amaç kümesini temsil etmek üzere her bir nesne bir amacı gerçekleştirmek üzere ele alınmaktadır (Chang, 1996). Böylece her ölçüt için İfade (5)' te gösterildiği gibi m tane genişletilmiş mertebe analiz değeri elde edilmektedir.

$$M_g^1, M_g^2, \dots, M_g^m \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Bu gösterimdeki tüm M_g^j ($j = 1, 2, \dots, m$) sayıları Üçgensel Bulanık Sayılardır. Chang'ın Bulanık AHP için geliştirdiği mertebe analizi aşağıdaki adımlarda anlatılmıştır (Chang, 1996; Çalık, Pehlivan ve Kahraman; 2018):

Ölçüt i'ye göre bulanık sentetik mertebenin değeri Eşitlik (6)'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_g^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_g^j \right]^{-1} \quad (6)$$

Bu çarpımdaki $\sum_{j=1}^m M_g^j$ değerini elde etmek için verilen m mertebe analiz değerine Eşitlik (7)'de verilen bulanık toplama işlemi uygulanmaktadır.

$$\sum_{j=1}^m M_g^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (7)$$

Eşitlik (6)'daki ikinci vektör ise Eşitlik (8)'de verilen işlem uygulanarak elde edilmektedir.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_g^j = \left(\sum_{i=1}^n l_j, \sum_{i=1}^n m_j, \sum_{i=1}^n u_j \right) \quad (8)$$

Eşitlik (8) kullanılarak belirlenen vektörün çarpımsal tersi Eşitlik (9) kullanılarak elde edilmektedir.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_g^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (9)$$

Böylece Eşitlik (7) ve Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanan iki vektör çarpılarak Eşitlik (6) elde edilmiş olur. Bundan sonraki aşamadaki hedef, S_i

Bulanık Sayılarının sıralanması olup bu konu ile ilgili çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları Chang Yöntemi, Kwong-Bai Yöntemi ve Kareli Ortalama Yöntemidir.

2.2.2. Bulanık Sentez Değerlerin Chang Yöntemi ile Sıralanması:

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki Bulanık Sayı olmak üzere

$M_2 \geq M_1$ in olabilirlik derecesi Eşitlik (10)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(x)] \quad (10)$$

Eşitlik (10)'daki ifadenin farklı bir gösterimi Eşitlik (11)'de verilmiştir:

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \\ = \begin{cases} 1 & \text{eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{eğer } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (11)$$

Eşitlik (11)'deki d değeri Üçgensel Bulanık Sayıların kesişim noktasının ordinatıdır. Yani $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ yi karşılaştırabilmek için, hem $V(M_1 \geq M_2)$ hem de $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerinin bulunması gerekmektedir.

Bir konveks Bulanık Sayının k tane konveks Bulanık Sayıdan büyük olmasının olabilirlik derecesi Eşitlik (12)'de olduğu gibi tanımlanmaktadır:

M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) bulanık sayılar olmak üzere,

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V(M \geq M_1) \text{ ve } V(M \geq M_2) \text{ ve... ve } V(M \geq M_k) \\ = \min V(M \geq M_i) \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

Eşitlik (12) kullanılarak Eşitlik (13) elde edilmektedir.

$$\min V(S_i \geq S_k) = d'(A_i) \quad (13)$$

Böylece Reel Sayılara dönüştürülen bulanık sentez değerleri Reel Sayılardaki büyüklük sırasına göre sıralanabilir. Karşılaştırılan kriter ya da seçeneklere ilişkin bir ağırlık elde edilmeye çalışılıyorsa; elde edilmesi amaçlanan ağırlık vektörü $()^T$ operatörü matrisin transpozunu (devriğini) temsil etmek üzere Eşitlik (14)'te verilen formül kullanılarak elde edilmektedir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (14)$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü Eşitlik (15)'de verilmektedir.

$$W' = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (15)$$

2.2.3. Bulanık Sentez Değerlerin Kwong-Bai Yöntemi ile Sıralanması:

$M = (l, m, u)$ Üçgensel Bulanık Sayı olmak üzere, bu Bulanık Sayı Eşitlik (16) kullanılarak Reel (Gerçel) Sayılara dönüştürülmektedir (Kwong, Bai, 2003:623).

$$M = \frac{l+4m+u}{6} \quad (16)$$

Böylece Eşitlik (16) ile elde edilen Reel Sayılar arasından en yüksek değerini seçimi en iyi çözüm olarak belirlenerek diğer alternatifler de ağırlıkların Reel Sayılardaki bilinen büyüklük sıralamasına göre sıralanarak değerlendirilmektedir.

