

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

EVSEL YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN BULANIK ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

Hayriye DÜNDAR

KASIM - 2019

ÖZET

EVSEL YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

DÜNDAR, Hayriye

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Kezban BULUT

2019

Her geçen gün artan dünya nüfusu doğal olarak enerji talebini de artırmaktadır. Maliyetinin daha uygun olmasından dolayı enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalar yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler. Düşük maliyetle ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamak amacıyla en uygun enerji kaynağı seçimi önemli konulardandır. Eysel yenilenebilir enerji , ihtiyaç duyulan enerjinin doğal kaynaklar yardımıyla sağlanması ve bu enerjinin evlerimizde kullanılmasını hedefleyen enerji sistemidir. Çalışmada öncelikle en iyi evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için on iki kriter ve dört alternatif ile aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanmış ardından da tereddütlü bulanık Topsis yöntemi kullanılarak Orta Anadolu bölümünde en uygun alternatif evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi yapılmıştır.

Aralık tip-2 bulanık kümeler, çelişkili ölçütleri olan bulanık grup karar verme problemlerinin belirsizliğini göstermede tip-1 bulanık sayılardan daha uygun, hassas ve akıllıdır. Bu yüzden, çok kriterli karar verme problemlerinin aralık tip-2 bulanık sayılar ile bütünleştirilmesinin karar verme sürecine faydaları olacaktır. Yapılan uygulama çalışmasıyla aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ve tereddütlü bulanık Topsis yöntemi birlikte kullanılarak evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi yapılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Eysel Yenilenebilir Enerji , Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi, Çok Ölçütlü Karar Verme, Tereddütlü Bulanık Topsis Yöntemi

ABSTRACT

ANALYSIS THE HOME RENEWABLE ENERGY SYSTEMS WITH THE HYBRID FUZZY MULTI CRITERIA METHODS

DÜNDAR, Hayriye

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Industrial Engineering, Master Thesis

Advisor: Faculty Member Kezban BULUT

2019

The growing world population naturally increases the demand for energy. Since the cost is more appropriate, companies operating in the energy sector are turning to renewable energy sources. Choosing the most suitable energy source is one of the important issues in order to provide the energy needed at low cost. Home renewable energy is the energy system that aims to supply the needed energy with the help of natural resources and to use this energy in our homes. In this study, firstly, we selected twelve criteria and four alternatives and interval type-2 fuzzy AHP method for the selection of the best home renewable energy source, and then the most suitable alternative renewable energy source was selected in Central Anatolia section by using hesitant fuzzy Topsis method.

Interval type-2 fuzzy sets are more appropriate, sensitive, and intelligent than type-1 fuzzy numbers to show the uncertainty of fuzzy group decision problems with conflicting criteria. Therefore, the integration of multi-criteria decision-making problems with interval type-2 fuzzy numbers will benefit the decision-making process. With the application study, it has been shown that the selection of home renewable energy sources can be made by using interval type-2 fuzzy AHP method and hesitant fuzzy Topsis method together.

Key words: Renewable Energy, Home Renewable Energy, Multi Criteria Decision Making, Interval Type-2 Fuzzy AHP Method, Hesitant Fuzzy Topsis Method

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sürecinde her aŐamada destek olan ve bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, desteğini hiç esirmeyen tez danışman hocam Sayın Dr.Öğretim Üyesi Kezban BULUT'a, yüksek lisans eğitimim sırasında yardımını benden hiç esirgemeyen fikirleriyle yanımda olan Sayın Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ'e, büyük fedakarlıklarıyla bugünlere gelmemi sağlayan canım babama ve anneme, kardeŐim Gökhan ve eŐi Gönül'e ve her zaman kalbimde yaŐayacak olan kardeŐim İlker'e destekleri için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv-v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1-8
1.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	2-4
1.1.1. Güneş Enerjisi.....	2
1.1.2. Rüzgar Enerjisi.....	2-3
1.1.3. Biyoenerji/Biyokütle Enerjisi.....	3
1.1.4. Jeotermal Enerjisi.....	3
1.1.5. Hidroelektrik Enerji.....	3-4
1.1.6. Hidrojen Enerjisi.....	4
1.1.7. Dalga Okyanus Enerjisi.....	4
1.2. Dünyada Yenilenebilir Enerji.....	4-7
1.3. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji.....	7-8
1.4. Literatür Araştırması.....	9-10
2. YÖNTEMLER	11-24
2.1. Bulanık Mantık.....	11
2.1.1. Bulanık Mantığın Genel Olarak Sağladığı Faydalar.....	11-12
2.1.2. Bulanık Mantığın Dezavantajları.....	12
2.2. Temel Kavramlar.....	12-16
2.2.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu	12-16

	<u>Sayfa</u>
2.3. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler.....	17-19
2.3.1. Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi.....	19-21
2.4. Tereddütlü Bulanık Kümeler.....	21-23
2.4.1 Tereddütlü Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	24
3. UYGULAMA	25-30
3.1. Problemin Tanımı.....	26
3.2. AHP Şeması (Karar Modeli).....	25
3.3. Eysel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Seçim Kriterleri ve Açıklamaları	27-28
3.4. Kullanılacak Alternatif Enerji Kaynakları.....	28-31
3.4.1. Güneş Enerjisi Sistemleri.....	29
3.4.2. Mikrohidro Power Enerji Sistemleri.....	30
3.4.3. Rüzgar Enerjisi Sistemleri.....	30
3.4.4. Hibrit (Güneş ve Rüzgar) Enerjisi Sistemleri.....	31
4. BULGULAR	31-46
4.1. Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemİ Uygulaması ve Sonuçları.....	31-42
4.2. Tereddütlü Bulanık TOPSIS Yöntemi Uygulaması ve Sonuçları.....	42-46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	46-48
6. KAYNAKLAR	49-54
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1: Nüfus GSYİH Büyüme Oranı ve Birincil Enerji Talebi Projeksiyonları.....	5
Şekil 2: Yıllık Yenilenebilir Enerji Yatırımları Ülke Sıralaması.....	6
Şekil 3: Ülkelerin Kaynaklara Göre Üretilen Elektrik Enerji Oranları	7
Şekil 4: Bulanık Mantık İşlemlerinin Özellikleri	12
Şekil 5: Sayıların Komşuluğu.....	15
Şekil 6: $A=(-5,-1,1)$ Kümesinin Komşuluğu.....	16
Şekil 7: Yamuk Sayı Komşuluğu.....	16
Şekil 8: Yamuksal Aralık Tip-2 Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu.....	18
Şekil 9: Uygulamanın Akış Şeması.....	25
Şekil 10: Evsel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Seçim Kriterlerinin Akış Şeması	27
Şekil 11: Evsel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Kullanılacak Alternatif Enerji Kaynakları.....	28
Şekil 12: Evsel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Kullanılacak Alternatif Enerji Kaynakları ve Sembolleri	29
Şekil 13: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası.....	29
Şekil 14: Türkiye Hidro Elektrik Potansiyeli Atlası.....	30
Şekil 15: Türkiye'deki Rüzgar Enerji Santrali Haritası.....	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1: Dilsel Değişkenlerin Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri.....	20
Tablo 2: Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisi	32
Tablo 3: Alternatifler İçin İkili Karşılaştırma Matrisleri	33-34
Tablo 4: C_1 Kriterine Göre Kriterlerin Değerlendirilmesi.....	35-36
Tablo 5: r_i Değerleri.....	37-38
Tablo 6: p_i Değerleri.....	39-40
Tablo 7: Alternatiflerin Son Ağırlık Değerleri.....	41
Tablo 8: Tereddütlü Bulanık Karar Matrisi.....	43-44
Tablo 9: Tereddütlü Bulanık Topsis Yöntemi Sonuçları.....	46

SİMGELER DİZİNİ

r_i	Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi Parametreleri
p_i	Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi Parametreleri
α	Bulanık Mantıkta Komşuluk Belirtilirken Kullanılan Parametre
μ	Üyelik Fonksiyonu
$h(x)$	Tereddütlü Bulanık Küme Parametresi
$v(x)$	Tereddütlü Bulanık Küme Parametresi
D_i^-	(Negatif İdeal) Tereddütlü Bulanık TOPSIS Yöntemi Parametresi
D_i^+	(Pozitif İdeal) Tereddütlü Bulanık TOPSIS Yöntemi Parametresi

...

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
HFS	Hesitant Fuzzy Sets (Tereddütlü Bulanık Kümeler)

...

1. GİRİŞ

Son yıllardaki enerji talebi, tüm dünyada artan nüfusun bir sonucu olarak artmaktadır. Mevcut geleneksel kaynaklar bu enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli bir seviye değildir. Bu nedenle, ekonomik ve temiz alternatif enerji kaynaklarını düşünmek gerekir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları bu enerji sorununa bir çözüm olarak düşünülebilir. Öte yandan, enerji alternatifleri arasında seçim yapmak çok kriterli bir karar verme (ÇKKV) problemidir ve çelişen kriterler açısından bir değerlendirme yapılması gerekmektedir. Bazen, net ölçütler kullanarak bu kriterleri değerlendirmek kolay olmayabilir ve insan kararlarını ve dil terimlerini kullanarak değerlendirmek gerekir. Daha esnek ve hassas bir değerlendirme için kullanılabilir. Bununla birlikte, bulanık kümeler karar verme sürecindeki değerlendirmelerin belirsizliği ile baş etmeyi sağlar. Çalışmada, Türkiye'deki yenilenebilir enerji alternatiflerinin önceliklendirilmesi için bulanık kümelere dayanan entegre bir ÇKKV modeli önerilmiştir. Önerilen bulanık ÇKKV modeli, aralık tipi-2 bulanık kümeleri ve tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemlerini temel alan analitik hiyerarşi işlemini (AHP) birleştirir. Üyelik işlevleri aynı zamanda bulanık ve tereddütlü bulanık kümeler olan bir elemanın birkaç üyelik değerine sahip olduğu durumları ele almayı sağlayan tip 2 bulanık kümeler belirsizlikleri modelleme konusunda daha yeteneklidir. Karar verme sürecinde, bu çalışmada Türkiye için evsel yenilenebilir enerji alternatiflerini değerlendirmek için bu iki yöntemeye dayanan bir ÇKKV metodolojisi önerilmiştir. (Akçay, 2019)

Karar kriterlerinin ağırlığını belirlemek için aralık tipi-2 bulanık AHP metodu uygulanır ve yenilenebilir enerji alternatiflerini önceliklendirmek için tereddütlü bulanık TOPSIS metodu uygulanır. Önerilen modelin uygulanabilirliğini belirtmek için uzman değerlendirmeleri yoluyla gerçek bir uygulama çalışması yapılmıştır. Kriter ağırlıkları aralık tip 2 bulanık AHP yöntemiyle belirlenmiş, daha sonra tereddütlü bulanık TOPSIS yöntemiyle en uygun alternatif sıralaması bulunmuştur. Yenilenebilir Enerji, kesintisiz olarak süren doğal süreçlerdeki mevcut enerji akışı yardımıyla sağlanan enerjiye verilen addır. Son yıllarda küresel enerji %80 oranında yenilenemeyen kaynaklar kullanılarak sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları kömür, petrol ve doğalgaz gibi yenilenemeyen kaynaklara duyulan

ihtiyacı azaltmak için yararlanılan çeşitli yollardan en önemli olanıdır. (Akçay, 2019)

Yani basitçe Güneş, rüzgar, su ve dalga gibi tükenmeyen kaynaklarda olduğu gibi enerji üretilen diğer kaynaklara da yenilenebilir enerji kaynakları denir. Yenilenebilir enerji kaynakları tabii kaynaklardan elde edilir, devamlılığı sağlanabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenemeyen enerji kaynaklardaki gibi zamanla tükenmez. Kömür, petrol, doğalgaz ve petrol yenilenemeyen enerji kaynaklarına verilebilecek birkaç örnektir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise; güneş, biyokütle, hidrojen, dalga, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal enerji olarak sıralanabilir. (Akçay, 2019)

1.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

1.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş, güneş sistemindeki diğer elementler için en önemli enerji kaynağıdır. Dünyada hayat süren bütün varlıklar için Güneş, vazgeçilemez olan bir enerji kaynağıdır. Özellikle yaz aylarında yararlanılan güneş panelleri yenilenebilir enerji olan güneşin kullanıldığı en önemli kaynaklardan biridir. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

Köy ve kent yaşamında kullanılabilen güneş panelleri sayesinde hem sıcak su ihtiyacı hem de konutların ısınma ihtiyaçları karşılanabilir. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi esas olarak güneş menşeyli bir enerjidir. Güneş enerjisi karayla denizi eşit oranda ısıtmadığı için kara ve deniz arasında basınç farkı oluşur ve oluşan bu fark da rüzgarı oluşturur. Rüzgar tribünleri özellikle rüzgarın çok olduğu alanlara kurulur. Bu tribünler rüzgarın kinetik enerjisini sırasıyla mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürerek yenilenebilir enerji sağlarlar. Bu enerji rüzgarın hızına ve esme süresine göre değişebilir. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

Son yıllarda Dünya'nın ihtiyaç duyduğu elektrik %2 oranında rüzgardan sağlanmaktadır. Diğer elektrik üretim teknikleri ile rüzgar tribünleri karşılaştırılırsa rüzgar tribünleri çevreye daha az zararlıdır. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.1.3. Biyoenerji / Biyokütle Enerjisi

Tükenmez bir kaynak olan biyokütle enerjisi özellikle kırsal yerleşim yerlerinin sosyo-ekonomik gelişmelerine yardımcı olmak için uygun ve önemli bir enerji kaynağı olduğu düşünülmektedir. Tarım ürünleri (arpa, buğdağ vb.), hayvan gübreleri, deniz algler, yosunlar, sanayi atıklarından tutun da evlerdeki organik çöplere (sebze ve meyve artıkları) kadar bir çok ürün biyokütle enerjisi için kaynak olarak kullanılmaktadır. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

Kömür gibi yenilemeyen enerji kaynaklarının kullanımı çevre kirliliklerine neden olduğu için gün geçtikçe yinelebilir enerji kaynağı olan biyokütle kullanımı değerlendirilmektedir. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermalin sözlükteki anlamı yer ısıdır. Doğa olayları dolayısıyla yağışlar sonucunda oluşan sular yer kabuğu çatlaklarından magmaya ulaşır. Magmada ısınan sıcak su ve buhar yüzeye ulaşarak tribünler yardımıyla çeşitli yenilebilir enerji türüne dönüştürülerek kullanılabilir. Yani yer kabuğunun yapısında temelde bulun ısı enerjisi, jeotermal enerjiyi meydana getirmektedir. Bu jeotermal enerji kurulan elektrik santralleri yardımıyla elektrik enerjisi haline getirilir. Buna ek olarak; jeotermal enerji fizik tedavi merkezleri, ısıtma ve soğutma sistemleri ve çeşitli turistik merkezlerde kullanılabilir. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.1.5. Hidroelektrik Enerji

Akan suyun enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek oluşan hidroelektrik enerjisi, yaşam için temiz olan yenilenebilir enerji çeşitidir. Çok yüksek yerlerde suyun akışı hızlı fazla olduğundan, bu santraller bu gibi yüksek yerlerde daha elverişli olacaktır.

Akan suyun enerjisinin dikkate alınarak kullanılan hidroelektrik enerjisi balıkçılık, sulama ve ulaşım gibi bir çok alanda güvenle kullanılır. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.1.6. Hidrojen Enerjisi

Teknolojik nedenler ve üretim zorluğu nedeniyle kullanımı şu an çok yaygın değildir. Kullanılması durumunda dünyanın enerji ihtiyacını çevreye zarar vermeden temiz bir şekilde karşılamada öncü enerji kaynaklarından biri konumundadır. İlerleyen teknoloji ile birlikte hidrojen enerjisi yakıt pili, elektrik ve ısı üretimi gibi alanlarda kullanılabilceği düşünülmektedir. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.1.7. Dalga/Okyanus Enerjisi

Dünyanın %70'ini kaplayan okyanuslar temelde güneşin ısısına bağlı olan termal enerji ve dalgalarla gel-gitlerden kaynaklanan mekanik enerjiden oluşan enerji kaynağıdır. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

Okyanusların yüzeyindeki aşırı ısınan su ve derinlerdeki serin sular arasındaki sıcaklık farkı doğal bir termal enerji meydana getirir. Yeteri kadar faydalandığında, bu enerjinin çok az bir kısmı bile bütün dünyanın enerji ihtiyacını karşılamak için yeterli olacaktır. (Elektriksepeti.com.tr, 2019)

1.2. DÜNYADA YENİLENEBİLİR ENERJİ

Petrol 1970'li yılların başındaki Arap-İsrail Savaşlarında çoğu kez Araplar tarafından dış politika aracı olarak kullanılmıştır. Bu savaş neticesinde ülkeler petrol başta olmak üzere enerji kaynaklarının önemini anlamışlardır. Son yıllarda ülkemizde yerli enerji kaynaklarımızın farkına varılması sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarını önemini dünya ülkelerinin karşısında artırmıştır. (Akçay, 2019)

Enerji kaynaklarının kullanımı ile nüfus artışı arasında çok sıkı bir ilişki vardır. Yani nüfus arttıkça enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç da artacak ve temelde enerji sağladığımız kaynaklar olan birincil enerji kaynakları hızla azalmaktadır. OECD ve OECD dışındaki ülkelerin 2040 yılına kadar tahmin ettikleri nüfus ve birinci enerji

talep artışı ile 2040 yılına kadar birincil enerji kaynaklarının değişimi Şekil 1’de gösterildiği gibidir: (Akçay, 2019)

Şekil 1: Nüfus GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonları



(Akçay, 2019)

2016 yılı sonuna kadar dünya ülkelerindeki yenilenebilir enerji yatırımları incelendiğinde ilk 4 sırada Çin, ABD, Brezilya ve Almanya yer almaktadır. Sonraki ülkeler ise Hindistan ve Birleşik Krallık'tır. Türkiye'de ise yenilenebilir enerji yatırımları, jeotermal enerji, güneş enerjisi ve su ısıtma yatırımları şeklindedir. 2016 yılındaki toplam yenilenebilir enerji üretim sırası sırasıyla Çin, ABD ve Almanya'dır. 2016 yılı yıllık yenilenebilir enerji yatırımları ile toplam yenilenebilir enerji üretim miktarında ilk 5 ülke ise sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterildiği gibidir: (Akçay, 2019)

Şekil 2: Yıllık yenilenebilir enerji yatırımları ülke sıralaması(Dünya Enerji Konseyi Türkiye REN 21 Yenilenebilir Enerji 2018 Küresel Durum Raporu, Temmuz 2018)

	1	2	3	4	5
Yenilenebilir Enerji ve Yakıt Yatırımı(Maksimum 50 moleküler ağırlıkta hidro içerenler)	Çin	ABD	Japonya	Hırvatistan	Almanya
Birim GSYH Başına Yenilenebilir Enerji ve Yakıt Yatırımı	Marshall Adaları	Ruanda	Solomon Adaları	Gine Bisay	Sırbistan
Jeotermal Güç Düzeyi	Endonezya	Türkiye	Şile	İzlanda	Honduras
Hidroelektrik Düzeyi	Çin	Brezilya	Hindistan	Angola	Türkiye
PV Güneş	Çin	ABD	Hindistan	Japonya	Türkiye
Konsantre Güneş Enerjisi Sistemleri(CSP)	Güney Afrika				
Rüzgar Enerjisi Düzeyi	Çin	ABD	Almanya	İngiltere	Hindistan
Güneş Enerjisi Sıcak Su Miktarı	Çin	Türkiye	Hindistan	Brezilya	ABD
Biyodizel Düzeyi	ABD	Brezilya	Almanya	Arjantin	Endonezya
Etanol Üretimi	ABD	Brezilya	Çin	Kanada	Tayland

(Akçay, 2019)