2.2.4. Bulanık Sentez Değerlerin Kareli Ortalama Yöntemi ile Sıralanması:

$M = (l, m, u)$ Üçgensel Bulanık Sayısı, Eşitlik (17) kullanılarak reel sayılara dönüştürülür ve sonrasında sıralama yapılır (Göksu ve Güngör, 2008:4)

$$M = \sqrt{\frac{l^2+m^2+u^2}{3}} \quad (17)$$

Eşitlik (17) ile bulanık sayılar, Reel Sayılara dönüştürülerek durulaştırılır, alternatiflerin ağırlıkları arasından en büyük değerini seçimi en iyi çözüm olup, bulanık değerlerin karşılıklarının Reel Sayılardaki sıralaması da alternatiflerin sıralanmış halini vermektedir. Chang tarafından önerilen algoritmada Eşitlik (11) kullanılmakta ve bazı ağırlıklar sıfır değerini almaktadır. Bu nedenle bu çalışmada alternatiflerin sentez değerleri Chang'ın mertebeye analiz yöntemi ile hesaplanmış olup, sıralama için Kwong-Bai ve Kareli Ortalama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ölçek dereceleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AHP'de Kullanılan Ölçek, Bulanık Ölçek ve Karşılık Ölçek

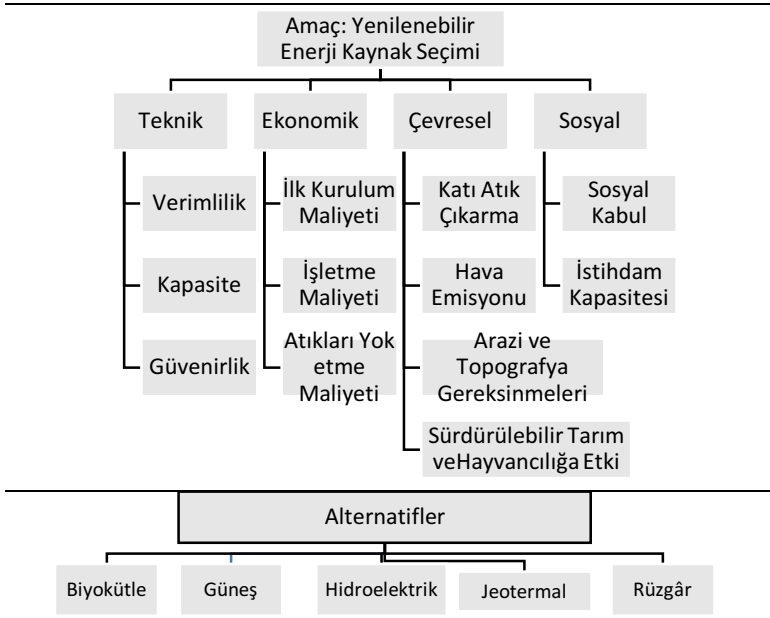
Sözel Önem	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önem	(1,1,1)	(1/1,1/1,1/1)
	(1,2,3)	(1/3,1/2,1/1)
Biraz daha fazla önemli	(2,3,4)	(1/4,1/3,1/2)
	(3,4,5)	(1/5,1/4,1/3)
Kuvvetli derecede önemli	(4,5,6)	(1/6,1/5,1/4)
	(5,6,7)	(1/7,1/6,1/5)
Çok Kuvvetli derecede önemli	(6,7,8)	(1/8,1/7,1/6)

	(7,8,9)	(1/9,1/8,1/7)
Tamamıyla önemli	(8,9,9)	(1/9,1/9,1/8)
Kaynak: Saaty ve Vargas, 2001:6-7		

3. Uygulama

Gerçekleştirilen literatür taraması yenilenebilir enerji alanındaki ÇKKV problemlerinde kullanılacak kriterlerin seçiminin kullanılacak olan yöntem konusunda da bir gereklilik getirdiğini göstermektedir (Wang, Jing, Zhang ve Zao: 2009). Karar verme problemlerinin genel özelliği bulanıklıktır ve bulanık AHP karar vericilerin tercihlerinin yaklaşık veya adapte edilebilir yollarla ifade edilmesini sağlar (Güler ve Yomraloğlu, 2018: 250). Ayrıca klasik ÇKKV yöntemleri insan düşüncesinin muğlaklığını çok fazla ortaya çıkarmamaktadır (Ecer, 2018b: 674). Bu sebeplerle bu çalışmada Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada yenilenebilir enerji alanında diğer pek çok çalışmada da yer alan 4 ana gruptaki kriterler arasından bazıları seçilmiş, ayrıca sürdürülebilir yeşil ekonomi için yeşil çevreci kriterler de diğer kriterler arasında dağıtılmıştır. Seçilen kriterlere ilişkin hiyerarşi ağacı Şekil (2) de verilmiştir.



Şekil 2. Kriter ve Alternatiflere İlişkin Hiyerarşi Ağacı

Seçilen kriterlere ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir:

(C1) Verimlilik: Bir enerji kaynağından elde edilen enerji miktarının kullanılan enerji miktarına oranıdır (Kaya ve Kahraman, 2010:2523).

(C2) Kapasite: Enerji kaynağından üretilebilecek enerjinin büyüklüğü, kurulu güç miktarıdır.

(C3) Güvenirlik: Enerjiye ihtiyaç duyulduğu anda kesintisiz olarak temin edebilme durumudur, enerji kaynağının sürekliliği anlamına gelmektedir (Sağır ve Doğanalp:243).

(C4) İlk Kurulum Maliyeti: Araç ve donanım tedariki, gerekli yasal izinler ve vergiler, kaynağın ana yollara bağlantı yollarının kurulması, web ve iletişim hizmetlerinin satın alınması, sondaj ve diğer ilk hizmetlerdir (Kaya ve Kahraman, 2010:2523).

(C5) İşletme Maliyeti: Bir işletmenin sabit ve değişken maliyetleri, yani çalışan maaş ve ücretleri, enerji mal ve hizmet maliyetleri, bakım onarım maliyetleridir (Kaya ve Kahraman, 2010:2523).

(C6) Atıkları Yok Etme Maliyeti: Yeni sürdürülebilir çevresel politikalardan birisi olarak atıkların yok edilmesi ya da dönüştürülmesi maliyetidir.

(C7) Katı Atık Çıkarma: Enerji üretimi esnasında çıkan katı atık miktarıdır.

(C8) Hava Emisyonu: Enerji üretimi esnasında çıkan ve havaya karışan gaz atıklardır. Sera gazı salınımı olarak da adlandırılır. Yenilenebilir kaynaklarda bu salınım az da olsa vardır (Özcan, Ünlüsoy ve Eren:2017).

(C9) Arazi ve Topografya Gereksinimleri: Toplam alan kullanımı, birim m² ye göre üretilen enerji miktarı ile yatırım alanının sahip olması gereken özellikler, hammadde, yakıt ve işgücüne yakınlığıdır (Özcan, Ünlüsoy ve Eren:2017).

(C10) Sürdürülebilir Tarım ve Hayvancılığa etki: Yatırım alternatifinin çevrede yaşayan yöre halkının yaşamı için gelir kaynağı durumunda olan hayvancılık ve tarımın zarar görmeden, fayda görerek sürdürülmesine olumlu katkısıdır.

(C11) Sosyal Kabul: İşletmenin kurulacağı yerdeki yerel toplulukların o enerji kaynağına ilişkin olumlu görüşleridir (Kaya ve Kahraman, 2010:2523; Özcan ve Erol:2014).

(C12) İstihdam Kapasitesi: Enerji kaynağının kurulumu ve işletmesi sırasındaki iş yaratma büyüklüğüdür (Kaya ve Kahraman, 2010:2523; Özcan ve Erol:2014).

Araştırmada hazırlanan Saaty'nin ikili karşılaştırma ölçeği yenilenebilir enerji sistemleri alanında Uzman olan Mühendis-Akademisyen tarafından doldurulmuştur. Uzman Karar Vericinin doldurduğu ölçeğe göre oluşturulan kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri ve bu matrislere Bulanık AHP algoritması uygulandıktan sonra elde edilen bulanık ağırlıklar Tablo 2-5' te verilmiştir. Örnek teşkil etmesi amacıyla Tablo 2'deki Teknik kriterlere ilişkin ağırlıkların Bulanık AHP algoritması kullanılarak elde edilmiş biçimi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} (1,1,1) & (4,5,6) & (6,7,8) \\ (1/4,1/3,1/2) & (1,1,1) & (4,5,6) \\ (1/8,1/7,1/6) & (1/6,1/5,1/4) & (1,1,1) \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Eşitlik 7}} \begin{bmatrix} (1,1,1) \square (4,5,6) \square (6,7,8) \\ (1,1,1) \square (4,5,6) \square (6,7,8) \\ (1/8,1/7,1/6) \square (1/6,1/5,1/4) \square (1,1,1) \end{bmatrix} \\ & = \begin{bmatrix} (6,7,8) \\ (5.20,6.25,7.33) \\ (2.17,2.20,2.25) \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Eşitlik 8}} [(6,7,8) \square (5.20,6.25,7.33) \square (2.17,2.20,2.25)] \\ & = [(13.37,15.45,17.58)] \xrightarrow{\text{Eşitlik 9}} \left[\left(\frac{1}{17.58} \right), \left(\frac{1}{15.45} \right), \left(\frac{1}{13.37} \right) \right] \\ & = [(0.0569,0.0647,0.0748)] \xrightarrow{\text{Eşitlik 6}} = \begin{bmatrix} (6,7,8)(0.0569) \\ (5.20,6.25,7.33)(0.0647) \\ (2.17,2.20,2.25)(0.0748) \end{bmatrix} \\ & = \begin{bmatrix} (0.3412,0.4531,0.5985) \\ (0.2957,0.4045,0.5486) \\ (0.1232,0.1424,0.1683) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Örnek çözümde bulanık sayıların toplanması, çarpılması ve çarpımsal tersinin alınmasını içeren Eşitlik (2), Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'te verilen temel matematiksel işlemlerle; karar vericiden elde edilen ve Tablo 1 kullanılarak sayısallaştırılan ölçek değerleri üzerinde Eşitlik (6), Eşitlik (7), Eşitlik (8) ve Eşitlik (9)'da verilen işlemler uygulanmıştır. Aynı algoritma Ekonomik, Çevresel ve Sosyal başlıkları altındaki diğer kriterlere de uygulanmış olup elde edilen ağırlıklar da Tablo 3-5 arasında verilmiştir.