Öncelikle Türkiye ardından dünyaki farklı ülkelerde enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılma oranları artış göstermiştir. AB’de elektrik üretimi %29 yenilenebilir enerji kaynaklı %56 ise karbon kaynaklı olarak üretilmektedir. Şekil 3’te bazı ülkelerin kaynaklara göre elektrik üretimi gösterilmiştir. (Akçay, 2019)

Şekil 3: Ülkelerin kaynaklara göre üretilen elektrik enerji oranları

Ülke	Kömür	Petrol	Doğal Gaz	Nükleer Enerji	Yenilenebilir Enerji	Diğer Enerji Kaynakları
Fransa	%2,1	%0,3	%2,3	%77,6	%17,5	%0,2
Almanya	%45,4	%0,9	%9,9	%15,5	%28	%0,3
ABD	%39,5	%0,9	%26,8	%19,1	%13,6	%0,1
Kanada	%9,9	%1,2	%9,3	%16,4	%62,8	%0,3
Çin	%72,5	%0,2	%2,0	%2,3	%23,0	%0,0
Hindistan	%75,1	%1,8	%4,9	%2,8	%15,5	%0,0
Rusya	%14,9	%1	%50,1	%17	%17	%0,0
Dünya	%40,6	%4,3	%21,6	%10,6	%22,9	%0,1

(Akçay, 2019)

1.3. TÜRKİYE’DE YENİLENEBİLİR ENERJİ

Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, biokütle, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye’de potansiyeli oldukça yüksektir. Son birkaç yılda devlet teşvikleri, vergi indirimi ve muafiyetleri ile yatırımcıları yenilenebilir enerjiye yöneltmek hedeflenmiştir. Türkiye’deki mevcut kaynaklarla üretilen enerji, sosyal, çevresel ve ekonomik açıdan ülkeye birçok fayda sağlayacaktır. Yerli üretim enerji ile yabancı ülkelere duyulan ihtiyaç azalacak, kurulan tesislerde istihdam yaratılacak ve fosil yakıtların çevreye verdiği zarar önlenebilecektir. Türkiye’de yenilenebilir enerjiye yönelimi özendirilen yasal, ekonomik ve teknik çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye enerji politikasının; yabancı ülkelere duyulan ihtiyacı azaltma, yenilenebilir enerji kaynaklarını en üst seviyede etkinleştirmesi, enerji üretiminin çevre

üzerindeki negatif etkileri en alt seviyeye çekme gibi hedefleri de yenilenebilir enerji kullanımının devlet tarafından özendirildiğini göstermektedir. (Akçay, 2019)

2007 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılması hedeflenerek çıkarılan Enerji Verimliliği Kanunu yasal açıdan yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı için verilen teşvike örnek verilebilir. (Akçay, 2019)

Kurulu güç ve elektrik üretimindeki birincil enerji kaynakların oranlarına bakıldığında büyük bir kısmın fosil kaynaklara ait olduğunu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları dışındaki doğal gaz gibi fosil yakıtların büyük bir bölümünü yabancı ülkelere ikame edilmektedir. (Akçay, 2019)

Yenilenebilir enerji uygulamalarının hayata geçirilebilmesi büyük oranda politikalara bağlıdır. Devlet yenilenebilir enerji kaynaklarının oluşturulabilmesi için finansal destek sağlamalı ve kullanılabilirlikleri için yasal kanunlar belirlemelidir. (Akçay, 2019)

Sivil toplum kuruluşları yenilenebilir enerji kanunlarının geliştirilmesinde rol oynamalıdır. Yaşamın bir parçası olan elektrik ve enerjinin üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalı ve bu kaynakların üretimi için ulusal hedefler belirlenmelidir. Bu hedefler doğrultusunda üretilen enerji kaynakları ile endüstriyel enerji ihtiyaçları karşılanacak ve uzun vadeli kazanç sağlanacaktır. Dünyanın diğer ülkelerinde olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım alanlarının artırılması için yatırımcılara destek olunmalıdır. Devlet tarafından gerek vergi indirimi gerekse kredi yardımları ile yatırımcılar teşvik edilmeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumu için teşvik edilmelidir. Enerji üreticilerine ve enerjiyi kullanan tüketicilere yenilenebilir enerji konuları hakkında eğitim verilmeli ve dünyadaki gelişmeler takip edilmelidir. Özellikle kamu alanlarında yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmalı ve halk bu enerji türlerinin kurulum ve kullanımına teşvik edilmelidir. İklim farklılaşmalarına neden olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile enerji verimliliği sağlanabilir. (Akçay, 2019)

Ayrıca Enerji Bakanlığı tarafından 2023'e kadar, 36000 MW'lık hidro elektrik kapasitesinin tümü, rüzgar enerji santrallerinde 20000 MW, Güneş enerji santrallerinde ise 600 MW 'lık güç elde etme hedeflenmiştir, %30 olan yenilenebilir enerji payı daha da arttırılmak istenmektedir. (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2012)

1.4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde çalışılan konuda çok az çalışma bulunması nedeniyle yenilenebilir enerjiyle ilgili çalışmalar genel olarak ele alınmıştır. 2010-2019 aralığındaki çalışmalar ele alınarak literatür araştırması yapılmıştır. İlk çalışmada, bulanık Topsis yöntemiyle en iyi alternatif enerji sistemleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Değerlendirme ölçütleri ise teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal ölçütlerdir. Alternatif enerji sistemleri ise rüzgar, güneş, biyoenerji, hidroelektrik, nükleer enerjidir. (Kaya ve Kahraman, 2011)

Çalışmada, Türkiye'deki yenilenebilir enerji alternatiflerinin belirlenen beş kritere göre seçimi hedeflenmiştir. Alternatif enerji kaynakları ise rüzgar, güneş, jeotermal, hidroelektrik ve biyoenerjidir. Seçim yapmak için graf teorisi tercih edilmiştir. (Uysal, 2011)

Çalışmada, yenilenebilir enerji alternatifleri ana kriter ve alt kriterlerden oluşan toplamda on dokuz kriter yardımıyla yapılmıştır. Macbeth ve AHP yöntemleri tercih edilmiştir. (Ertay vd., 2013)

Çalışmada, Türkiye'deki enerji santrallerinin en uygun olanı belirlenen beş kriter ve altı alternatif yardımıyla seçilmiştir. AHP yöntemi kullanılmıştır. (Erdem vd., 2013)

Çalışmada, rüzgar enerji sistemlerinin seçimi sezgisel aralık değer ve bulanık kümeler içeren bir model yardımıyla yapılmıştır. (Onar vd., 2015)

Çalışmada, enerji alternatiflerinin seçimi bulanık tip-2 kümeler içeren AHP yöntemi kullanılarak yapılmıştır. (Erdoğan ve Kaya, 2015)

Çalışmada, yenilenebilir enerji sistemlerinin sıralaması bulanık Topsis yöntemiyle yapılmıştır. En uygun enerji sistemi olarak hidroelektrik enerji bulunmuştur. (Şengül vd., 2015)

Çalışmada, rüzgar enerji yatırım alternatiflerinin kıyaslaması aralık değer içeren sezgisel bulanık fayda-maliyet analiz yöntemi yardımıyla yapılmıştır. (Kahraman vd., 2016)

Çalışmada, Türkiye'deki enerji kaynaklarının analizi bulanık Topsis yöntemi aracılığıyla yapılmıştır. Sonuç, en iyisinden başlayarak sırasıyla yenilenebilir, nükleer ve fosil enerji kaynağı olarak bulunmuştur. (Sağır ve Doğanalp, 2016)

Çalışmada, Türkiye'nin stratejik güneş enerjisi hedefleri dikkate alınarak ana(dört) ve alt(on altı) kriterlerle ANP ve Promethee yöntemleri tercih edilerek güneş enerjisi teknolojisi seçimi yapılmıştır. (Özcan vd., 2017)

Çalışmada, Türkiye'nin enerji kaynakları Topsis ve ANP yöntemleriyle dört ana ve on iki alt kriter yardımıyla sıralanmıştır. İlk sırada rüzgar enerjisi santralleri son sırada ise güneş enerjisi santralleri bulunmuştur. (Özcan vd., 2017)

Çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi bulanık Topsis yöntemi yardımıyla yapılmıştır. Dört uzmanın görüşleri yardımıyla yedi kaynaktan en iyi enerji kaynağı biyoenerji olarak bulunmuştur. (Damgacı vd., 2017)

Çalışmada, Bursa'da yatırım için gerekli en iyi enerji kaynağını seçmeyi hedeflenmiştir. Kriterler enerji verimliliği başta olmak üzere beş tanedir. Bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta birinci enerji kaynağı güneş bulunmuştur. Onu sırasıyla rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji izlemiştir. (Arıkan ve Aydın, 2017)

Çalışmada, Türkiye'de yenilenebilir kaynaklarının seçimi için bir model tavsiye edilmiştir. Dematel, ANP ve Topsis yöntemleri birlikte uygulanmıştır. (Büyüközkan ve Güleryüz, 2017)

Çalışmada, en iyi enerji seçimi için model tavsiye edilmiştir. Kriter ağırlıkları AHP tespit edilmiş ile proje alternatifleri ise Vikor yöntemiyle sıralanmıştır. (Büyüközkan ve Karabulut, 2017)

Çalışmada, Türkiye'deki enerji alanında entegre bir model tavsiye edilmiştir. Sonuca ulaşmak için Swot analizi, ANP ve bulanık Topsis yöntemleri tercih edilmiştir. (Erduval vd, 2018)

2. YÖNTEMLER

2.1. Bulanık Mantık

1960'ların ortalarında olasık teorisi ve iki değerli mantıktaki aksayan yönlerini gidermek amacıyla bulanık mantık kavramı ortaya atılmıştır. Zadeh'in ortaya attığı bulanık mantık çok değerlidir. (Chou vd., 2001), (Chen, 2000).