Tablo 2. Teknik Kriterlere İlişkin İkili Karşılaştırma Matrisi ve Bulanık Ağırlık Değerleri

	Verimlilik	Kapasite	Güvenirlilik	Bulanık Ağırlık
Verimlilik	(1,1,1)	(4,5,6)	(1,1,1)	(0.3412, 0.4531,0.5985)
Kapasite	(1/5,1/4,1/3)	(1,1,1)	(4,5,6)	(0.2957,0.4045,0.4171)
Güvenirlilik	(1,1,1)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(0.1232, 0.1424,0.1280)

Tablo 3.Ekonomik Kriterlere İlişkin İkili Karşılaştırma Matrisi ve Bulanık Ağırlık Değerleri

	İlk Kurulum	İşletme	Atıkları Yok etme	Bulanık Ağırlıklar
İlk Kurulum	(1,1,1)	(2,3,4)	(6,7,8)	(0.4106, 0.5890,0.8365)
İşletme	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(4,5,6)	(0.2395,0.3391,0.4826)
Atık Yok	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(0.0589,0.0719,0.0912)

Tablo 4. Çevresel Kriterlere İlişkin İkili Karşılaştırma Matrisi ve Bulanık Ağırlık Değerleri

	Katı Atık Çıkarma	Hava Emisyonu	Arazi_Gereksin im	Süred. Tar. ve Hayv.	Bulanık Ağırlıklar
Katı Atık	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.1315,0.2214,0.3588)
Hava Emis.	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(0.2072,0.3516,0.5961)
Arazi_Gerek	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.1155,0.1823,0.2845)
Süred.TarHay	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(0.0598,0.0781,0.1113)

Tablo 5. Sosyal Kriterlere İlişkin İkili Karşılaştırma Matrisi ve Bulanık Ağırlık Değerleri

	Sosyal Kabul	İstihdam Kapasitesi	Bulanık Ağırlıklar
Sosyal Kabul	(1,1,1)	(2,3,4)	(0.4615,0.7500,1.1765)
İstihdam Kapasitesi	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)	(0.1923,0.2500,0.3529)

Bundan sonraki aşamada Karar Verici-Uzman tarafından 5 alternatif olan Biyokütle, Güneş, Hidrolik, Jeotermal ve Rüzgâr enerjileri kriterlere göre değerlendirilmiş, sonuçlar Tablo 1’de verilen Bulanık ölçek ve Karşılık Ölçek değerlerine göre sayısallaştırılmıştır. Bulanık AHP algoritması uygulanmış ve her alternatife ilişkin sentez değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bulanık sentez değerlerine ilişkin matrisler ile her alternatife ilişkin hesaplanan toplam bulanık öncelik değerleri Tablo 6-10 arasında verilmiştir.

Tablo 6-10 arasındaki ilk sütun olan Global Bulanık Ağırlıklar Tablo 2-5 arasında hesaplanan değerlerdir. İkinci sütundaki sentez değerleri, karar vericinin her alternatifi kriterlere göre değerlendirdiği ölçeklerin karar matrisine geçirilmesi sonrasında, Tablo 2-5 öncesindeki örnekte gösterildiği gibi Bulanık AHP algoritması uygulanarak elde edilmişlerdir. Son sütun ise global bulanık ağırlıklarla sentez değerlerin Eşitlik (3)’te verilen çarpma kuralı ile çarpılması ile elde edilmiştir. Her bir alternatife ilişkin Toplam Bulanık Öncelik de üçüncü sütundaki değerlerin Eşitlik (2) deki toplama kuralı ile toplanması ile elde edilmiştir.

Tablo 6. Biyokütle için Toplam Bulanık Öncelik

	Global Bulanık Ağırlıklar	Sentez Değerleri	Ağırlık
Verimlilik	(0.3412, 0.4531, 0.5985)	(0.1049, 0.1638, 0.2459)	(0.0358, 0.0742, 0.1472)
Kapasite	(0.2957, 0.4045, 0.4171)	(0.1041, 0.1695, 0.2615)	(0.0308, 0.0686, 0.1090)
Güvenirlilik	(0.1232, 0.1424, 0.1280)	(0.1591, 0.2941, 0.5166)	(0.0196, 0.0419, 0.0661)
İlk Kurulum	(0.4106, 0.5890, 0.8365)	(0.0673, 0.0813, 0.1017)	(0.0277, 0.0479, 0.0851)
İşletme	(0.2395, 0.3391, 0.4826)	(0.0556, 0.0791, 0.1309)	(0.0133, 0.0268, 0.0632)
Atık Yok etme	(0.0589, 0.0719, 0.0912)	(0.0495, 0.0588, 0.0724)	(0.0029, 0.0042, 0.0066)
Katı Atık Çık.	(0.1315, 0.2214, 0.3588)	(0.4491, 0.6161, 0.8354)	(0.0590, 0.1364, 0.2997)
Hava Emis.	(0.2072, 0.3516, 0.5961)	(0.0238, 0.0305, 0.0455)	(0.0049, 0.0107, 0.0259)
Arazi Gereks.	(0.1155, 0.1823, 0.2845)	(0.0828, 0.1343, 0.2177)	(0.0096, 0.0245, 0.0619)
Sürd Tar Hayv.	(0.0598, 0.0781, 0.1113)	(0.4121, 0.5888, 0.1225)	(0.0246, 0.0460, 0.0136)
Sosyal Kabul	(0.4615, 0.7500, 1.1765)	(0.1818, 0.2392, 0.3404)	(0.0839, 0.2553, 0.4005)
İstihdam	(0.1923, 0.2500, 0.3529)	(0.3143, 0.3158, 0.3692)	(0.0604, 0.0923, 0.1303)
Toplam Bulanık Öncelik			(0.3725, 0.8288, 1.4091)

Tablo 7. Güneş için Toplam Bulanık Öncelik

	Global Bulanık Ağırlıkları	Sentez Değerleri	Ağırlık
Verimlilik	(0.3412, 0.4531, 0.5985)	(0.0434, 0.0537, 0.0703)	(0.0148, 0.0243, 0.0421)
Kapasite	(0.2957, 0.4045, 0.4171)	(0.3317, 0.4809, 0.6881)	(0.0981, 0.1945, 0.287)
Güvenirlilik	(0.1232, 0.1424, 0.1280)	(0.0625, 0.0882, 0.1391)	(0.0077, 0.0126, 0.0178)
İlk Kurulum	(0.4106, 0.5890, 0.8365)	(0.3030, 0.4545, 0.6683)	(0.1244, 0.2677, 0.559)
İşletme	(0.2395, 0.3391, 0.4826)	(0.2058, 0.3755, 0.6577)	(0.0493, 0.0101, 0.3174)
Atık Yok etme	(0.0589, 0.0719, 0.0912)	(0.2178, 0.2941, 0.3947)	(0.0128, 0.0211, 0.036)
Katı Atık Çık.	(0.1315, 0.2214, 0.3588)	(0.0741, 0.1093, 0.1561)	(0.0097, 0.0242, 0.056)
Hava Emis.	(0.2072, 0.3516, 0.5961)	(0.2088, 0.2689, 0.3457)	(0.0433, 0.0945, 0.1967)
Arazi Gereks.	(0.1155, 0.1823, 0.2845)	(0.1185, 0.1748, 0.2613)	(0.0137, 0.0319, 0.0743)
Sürd. Tar ve Hayv.	(0.0598, 0.0781, 0.1113)	(0.0525, 0.0617, 0.0110)	(0.0031, 0.0048, 0.0012)
Sosyal Kabul	(0.4615, 0.7500, 1.1765)	(0.2121, 0.3189, 0.4681)	(0.0979, 0.3511, 0.5507)
İstihdam	(0.1923, 0.2500, 0.3529)	(0.1000, 0.1395, 0.1560)	(0.0192, 0.039, 0.0551)
Toplam Bulanık Öncelik			(0.4940, 1.0758, 2.1933)

Tablo 8. Hidrolik için Toplam Bulanık Öncelik

	Global Bulanık Ağırlıkları	Sentez Değerleri	Ağırlık
Verimlilik	(0.3412, 0.4531, 0.5985)	(0.3759, 0.5215, 0.7233)	(0.1283, 0.2363, 0.4329)
Kapasite	(0.2957, 0.4045, 0.4171)	(0.1398, 0.1878, 0.2546)	(0.0414, 0.0760, 0.1062)
Güvenirlilik	(0.1232, 0.1424, 0.1280)	(0.1439, 0.2794, 0.5166)	(0.0177, 0.0398, 0.0661)
İlk Kurulum	(0.4106, 0.5890, 0.8365)	(0.0690, 0.0845, 0.1090)	(0.0283, 0.0498, 0.0911)
İşletme	(0.2395, 0.3391, 0.4826)	(0.0720, 0.1520, 0.2923)	(0.0173, 0.0015, 0.1411)
Atık Yok etme	(0.0589, 0.0719, 0.0912)	(0.2178, 0.2941, 0.3947)	(0.0128, 0.0211, 0.0360)
Katı Atık Çık.	(0.1315, 0.2214, 0.3588)	(0.0741, 0.1093, 0.1561)	(0.0097, 0.0242, 0.0560)
Hava Emis.	(0.2072, 0.3516, 0.5961)	(0.2088, 0.2689, 0.3457)	(0.0433, 0.0945, 0.1967)
Arazi Gereks.	(0.1155, 0.1823, 0.2845)	(0.0790, 0.1012, 0.1393)	(0.0091, 0.0184, 0.0396)
Sürd Tar ve Hayv.	(0.0598, 0.0781, 0.1113)	(0.0828, 0.0991, 0.0184)	(0.2567, 0.0077, 0.0020)
Sosyal Kabul	(0.4615, 0.7500, 1.1765)	(0.1061, 0.1827, 0.2908)	(0.0490, 0.2181, 0.3421)
İstihdam	(0.1923, 0.2500, 0.3529)	(0.1000, 0.1395, 0.1560)	(0.0192, 0.0390, 0.0551)
Toplam Bulanık Öncelik			(0.6328, 0.8264, 1.5649)

Tablo 9. Jeotermal için Toplam Bulanık Öncelik

	Global Bulanık Ağırlıkları	Sentez Değerleri	Ağırlık
Verimlilik	(0.3412, 0.4531, 0.5985)	(0.0448,0.0564,0.0763)	(0.0153,0.0255,0.0457)
Kapasite	(0.2957,0.4045,0.4171)	(0.0667,0.0809,0.1032)	(0.0197,0.0327,0.0430)
Güvenirlilik	(0.1232, 0.1424,0.1280)	(0.1439,0.2500,0.4371)	(0.0177,0.0356,0.0559)
İlk Kurulum	(0.4106, 0.5890,0.8365)	(0.0690,0.0845,0.1090)	(0.0283,0.0498,0.0911)
İşletme	(0.20395,0.3391,0.4826)	(0.0583,0.0849,0.1462)	(0.0140,0.0001,0.0705)
Atık Yok etme	(0.0589,0.0719,0.0912)	(0.0495,0.0588,0.0724)	(0.0029,0.0042,0.0066)
Katı Atık Çık.	(0.1315,0.2214,0.3588)	(0.0382,0.0561,0.1055)	(0.0050,0.0124,0.0378)
Hava Emis.	(0.2072,0.3516,0.5961)	(0.1148,0.1627,0.2244)	(0.0238,0.0572,0.1277)
Arazi Gereks.	(0.1155,0.1823,0.2845)	(0.2484,0.4139,0.6619)	(0.0287,0.0755,0.1883)
Sürd Tar ve Hayv.	(0.0598,0.0781,0.1113)	(0.1051,0.1514,0.0318)	(0.0063,0.0118,0.0035)
Sosyal Kabul	(0.4615, 0.7500,1.1765)	(0.0909,0.1130,0.1348)	(0.0420,0.1011,0.1585)
İstihdam	(0.1923,0.2500,0.3529)	(0.3143,0.3588,0.5106)	(0.0604,0.1277,0.1802)
Toplam Bulanık Öncelik			(0.2641,0.5336,1.0088)