İnsan davranışlarına benzer özelliklere sahip olan bulanık mantık, çeşitli mantıksal kavramlar içeren uygulamalar aracılığıyla bilgisayarlara yardımcı bir bilgisayar mantık devrimidir. Ayrıca endüstriyel sahalarda tercih edildiğinde verimliliği arttırarak optimal üretim yapılmasına katkı sağlar. Böylelikle zamandan tasarruf edilir ve ekonomik yönden fayda sağlanır. (Yaralıoğlu, 2003)

Bulanık mantık kavramı araştırıldığında 'biraz sıcak', 'hemen hemen doğru', 'çok hızlı' gibi ifadelerle bakıldığında anlam olarak belirsiz bir durum belirtse de matematiksel uygulamalarda daha kullanışlıdır ve problem çözümünde gündelik hayatta çok rastlanan örneklerdendir. Bulanık mantık bir insanın algılayabileceği, çözüm olan sistemlerin veya cihazların çalışması sağlar. Ayrıca bulanık mantık objektif değil subjektif bir yapıdadır. (Yaralıoğlu, 2003)

2.1.1. Bulanık Mantığın Genel Olarak Sağladığı Faydalar

- İnsanların düşünce sistemleri ve tarzları ile benzerlik gösterir.
- Matematiksel bir model gerektirmez.
- Yazılımın karmaşık olmadığından sistem ucuz kurulabilir.
- Bulanık mantık ifadesini kavramak oldukça basittir.
- Üyelik değerleri kullanıldığından öteki kontrol yöntemlerinden oldukça hassastır.
- Kesin olmayan bilgilerin kullanılır.
- Doğrusal olmayan fonksiyonlar modellenenebilir.
- Yalnızca uzman kişilerin tecrübelerine dayanarak kolaylıkla bulanık mantık destekli bir model veya sistem kurulabilir.
- Geleneksel kontrol yöntemlerine uygundur.

- İnsanlar birbirleriyle iletişiminde kullandıkları sözel ifadelerin bulanık mantıkla ifade edilmesiyle oldukça yararlı sonuçlar elde edilir. (Yaralıoğlu, 2003)

2.1.2. Bulanık Mantığın Dezavantajları

- Bulanık kontrolde yararlanılan kurallar tecrübeyle sıkı bir ilişki içindedir.
- Üyelik fonksiyonlarının seçimi için belirgin bir yöntem bulunmamaktadır. En uygun fonksiyon ise denenerek tespit edilir, bu uzun bir süreçtir.
- Denetlenen sistemin bir kararlılık analizi yapılamaz ve sistemin yanıtının ne olacağı öngörülemez. Yalnızca Benzetim çalışmasıyla bulunur. (Yaralıoğlu,2003)

Şekil 4: Bulanık Mantık İşlemlerinin Özellikleri

Tek kuvvet özelliği	$A \vee A = A, A \wedge A = A$
Değişme özelliği	$A \vee B = B \vee A, A \wedge B = B \wedge A$
Birleşme özelliği	$A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C, A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge C$
Dağılma özelliği	$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C), A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$
Tümleyenin tümleyeni	$A = \overline{\overline{A}}$
Yutma özelliği	$A \vee (A \wedge B) = A, A \wedge (A \vee B) = A$
0 ve 1 ile yutma özelliği	$A \vee 1 = 1, A \wedge 0 = 0$
Etkisiz eleman özelliği	$A \vee 0 = A, A \wedge 1 = A$
De Morgan kuralı	$\overline{(A \wedge B)} = \overline{A} \vee \overline{B}, \overline{(A \vee B)} = \overline{A} \wedge \overline{B}$

(Akkaptan, 2012)

2.2. Temel Kavramlar

2.2.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonu

Belirsizlik durumlarında sözel verilerin işlenmesinde bulanık kümeler yöntemi, klasik yöntemlere göre sahip olduğu üstünlüklerle farklı alanlarda başarılı

çalışmaların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bulanık küme kavramları sözel verilerden sayısal olanlara geçişi kolaylaştırır. Bulanık kümelerde, klasik kümelerdeki iki değerli üyelik kavramı genelleştirilerek çok değerli üyelik kavramı oluşturulmuştur. Bulanık kümeler, değişik üyelik dereceleri olan çeşitli topluluklardan oluşur. Klasik kümelerde düşük (0) - yüksek (1), soğuk (0) - sıcak (1) olarak ikili üyelik kavramı ile tanımlanan değişkenler ya “0” ya da “1” şeklinde ifade edilir. Oysa bulanık mantıkta “biraz soğuk, biraz sıcak” gibi hassas niteleyiciler yardımıyla [0,1] aralığında değişkenler aldıkları üyelik dereceleri ile başka bir kümenin üyesi olabilmektedir. Bulanık kümelerin sınırları klasik kümelere kıyasla daha belirsizdir. (Akkaptan, 2012)

Bulanık kümelerin gösterimi iki biçimde yapılır. İlki üyelik derecelerinin kullanılarak küme elemanlarının sıralanması, diğeri ise matematiksel bir üyelik fonksiyonu tanımlamadır. (Akkaptan, 2012)

α değeri bulanık mantıkta kesim katsayısı olarak ifade edilir. a_1^α ve a_3^α değerleriyse a_2 normal değerinin komşuluğunu oluşturan aralığın alt ve üst sınır değerleridir. Başka bir deyişle a_1^α ve a_3^α aralığındaki bütün sayılar a_2 normal değeri ile benzer değerdir. a_1^α ve a_3^α değerleri sırasıyla 3 ve 4 formülleri ile hesaplanabilir. (Terano, 1997).

$$\frac{a_1^\alpha - a_1}{a_2 - a_1} = \alpha \quad (3)$$

$$\frac{a_3 - a_3^\alpha}{a_3 - a_2} = \alpha \quad (4)$$

1 ve 2 formüllerinden $\forall \alpha \in [0,1]$ için $A_\alpha = [a_1^\alpha, a_3^\alpha]$ aralığı tanımlanabilir. a_1^α ve a_3^α değerleri (5) ve (6) formülleriyle bulunur.

$$a_1^\alpha = \alpha(a_2 - a_1) + a_1 \quad (5)$$

$$a_3^\alpha = a_3 - (a_3 - a_2)\alpha \quad (6)$$

Örnek verecek olursak üçgensel bulanık sayılara ait küme $A = (-5, -1, 1)$ ise aşağıdaki formülden üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < -5 \\ \frac{x+5}{4}, & -5 \leq x \leq -1 \\ \frac{1-x}{2}, & -1 \leq x \leq 1 \\ 0, & x > 1 \end{cases}$$

şeklinde elde edilir. Eğer karar verici α kesim katsayısı 0,5 şeklinde belirlenmişse -1 normal değerinin komşuları (5) ve (6) formüllerinden $a_1^{0,5} = -3$ ve $a_3^{0,5} = 0$ şeklinde bulunur. Başka bir ifadeyle -1 normal değeriyle aynı anlam düzeyindeki sayıların kümesinin $[-3,0]$ aralığıdır. Belirtilen ilişki Şekil 6'daki gibidir.

Eğer bulanık mantık değerlerinin kümesinde normal kabul gören iki küme bulunuyorsa $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ gibi 4 belirleyici değerden oluşuyorsa bu durumda üyelik fonksiyonu yamuk şeklinde oluşacaktır. Yamuk üyelik fonksiyonu 7 formülünde gösterilmiştir.

Eğer $\forall R \in (-\infty, +\infty)$ 'da mevcut kümenin bir elemanıysa $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu $R \rightarrow [0,1]$ 'da oluşur. Başka deyişle A kümesi $A = [a_1, a_3]$ aralığında ise genellikle $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu 1 formülüyle gösterilebilir.

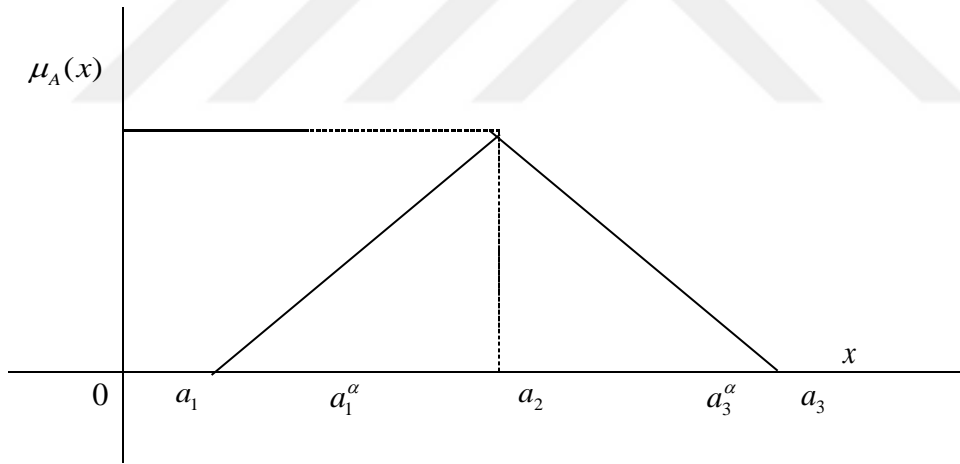
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ 1, & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

Üyelik fonksiyonları 2 şekilde analiz edilmektedir. Birincisi, üçgensel üyelik fonksiyonları, diğeri ise yamuk üyelik fonksiyonlarıdır. $\mu_A(x)$ üçgensel üyelik fonksiyonu aşağıda (2) gösterildiği gibidir. (Triantaphyllou, 2000)

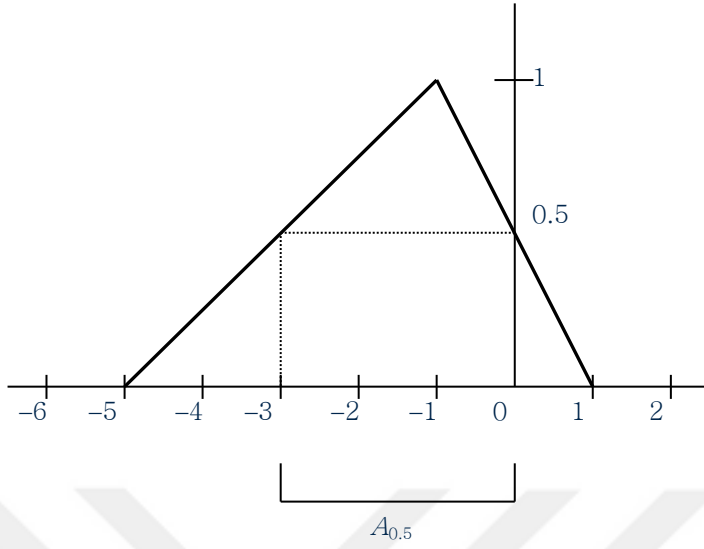
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (2)$$

Formül 2'ye göre küme, $A = (a_1, a_2, a_3)$ olmalıdır. “ a_2 ” normal değerli üyelik diye ifade edilebilir. Bulanık mantık bu bağlamda bir α katsayısına bağlı a_2 'ye yakın değerlerin bu değer ifade ettiği kavramla belirtileceğini öngörmektedir. Başka bir ifadeyle a_2 'deki belirsizlik olarak düşünülecek veya dağılım doğrultusunda bulunabilecek bir α katsayısı ile tolere edilebilir. Mevcut komşuluk Şekil 5'teki gibidir. (Lootsma, 1997)

Şekil 5: Sayıların Komşuluğu



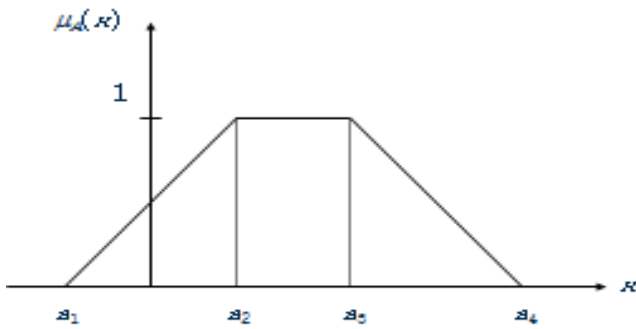
Şekil 6: $A = (-5, -1, 1)$ Kümesinin Komşuluğu



$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (7)$$

Söz edilen komşuluk Şekil 7’de verildiği gibi elde edilecektir.

Şekil 7: Yamuk Sayı Komşuluğu



2.3. Aralık Tip-2 Bulanık Kümeler

Tip-2 bulanık kümeler ve aralık tip-2 bulanık kümelerle ilgili ana kavramlar ve tanımlar (Kahraman vd., 2014; Mendel vd., 2006; Zadeh, 1975) kaynaklarından faydalanılarak anlatılmıştır.

Tanım 1: X evrensel kümesine ait bir \tilde{A} tip-2 bulanık küme, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ tip-2 bulanık üyelik fonksiyonuyla aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\tilde{A} = \{((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1], 0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1\} \quad (8)$$

burada, $J_x \subseteq [0, 1]$ aralığını göstermektedir. Ayrıca, \tilde{A} tip-2 bulanık kümesinin bir başka ifade edilmiş şekli aşağıdaki gibidir:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad (9)$$

burada $J_x \subseteq [0, 1]$ olmak üzere, \iint tüm makul (kabul edilebilir) x ve u değerlerinin birleşimini ifade etmektedir.

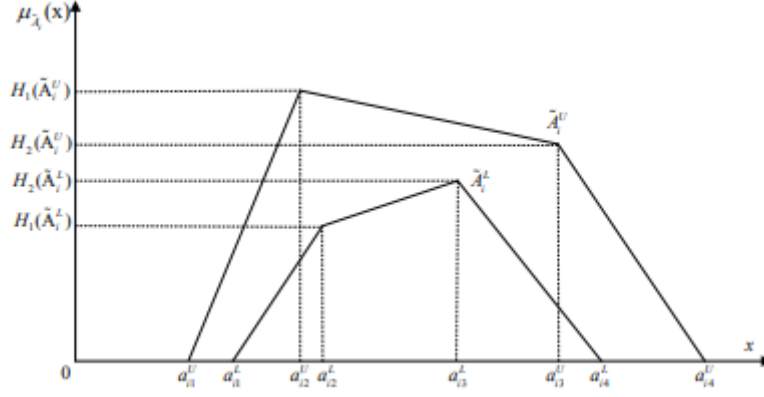
Tanım 2: X evrensel kümesine ait \tilde{A} tip-2 bulanık kümesini tanımlayan tip-2 üyelik fonksiyonunu $\mu_{\tilde{A}}$ olarak gösterilsin. Eğer bütün $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ ise, \tilde{A} kümesine aralık tip-2 bulanık küme adı verilir. Bir aralık tip-2 bulanık küme, \tilde{A} tip-2 bulanık kümenin özel bir durumu olarak kabul edilir ve aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1 / (x, u) \quad (10) \text{ burada } J_x \subseteq [0, 1] \text{ 'dir.}$$

Tanım 3: Aralık tip-2 bulanık kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonları sırasıyla tip-1 üyelik fonksiyonudur. Chen ve Lee (2010) çalışmalarında bulanık çok kriterli grup karar verme problemlerinin çözümünde aralık tip-2 bulanık kümeleri kullanmak için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem göre, aralık tip-2 bulanık kümelerin referans noktaları ve üst ve alt üyelik fonksiyonlarının yükseklikleri, tip-2 bulanık kümelerini karakterize etmek için kullanılmıştır. Şekil 6'da yamuksal bir aralık tip-2 bulanık küme gösterilmektedir Yamuksal bir aralık tip-2 bulanık kümeler $\tilde{A}^i = (\tilde{A}^i U ; \tilde{A}^i L) = ((ai1 U , ai2 U , ai3 U , ai4 U ; H1(\tilde{A}^i U), H2(\tilde{A}^i U)), (ai1 L , ai2 L , ai3 L , ai4 L ; H1(\tilde{A}^i L), H2(\tilde{A}^i L)))$ burada $\tilde{A}^i U$ ve $\tilde{A}^i L$ tip-1 bulanık kümeleri, $ai1 U , ai2 U , ai3 U , ai4 U , ai1 L , ai2 L , ai3 L$ ve $ai4 L$ yamuksal aralık tip-2 bulanık kümesi \tilde{A}^i kümesinin referans noktalarını, $H_j(\tilde{A}^i U); 1 \leq j \leq 2$ olmak üzere $ai(j+1) U$ elemanının $\tilde{A}^i U$ üst yamuksal üyelik fonksiyonundaki üyelik değerini, $H_j(\tilde{A}^i L); 1 \leq j \leq 2$ olmak üzere $ai(j+1) L$ elemanının $\tilde{A}^i L$ alt yamuksal üyelik fonksiyonundaki üyelik değerini ifade ettiğinde ve $H1(\tilde{A}^i U) \in [0, 1], H2(\tilde{A}^i U) \in$

$[0,1]$, $H_1(\tilde{A}^i L) \in [0,1]$, $H_2(\tilde{A}^i L) \in [0,1]$ ve $1 \leq i \leq n$ koşullarını sağladığında Eşitlik (1) ile gösterilir.

Şekil 8: Yamuksal Aralık Tip-2 Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu



Tanım 4: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeleri arasında aşağıdaki gibi toplama yapılır:

$$\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = ((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)))$$

$$\tilde{A}_2 = (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)))$$

$$A_1^{\tilde{}} \oplus A_2^{\tilde{}} = (A_1^{\square U}, A_1^{\square L}) \oplus (A_2^{\square U}, A_2^{\square L})$$

$$\begin{aligned} & ((a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, a_{14}^U + a_{24}^U; \min(H_1(A_1^{\square U}), H_1(A_2^{\square U})), \min(H_2(A_1^{\square U}), H_2(A_2^{\square U}))), \\ & ((a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \min(H_1(A_1^{\square L}), H_1(A_2^{\square L})), \min(H_2(A_1^{\square L}), H_2(A_2^{\square L}))) \quad (11) \end{aligned}$$

Tanım 5: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeleri arasında aşağıdaki gibi çıkarma yapılır:

$$\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = ((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)))$$

$$\tilde{A}_2 = (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L)))$$

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \ominus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L)$$

$$\begin{aligned} & ((a_{11}^U - a_{21}^U, a_{12}^U - a_{22}^U, a_{13}^U - a_{23}^U, a_{14}^U - a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U))), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), \\ & ((a_{11}^L - a_{21}^L, a_{12}^L - a_{22}^L, a_{13}^L - a_{23}^L, a_{14}^L - a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L))), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \quad (12) \end{aligned}$$

Tanım 6: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeleri arasında aşağıdaki gibi çarpma yapılır.

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = ((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L))) \\ \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \\ \tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \otimes (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\ & ((a_{11}^U \times a_{21}^U, a_{12}^U \times a_{22}^U, a_{13}^U \times a_{23}^U, a_{14}^U \times a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U); H_1(\tilde{A}_2^U))), \min(H_2(\tilde{A}_1^U); H_2(\tilde{A}_2^U))), \\ & ((a_{11}^L \times a_{21}^L, a_{12}^L \times a_{22}^L, a_{13}^L \times a_{23}^L, a_{14}^L \times a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L); H_1(\tilde{A}_2^L))), \min(H_2(\tilde{A}_1^L); H_2(\tilde{A}_2^L))) \quad (13) \end{aligned}$$

Tanım 7: Yamuksal aralık tip-2 bulanık kümeler ve skaler k arasındaki aritmetik işlemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$k \times \tilde{A}_1 = ((k \times a_{11}^U, k \times a_{12}^U, k \times a_{13}^U, k \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (k \times a_{11}^L, k \times a_{12}^L, k \times a_{13}^L, k \times a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L))) \quad (14)$$

$$\frac{\tilde{A}_1}{k} = ((\frac{1}{k} \times a_{11}^U, \frac{1}{k} \times a_{12}^U, \frac{1}{k} \times a_{13}^U, \frac{1}{k} \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (\frac{1}{k} \times a_{11}^L, \frac{1}{k} \times a_{12}^L, \frac{1}{k} \times a_{13}^L, \frac{1}{k} \times a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L))) \quad (15)$$

Bu ifadede $k > 0$ olması gereklidir.

2.3.1 Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi

Kahraman vd. (2014)'te Buckley (1985)'in temeli tip-1 bulanık kümeler olan bulanık AHP yöntemini aralık tip-2 bulanık kümelere göre düzenlemişlerdir.

Söz konusu yöntem adım adım şu şekilde özetlenebilir:

Adım 1: Problem tanımlanarak probleme uygun amaç belirlenir.