Tablo 10. Rüzgâr için Toplam Bulanık Öncelik

	Global Bulanık Ağırlıkları	Sentez Değerleri	Ağırlık
Verimlilik	(0.3412, 0.4531, 0.5985)	(0.1395,0.2046,0.2954)	(0.0476,0.0927,0.1768)
Kapasite	(0.2957,0.4045,0.4171)	(0.0667,0.0809,0.1032)	(0.0197,0.0327,0.0430)
Güvenirlilik	(0.1232, 0.1424,0.1280)	(0.0625,0.0882,0.1391)	(0.0077,0.0126,0.0178)
İlk Kurulum	(0.4106, 0.5890,0.8365)	(0.1869,0.2951,0.4504)	(0.0767,0.1738,0.3767)
İşletme	(0.2395,0.3391,0.4826)	(0.1715,0.3084,0.5481)	(0.0411,0.1046,0.2645)
Atık Yok etme	(0.0589,0.0719,0.0912)	(0.2178,0.2941,0.3947)	(0.0128,0.0211,0.0360)
Katı Atık Çık.	(0.1315,0.2214,0.3588)	(0.0741,0.1093,0.1561)	(0.0097,0.0242,0.0560)
Hava Emisy.	(0.2072,0.3516,0.5961)	(0.2088,0.2689,0.3457)	(0.0433,0.0945,0.1967)
Arazi Gereks.	(0.1155,0.1823,0.2845)	(0.1185,0.1748,0.2613)	(0.0137,0.0319,0.0743)
Sürd Tar ve Hayv.	(0.0598,0.0781,0.1113)	(0.0828,0.0991,0.0184)	(0.0049,0.0077,0.0020)
Sosyal Kabul	(0.4615, 0.7500,1.1765)	(0.1212,0.1462,0.1702)	(0.0559,0.1277,0.2003)
İstihdam	(0.1923,0.2500,0.3529)	(0.1000,0.1395,0.1560)	(0.0192,0.0390,0.0551)
Toplam Bulanık Öncelik			(0.3047,0.7625,1.3224)

Bundan sonraki aşamada Tablo 6-10 arasında koyu renklerle verilmiş olan alternatiflere ilişkin toplam bulanık öncelikler durulaştırılarak karşılaştırma ve sıralama yapılmıştır, sonuçlar Tablo 11’de verilmiştir. Durulaştırma işlemi için hem Kwong Bai hem de Kareli Ortalama Yöntemleri kullanılmıştır.

Tablo 11. Durulaştırılmış Öncelikler ve Sıralama

	Bulanık Ağırlık	Kwong-Bai Y. ile Durulaştırılmış Ağırlık	Y. Kwong Bai Y.ile Sıra	Kareli Ortalama ile Durulaştırılmış Ağırlık	Kareli Ortalama Y. ile Sıra
Biyokütle	(0.3725,0.8288,1.4091)	0,8495	3	0,9680	3
Güneş	(0.4940,1.0758,2.1933)	1,1651	1	1,4390	1
Hidro	(0.6328,0.8264,1.5649)	0,9172	2	1,0851	2
Jeotermal	(0.2641,0.5336,1.0088)	0,5679	5	0,6763	5
Rüzgâr	(0.3047,0.7625,1.3224)	0,7795	4	0,8987	4

Tablo 11 incelendiğinde, iki yönetime göre de en uygun sıralama Güneş, Hidrolik, Biyokütle, Rüzgâr ve Jeotermal olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, iki yöntemin de birbiri ile tutarlı bir sıralama oluşturduğu görülmektedir. Araştırma sonuçlarının literatürdeki yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitli kriterlere göre en uygun şekilde sıralayan diğer çalışmalarla karşılaştırılabilmesi için Tablo 12 oluşturulmuştur.

Araştırmacı	Kaynakların En uygun Sıralaması
Kaya ve Kahraman (2010)	Rüzgâr, Güneş, Biyokütle, Jeotermal, Hidrolik
Uysal (2010)	Güneş, Rüzgâr, Biyokütle, Hidrolik, Jeotermal
Yakıcı, Ayan ve Babuçu (2013)	Hidrolik, Rüzgâr, Biyokütle, Jeotermal, Güneş
Özcan & Eren (2017)	Rüzgâr, Hidrolik, Biokütle, Jeotermal, Güneş.
Karaca & Ulutaş (2018)	Hidrolik, Jeotermal, Rüzgâr, Biokütle, Güneş
Solangi ve diğerleri (2019)	Rüzgâr, Hidrolik, Güneş, Biyokütle, Jeotermal