Adım 2: Problemin kriterleri, alt kriterleriyle alternatiflerini içeren bir hiyerarşik yapı belirlenir.

Adım 3: Kriterlerin tamamına ait bulanık ikili karşılaştırma matrisi elde edilir. İkili karşılaştırma matrisi uzmanlar tarafından dilsel değişkenler kullanılarak elde edilir. Dilsel değişkenler ve onların aralık tip-2 bulanık karşılıkları Tablo 1'de gösterildiği

gibidir. Dilsel değişkenler yardımıyla eşitlik 16'daki gibi bulanık ikili karşılaştırma matrisleri elde edilir.

Tablo 1: Dilsel Değişkenlerin Aralık Tip-2 Bulanık Ölçekleri

Dilsel değişkenler	Yamuksal tip-2 bulanık ölçekler
Kesinlikle Güçlü (KG)	(7,8,9,9;1,1) (7.2,8.2,8.8,9;0.8,0.8)
Çok Güçlü (ÇG)	(5,6,8,9;1,1) (5.2,6.2,7.8,8.8;0.8,0.8)
Oldukça Güçlü (OG)	(3,4,6,7;1,1) (3.2,4.2,5.8,6.8;0.8,0.8)
Biraz Güçlü (BG)	(1,2,4,5;1,1) (1.2,2.2,3.8,4.8;0.8,0.8)
Tamamen Eşit (E)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)

Eğer faktör i faktör j ile karşılaştırıldığında yukarıdaki değişkenlerden birini alıyorsa, j i ile karşılaştığında karşıt (karşılıklı) bir değer alır.

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} \dots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Ayrıca

$$1/\tilde{a} = ((1/a_{14}^U, 1/a_{13}^U, 1/a_{12}^U, 1/a_{11}^U; H_1(a_{12}^U), H_2(a_{13}^U)), ((1/a_{24}^L, 1/a_{23}^L, 1/a_{22}^L, 1/a_{21}^L; H_1(a_{22}^L), H_2(a_{23}^L)))$$

Adım 4: Bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılıkları değerlendirilir. Öncelikle bulanık ikili karşılaştırma matrisleri durulaştırılır ve tutarlılık değerlendirilir. Tutarsızlığa rastlanılırsa uzmanlardan bir kez daha değerlendirme yapmaları istenir.

Adım 5: Uzmanların değerlendirmeleri geometrik ortalama ile birleştirilir. Her bir satırın geometrik ortalaması \tilde{r}_i i şöyle hesaplanır:

$$\tilde{r}_i = [\tilde{a}_{i1} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{1/n} \quad (17)$$

Ayrıca

$$\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij}} = ((\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^U}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^U}; H_1^U(a_{ij}), H_2^U(a_{ij})), (\sqrt[n]{\tilde{a}_{ij1}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij2}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij3}^L}, \sqrt[n]{\tilde{a}_{ij4}^L}; H_1^L(a_{ij}), H_2^L(a_{ij}))) \quad (18)$$

Adım 6: Her bir kriterin bulanık ağırlıkları bulunur. Öncelikle her bir satırın geometrik ortalaması olan \tilde{r}_i hesaplanır. i . kriterin bulanık ağırlığı \tilde{p}_i şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{p}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1} \quad (19)$$

Ayrıca

$$\tilde{a}_{ij} / \tilde{b}_{ij} = (a_1^U / b_4^U, a_2^U / b_3^U, a_3^U / b_3^U, a_4^U / b_1^U; \min(H_1^U(a), H_1^U(b)), \min(H_2^U(a), H_2^U(b))), \\ (a_1^L / b_4^L, a_2^L / b_3^L, a_3^L / b_3^L, a_4^L / b_1^L; \min H_1^L(a), H_1^L(b) \min H_2^L(a), H_2^L(b))) \quad (20)$$

Adım 7: Her alternatifin bulanık performans değeri bulunur.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij}, \forall i. \quad (21)$$

Yukarıdaki formülde bulunan \tilde{U}_i , i . alternatifin bulanık faydasını, \tilde{w}_j , j . kriterin ağırlığını ve \tilde{r}_{ij} , j . kritere göre i . alternatifin performans değerini ifade etmektedir.

Adım 8: Alternatiflerin önceliklendirilmesi için aralık tp-2 bulanık sayılar durulaştırılır. Durulaştırma işlemi için Kahraman vd. (2014)'te kullanılan durulaştırma yöntemi (DTraT) yararlanılmıştır.

$$DTraT = (((u_U - l_U) + (\beta_U m_{1U} - l_U) + (a_U m_{2U} - l_U)) / 4 + l_U + ((u_L - l_L) + (\beta_L m_{1L} - l_L) + (a_L m_{2L} - l_L)) / 4 + l_L) / 2 \quad (22)$$

2.4. Tereddütlü Bulanık Kümeler

HFS başlangıçta Torra tarafından geliştirilmiştir. Genel olarak içinde birçok karar vericinin bulunduğu durumlarda eldeki birçok değer yerine bunları birleştirip tek bir değer elde etmek için bir toplama işlemi kullanılarak olası tüm değerlerle başa çıkmak için kullanışlı olacaktır. Genel olarak, karar verme sürecinde farklı düzeylerde tercihleri sağlama konusunda tereddüt edebilirler, bu durumlarda HFS kullanılabilir. HFS bu farklı görüşleri temsil eder. Torra (2010), HFS'i aşağıdaki gibi tanımlar: X'in sabit bir küme olmasını sağlayın, X üzerindeki bir HFS,

uygulandığında kullanılan bir işlev açısından X , bir alt kümesini $[0, 1]$ döndürür. HFS için matematiksel anlatım aşağıdaki gibidir:

$$E = \{ \langle x, h_E(x) \rangle \mid x \in X \}$$

Burada, $h_E(x)$ bazı değerler kümesi $[0,1]$ belirten elemanın olası üyelik derecesi $x \in X$ E olarak çalışır. Xia ve Xu (2011)'de, $h = h_E(x)$ ifadesini bir tereddütlü bulanık eleman olarak adlandırılır.

H'ye ait bazı ana ifadeler şu şekildedir:

H'nin üst ve alt sınırı şu şekilde ifade edilir:

$$h^-(x) = \min h(x);$$

$$h^+(x) = \max h(x);$$

$$h^c = U \gamma \in h \{1 - \gamma\};$$

H'nin zarfları, $A_{env(h)}$, sezgisel bir bulanık olarak tanımlanan küme;

$$A_{env(h)} = \{x, \mu(x), \nu(x)\}$$

Burada,

$$\mu(x) = h^-(x) \dots$$

$$\nu(x) = 1 - h^+(x)$$

H, h_1 ve h_2 üç HFEs olsun, sonra bu elemanlar için temel işlemler Zhang, N. ve Wei G.(2013) aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\begin{aligned}
h^\lambda &= U_{\gamma \in h} \{ \gamma^\lambda \}; \\
\lambda h &= U_{\gamma \in h} \{ 1 - (1 - \gamma)^\lambda \}; \\
h_1 \cup h_2 &= U_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{ \max \{ \gamma_1, \gamma_2 \} \}; \\
h_1 \cap h_2 &= U_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{ \min \{ \gamma_1, \gamma_2 \} \}; \\
h_1 \oplus h_2 &= U_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{ \min \{ \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2 \} \}; \\
h_1 \otimes h_2 &= U_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2} \{ \min \{ \gamma_1 \gamma_2 \} \};
\end{aligned}$$

Bu yöntem kapsamındaki çalışmaların en önemli işlevlerinden biri iki operasyon arasındaki mesafeyi bulmaktır. Literatür HFES için farklı yaklaşımlar sağlar.

Bu amaç, Xu ve Xia (2011) tereddütlüyü tanımlarken Öklid uzaklığı şu şekilde hesaplanır:

$$d_1(h_1, h_2) = \sqrt{1/l \sum_{i=1}^l |h_{1\sigma(i)} - h_{2\sigma(i)}|^2}$$

Zhang ve Wei(2013) bu mesafeyi ölçmek için Hamming mesafesini önermişlerdir. Bu mesafe şu şekilde hesaplanır:

$$d_1(h_1, h_2) = 1/l \sum_{i=1}^l |h_{1\sigma(i)} - h_{2\sigma(i)}|$$

Burada h_1 , h_2 ve HFES ve L elemanlarının sayısı HFE içinde bir uzunluk olarak adlandırılır. Ancak, genel düzende HFE'lerin uzunluk değerleri farklı olabilir. O zaman başlangıçta artan ve azalan bir düzende uzunlukları farklı elemanlar tercih edilmelidir, yani $l_{h_1} < l_{h_2}$ olmalı. Bu ifade şu şekilde genişletilebilir: Aynı sayıda elemandan kısa olanı da olabilir, bu durum karar vericilerin tercihleri riskine bağlı olarak genişletilebilir. İyimserler istenen sonuçları tahmin eder ve kötümserlerden ise olumsuz sonuçlar beklenir. (Xu, Z. ve Zhang, 2013)

2.4.1 Tereddütlü Bulanık TOPSIS Yöntemi

(Onar vd., 2014)'teki çalışmada kullanılan yöntemdeki adımlar şu şekildedir:

Adım 1: Olumlu ve olumsuz ideal çözümler belirlenen,

$$A^* = \{h_1^*, h_2^*, \dots, h_n^*\}$$

$$h_j^* = U_{i=1}^m h_{ij} = U_{1j \in h_{1j}, \gamma_{mj} \in h_{mj}, \dots, \max \{ \gamma_{1j}, \dots, \gamma_{mj} \}} j = 1, 2, \dots, n$$

$$A^- = \{h_1^-, h_2^-, \dots, h_n^-\};$$

$$h_j^- = \cap_{i=1}^m h_{ij} = \cap_{1j \in h_{1j}, \dots, \gamma_{mi} \in h_{mi}, \dots, \min \{ \gamma_{1j}, \dots, \gamma_{mj} \}} j = 1, 2, \dots, n$$

Değerleri bulunur.

Adım 2: Ağırlıklı tereddütlü normalize Hamming mesafesi ayırma ölçüsü, her alternatifin ayırma önlemleri ideal çözüm hesaplanır. Alternatif bir formun mesafesi pozitif ideal şu şekilde hesaplanır:

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n w_j \| h_{ij} - h_j^* \|$$

w_j aralık tip-2 bulanık AHP ile belirlenen kriterin normalize edilmiş ağırlığını gösterir. Benzer şekilde, negatif ideal çözüm aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n w_j \| h_{ij} - h_j^- \|$$

İki kararsız bulanık sayı arasındaki mesafe aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenir.

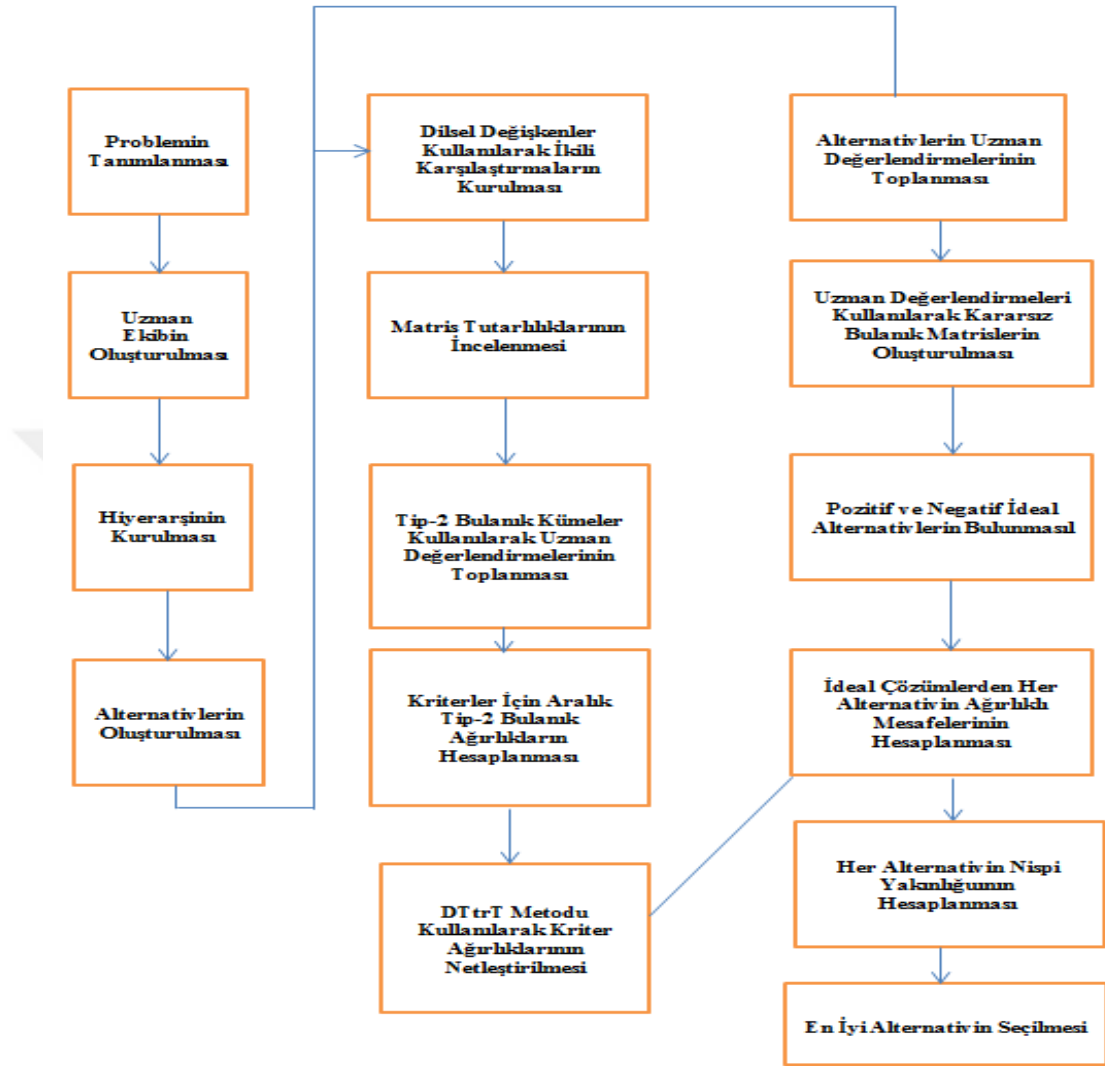
$$\| h_1 - h_2 \| = 1/l \sum_{j=1}^l | h_{1_{\sigma(j)}} - h_{2_{\sigma(j)}} |$$

Adım 3: İdeal çözüme yakınlık aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

Adım 4: Alternatifler göreceli olarak sıralanır İdeal çözüme en yakın yani başka bir ifadeyle en büyük değerli alternatif en iyi alternatif olarak seçilir. Bu adımlar aşağıdaki şekil üzerinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Şekil 9: Uygulamanın Akış Şeması



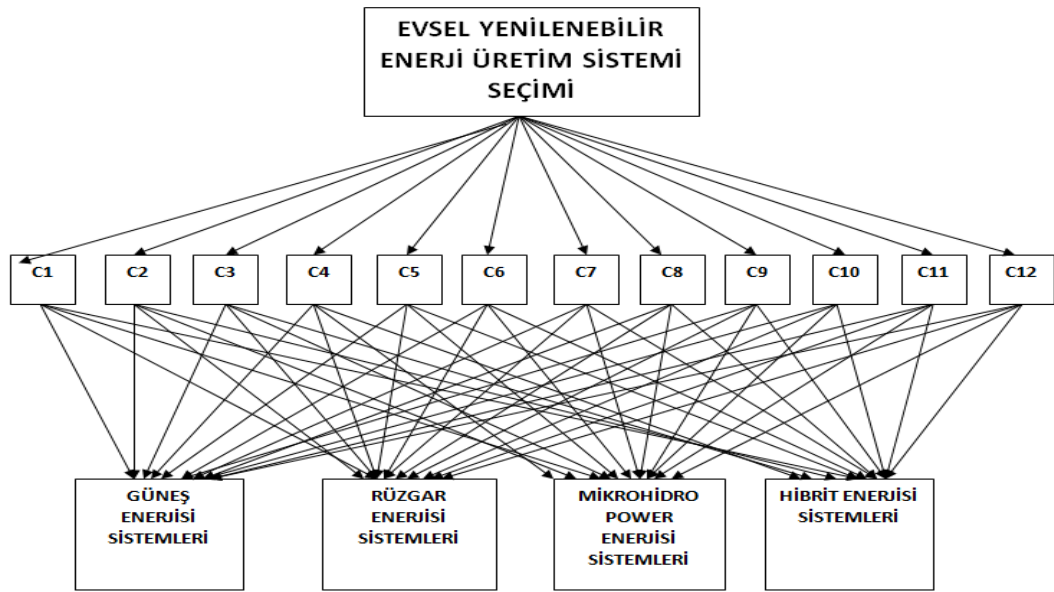
3. UYGULAMA

3.1. Problemin Tanımı

Genel olarak, dilsel bulanık ifadeler çelişiklere sahiptir ve bulanık küme teorisi, farklı ölçütler çerçevesinde alternatiflerin değerlendirilmesi için dilsel değişkenler yardımıyla karar vericilerin seçimleriyle düşüncelerini tutarlı sonuçlarla ifade etmeye olanak sağlamaktadır. Bilgi eksikliği, az sayıda niceliksel bilgi, subjektif ve kesin olmayan görüşlere yer vermesi nedeniyle aralık tip 2 bulanık problemlerin çözüm süreci zorlu bir süreçtir.

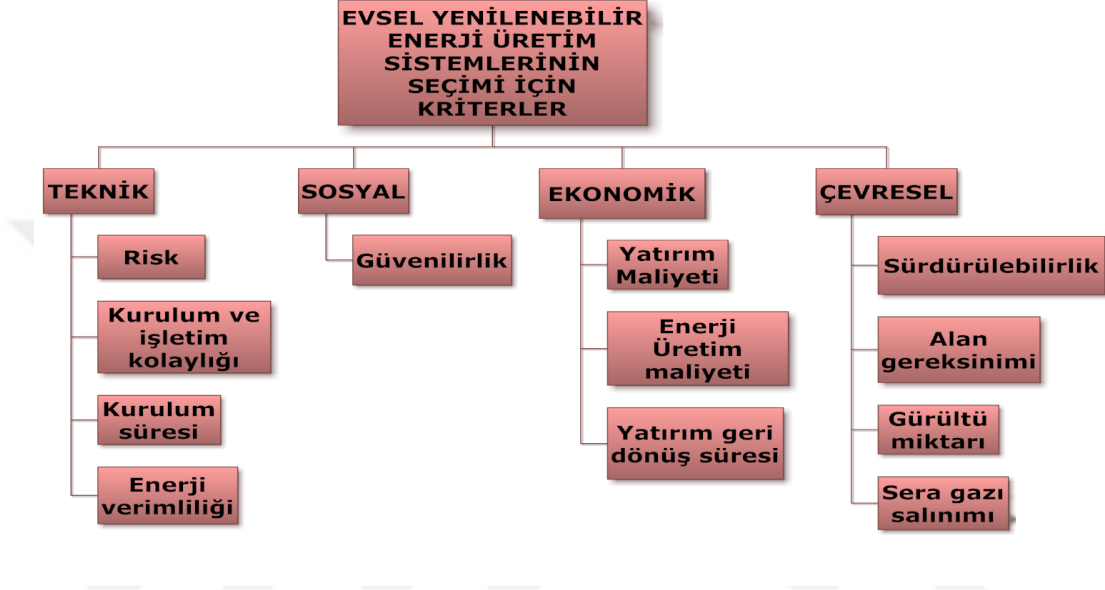
Yapılan bu çalışmada, son yılların en önemli problemlerinden olan yenilenebilir enerji kaynağı seçim ve önceliklendirme problemini evsel yenilenebilir enerji bazında Orta Anadolu bölümü genelinde ele aldım. Belirlenen on iki kriter doğrultusunda dört yenilenebilir enerji alternatifleri arasındaki en uygun seçim sıralamasını bulmak hedeflendi.