Bu çalışmadan elde edilen sonuca göre birinci sırada Güneş enerjisinin, son sırada ise Jeotermal kaynakların bulunması Uysal'ın (2010) çalışması ile benzerlik göstermektedir. Öte yandan Solangi ve diğerlerinin (2019) çalışmalarında da son sırada Jeotermal kaynakların bulunması bu çalışma sonuçlarını teyit eder niteliktedir. Yakıcı, Ayan ve Babuçu'nun (2013) ve Özcan & Eren (2017) ile Karaca & Ulutaş'ın (2018) çalışmalarında ise güneş enerjisi bu çalışmada elde edilen sonuçla uyumsuz olarak en son sırada yer almaktadır. Tablo 12'deki çalışmalardan Kaya ve Kahraman (2010) ile Solangi ve diğerlerinin çalışmalarında bulanık ÇKKV teknikleri kullanılırken diğer çalışmalarda klasik teknikler kullanılmıştır. Çalışmalarda dikkate alınan kriterlerin farklılıkları ve farklı ağırlıklandırılmaları öncelik sıralaması farklılıklarının nedenini açıklamaktadır.

Sonuçlar

21. yüzyıldaki değişimler ve çevre konusundaki artan farkındalıklar sayesinde biyokütle enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir. Bu enerji kaynaklarının ise birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıf yönleri bulunmaktadır.

Bu araştırma kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları alternatifleri Chang'ın geliştirdiği Bulanık AHP algoritması kullanılarak üstünlüklerine göre sıralanmıştır. Söz konusu sıralama Güneş, Hidrolik, Biyokütle, Rüzgâr ve Jeotermal biçiminde oluşmuştur. Karar vermenin doğasında olan bulanıklığı sayısallaştırmak ve belirsizlikleri daha iyi ifade etmek için Üçgensel Bulanık Sayılar temel alınmıştır. Bulanık ortam karar vericinin tercihlerinin daha gerçeğe

yakın olarak sayısallaştırılmasını sağlamıştır. Kullanılan Bulanık AHP algoritması ile nitel kriterler nicel kriterlere dönüştürülebilmiştir. Ayrıca dilsel ifadeler de kullanılan yöntem ile sayısallaştırılabilmektedir.

Algoritmanın uygulanması sonucu oluşan bulanık ağırlıklar hem Kwong-Bai hem de Kareli Ortalama yöntemleri ile durulaştırılarak sıralanmıştır. İki yöntemde de aynı sıralama oluşmuştur. İki yöntemin de birbiri ile tutarlı bir sıralama yaptığı görülmektedir. İleriki araştırmalarda aynı konu için farklı tekniklerle en uygun sıralamanın yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- ABDEL-KADER, M. ve DUGDALE, D. (2001), Evaluating Investments in Advanced Manufacturing Technology: A Fuzzy Set Theory Approach, *British Accounting Review*, 33, pp. 455-489.
- ARAS, H., ERDOĞMUŞ, Ş. ve KOÇ, E. (2004), Multi-Criteria Selection for a Wind Observation Station Location Using Analytic Hierarchy Process. *Renewable Energy*, 29, pp. 1383–1392.
- AWASTHI, A., GOVINDAN, K. ve GOLD S. (2018), Multi-tier Sustainable Global Supplier Selection Using a Fuzzy AHP-VIKOR Based Approach, *International Journal of Production Economics*, 195, 106–117.
- BAYKAL, N. ve BEYAN, T. (2004), *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri*, Ankara: Bıçaklar Kitabevi.
- BECCALI, M., CELLURA, M. ve ARDENTE, D. (1998), Decision Making in Energy Planning: The Electre Multi criteria Analysis Approach Compared to A Fuzzy-Sets Methodology, *Energy Convers, Mgmt* Vol, 39, No, 16-18, pp. 1869-1881.
- BECCALI, M., CELLURA, M. ve MISTRETTA, M. (2003), Decision Making in Energy Planning: Application of the Electre Method at Regional Level for the Diffusion of Renewable Energy Technology, *Renewable Energy* 28, ss. 2063-2087.
- CARRION, J.A., ESTRELLA, A.E., DOLS, F.A., TORO, M.Z., RODRIGUEZ, M. ve RIDAO, A.R. (2008), Environmental Decision-Support Systems for Evaluating the Carrying Capacity of Land Areas: Optimal Site Selection For Grid-Connected Photovoltaic Power Plants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12,ss. 2358–2380.

- CHATZIMOURATIDIS, A. I. ve PILAVACHI, P.A. (2008), Multi Criteria Evaluation of Power Plants Impact on the Living Standard Using the Analytic Hierarchy Process. *Energy Policy*, 36.ss. 1074–1089.
- CHANG, D.Y. (1996), Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95(3), pp. 649-655.
- ÇALIK, A., YAPICI-PEHLIVAN, N. ve KAHRAMAN, C. (2018), An Integrated Fuzzy AHP/DEA Approach for Performance Evaluation of Territorial Units in Turkey, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol:24 (4), ss. 1280-1302.
- ECER, F. (2018a), Third-Party Logistics (3PLs) Provider Selection via Fuzzy AHP and EDAS Integrated Model, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol 24 (2) ss. 615-634.
- ECER, F. (2018b), An Integrated Fuzzy AHP and ARAS Model to Evaluate Mobile Banking Services, *Technological and Economic Development of Economy*, Vol 24 (2) ss. 670-695.
- ERDOĞDU, E. (2007), Electricity Demand Analysis Using Co-integration and ARIMA Modelling: A case study of Turkey, *Energy Policy*, 35, 1129–1146.
- ETKB (2017), Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, <https://www.enerji.gov.tr> > File > Documents > Sayı_15.
- GÖKSU, A. ve GÜNGÖR, İ. (2008), Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C.13, S.3 s. 1-26.
- GÖKTOLGA, Z.G. ve KARAKIŞ, E. (2018), Bireysel Emeklilik Şirketlerinin Finansal Performansının Bulanık AHP ve VIKOR Yöntemi ile Analizi, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Vol 19, Sayı 1, ss. 92-108.
- GÜLER ve YOMRALIOĞLU (2018), GIS and Fuzzy AHP Based Area Selection for Electric Vehicle Charging Stations, ISPRS TC IV Mid-term Symposium on 3D Spatial Information Science –The Engine of Change, Delft, Hollanda, 01-05 Ekim 2018,
- HDR (2018), Human Development Report 2018-Renewable Energy Consumption, <http://hdr.undp.org/en/indicators/137506> Adresinden 13.09.2019 tarihinde alınmıştır.

- HEO, E., KIM, J. ve BOO, K.J. (2010), Analysis of the Assessment Factors for Renewable Energy Dissemination Program Evaluation Using Fuzzy AHP, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14. Ss. 2214–2220.
- KARACA, C. ve ULUTAŞ, A. (2018), Entropi ve Waspas Yöntemleri Kullanarak Türkiye için Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Seçimi, *Ege Akademik Bakış*, Cilt 18, Sayı 3. ss. 483-494,
- KAYA, T. ve KAHRAMAN, C. (2010), Multi Criteria Renewable Energy Planning Using an Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul, *Energy*, 35, ss. 2517-2527.
- KOÇ, E. (2019), Uluslararası Tedarikçi Seçim Probleminde Bulanık Dematel Yönteminin Kullanımı, *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 9, sayı: 17, ss. 339-355.
- KWONG, C.K. ve BAI, H. (2003), Determining the Importance Weights on the Customer Requirements in QFD Using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis Approach, *IIE Transactions*, 35, pp. 619-626.
- LIOU, T.S. ve WANG, M.J.J. (1992), Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value, *Fuzzy Sets and Systems*, 50(3), pp. 247-255.
- T.C, CUMHURBAŞKANLIĞI, STRATEJİ VE BÜTÇE BAŞKANLIĞI.(2019), Onbirinci Kalkınma Planı, <http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf> Adresinden 28.10.2019 tarihinde alınmıştır.
- ÖZCAN, E.C., ÜNLÜSOY, S. ve EREN, T. (2017), ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *SUJEST*, v.5, n.2.pp. 204-219.
- ÖZCAN, E.C. ve EROL, S. (2014), “A Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming Model for Energy Resource Allocation Problem: The Case of Turkey”, *Gazi University Journal of Science*, Vol, 27(4), SS. 1157-1168.
- PERÇİN, S. ve ALDALOU, E. (2018), Financial Performance Evaluation Of Turkish Airline Companies Using Integrated Fuzzy AHP Fuzzy TOPSIS Model, *Uluslararası İktisadi İncelemeler Dergisi*, 18, EYİ Özel Sayısı, ss.583-598.
- SAATY T.L. ve VARGAS, L.G. (2001), *Models, Methods Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- SAĞIR, H. ve DOĞANALP, B. (2016), Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi,

Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,
Sayı:11, ss. 233-256.

- SOLANGI, Y.A., TAN, Q., MIRJAT, N.H., VALASAI, G.D., KHAN, M.W.A. ve IKRAM, M. (2019), An Integrated Delphi-AHP and Fuzzy TOPSIS Approach toward Ranking and Selection of Renewable Energy Resources in Pakistan, *Processes*, Vol 7 (2), 118.
- STAM, A., MINGHE, S. ve HAINES, M. (1996), Artificial Neural Network Representations for Hierarchical Preference Structures, *Computers and Operations Research*, 23(12), pp. 1191 -1201.
- ŞEN, Z. (2003), *Modern Mantık*, İstanbul: Bilge Kültür Sanat.
- TATLI, H. ve KOÇ, B. (2018), Enerji Tüketimi ve Enerji Fiyatları Bağlamında Türkiye'nin OECD Ülkeleri İçindeki Yeri, *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 8 Sayı: 15, ss. 353-375.
- UYSAL, F. (2011), 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) 23-40.
- YAKICI-AYAN, T. ve PABUŞÇU, H. (2013), Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt:18, Sayı: 3, s. 89-110.
- WECK, M., KLOCKE, F., SCHELL, H., R ve RUENAUVER, E. (1997), Evaluating Alternative Production Cycles Using the Extended Fuzzy AHP Method, *European Journal of Operational Research* 100(2), 351-366.
- WANG, J.J., JING, Y.Y., ZHANG C.F. ve ZHAO, J.H. (2009), Review on Multi-Criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-Making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, ss. 2263-2278.
- XIAOHUA, W. ve ZHENMIN, F. (2002), Sustainable Development of Rural Energy and its Appraising System in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (2002) 395-404.
- YEGM. (2019), Yenilenebilir Enerji, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx> Adresinden 13.09.2019 tarihinde alınmıştır.