3.2. AHP Şeması (Karar Modeli)



3.3. Eysel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Seçim Kriterleri ve Açıklamaları

Şekil 10: Eysel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Seçim Kriterlerinin Akış Şeması

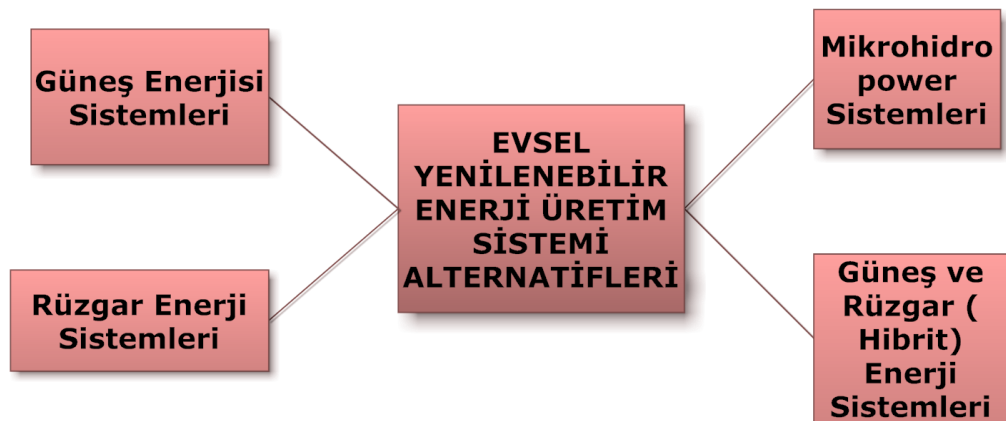


- 1- **Kurulum ve işletim kolaylığı:** Seçilecek sistemin kurulumu ve kullanımı esnasında herhangi bir zorlukla karşılaşılmasıdır. (Sağır, Doğanalp 2016)
- 2- **Kurulum süresi:** Sistemin kurulumu için gerekli süredir. (Sağır, Doğanalp 2016)
- 3- **Yatırım maliyeti:** Tercih edilecek sistem için yapılan yatırımların bütçesidir. (Ertuğrul, Kurt 2009)
- 4- **Enerji üretim maliyeti:** Tercih edilecek sistemden enerji elde etmek için katlanılan bedeldir. (Sağır, Doğanalp 2016)
- 5- **Yatırım geri dönüş süresi:** Tercih edilecek sistem yatırımının sağlayacağı net nakit girişlerinin, yatırım maliyetini karşılaması için geçecek zamanı ifade eder. (Güngül, Bayraç ve Güllü 2018)
- 6- **Alan gereksinimi:** Yenilenebilir enerji sistemi yatırım kararının verilmesinde, kullanılan toplam alan ve metrekare başına düşen enerji miktarıdır. (Özcan, Ünlüsoy ve Eren 2017)

- 7- **Güvenilirlik:** Enerji gerektiğinde enerjinin kesintisiz olarak sağlanmasıdır.(Sağır, Doğanalp 2016)
- 8- **Gürültü miktarı:** Enerji kaynağının kullanımı sırasında ortaya çıkan gürültü düzeyidir. (Sağır, Doğanalp 2016)
- 9- **Risk:** Enerji üretimi sırasında tehlikeli-zararlı sonucu olan olayların meydana gelme olasılığıdır. (Sağır, Doğanalp 2016)
- 10- **Sera gazı salınımı:** Sera gazı moleküllerinin, çevre , hava ve insan sağlığı konularında istenmeyen etkileri vardır.Yenilenebilir enerji kullanan konutlarda bu gazların emisyon oranları değişebilir,ayrıca çevre ve insan sağlığını etkilemeyecek kadar düşüktür. (Özcan, Ünlüsoy ve Eren 2017)
- 11- **Sürdürülebilirliğe katkı:** Seçilecek sistemin çevresel yansımalarının en düşük seviyede olması ve sistem kullanılırken ilerideki nesillerin de kaynak ihtiyacının göz önünde bulundurulmasıdır. (Ertuğrul, Kurt 2009)
- 12- **Enerji verimliliği:** Kullanılan enerjinin elde edilen enerji miktar ve kalitesini düşürmeden en düşük seviyeye indirilmesidir. (Özcan, Ünlüsoy, Eren 2017)

3.4. Kullanılacak Alternatif Enerji Kaynakları

Şekil 11: Eysel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Kullanılacak Alternatif Enerji Kaynakları



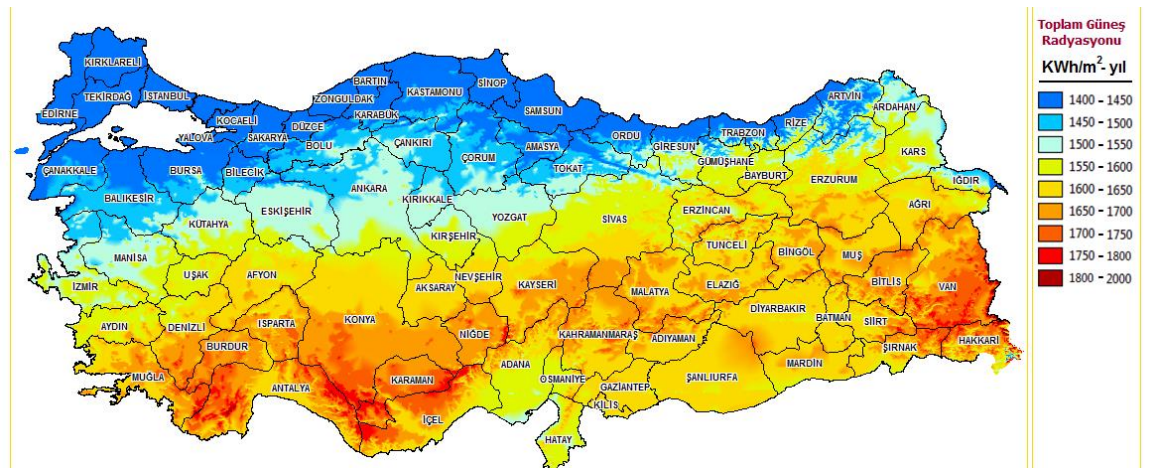
Şekil 12: Eysel Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Kullanılacak Alternatif Enerji Kaynakları ve Sembolleri

Alternatif Enerji Kaynağı	
A1	Güneş Enerjisi Sistemleri
A2	Mikrohidro Power Sistemler
A3	Rüzgar Enerjisi Sistemleri
A4	Hibrit(Rüzgar+Güneş) Enerjisi Sistemleri

3.4.1. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş, güneş sistemindeki diğer elementler için de önemli olan enerji kaynağıdır. Türkiye, bulunduğu matematiksel konum itibariyle güneş enerjisinden yeterli miktarda yararlanabilmektedir. Örneğin; İç Anadolu bölgesine ait yıllık güneş enerjisi kapasitesi 2712 saattir. (Turan, 2006)

Şekil 13: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası



(Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2012)

3.4.2. Mikrohidro Power Enerji Sistemleri

Türkiye'nin ihtiyaç duyulan elektriğin 0,40'ı bu sistemlerden karşılanır. Bu enerji tipi, baraj sularının elektrik üretimi yapan santrallerde kullanılmasıyla oluşur. (Forumdaş, 2010)

Şekil 14: Türkiye Hidro Elektrik Potansiyeli Haritası



(HEPA)

3.4.3. Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Güneşten yeryüzüne gelen enerjinin 0,01-0,02'lik kısmı rüzgar şeklindedir. Güneş enerjisinin kinetik enerjiye çevrilmiş halidir. (Bektaş, 2013)

Şekil 15: Türkiye'deki Rüzgar Enerji Santrali Haritası



(Tureb.com.tr, 2017)

3.4.4. Hibrit (Güneş ve Rüzgar) Enerjisi Sistemleri

İki veya daha fazla enerji kaynağından elde edilen yenilenebilir enerji sistemleridir. Örneğin; Güneş-rüzgar, güneş-dizel jeneratör, rüzgar-dizel jeneratör, güneş,rüzgar ile dizel jeneratör sistemleri vb. Bu sistemler, enerji kaynaklarının tek başlarına kullanılmalara göre daha avantajlıdır. (Öcal, 2012)

4. BULGULAR

4.1. Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yönteminin Uygulaması Ve Uygulama Sonuçları

Çalışmanın bu bölümünde aralık tip-2 bulanık AHP yöntemiyle evsel yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki 4 alternatif yenilenebilir enerji kaynağından en uygun olanı belirlediğimiz 12 kriter yardımıyla seçilmesi çalışması aşama aşama gösterilmiştir. Karar problemimizin amacı,on iki kriteri dikkate alarak evsel yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygun olan alternatifin seçilmesidir. Problemimizin ilk aşamasında evsel yenilenebilir enerji alanında uzman kişilere hazırlanan bir anket çalışması uygulanmış ve problemin 12 kriteri ve 4 alternatifi tespit edilmiştir. Ardından kriterler ikili olarak karşılaştırılmış ve alternatifler kriterlerin her birinin altında değerlendirilmiştir. Toplamda kriterlerin ve

alternatiflerin karşılaştırılması için karşılaştırılma matrisleri elde edilmiştir. Alanında uzman birbirinden farklı 4 kişinin görüşlerine göre Tablo 1'deki dilsel değişkenler ölçeği kullanılarak on iki kriterin ve bütün kriterlere göre alternatiflerin ayrı ayrı değerlendirilmesiyle tablo 2 ve tablo 3'teki ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

Tablo 2: Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

KV1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	E	ÇG	1/BG	KG	OG	ÇG	KG	ÇG	ÇG	ÇG	KG	KG
C2	1/ÇG	E	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	OG	OG	E	ÇG	ÇG	KG
C3	1/BG	1/ÇG	E	OG	OG	OG	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	KG	KG
C4	1/KG	1/ÇG	1/OG	E	E	1/BG	1/BG	1/BG	E	1/BG	KG	KG
C5	1/ÇG	1/ÇG	1/OG	E	E	1/BG	1/BG	1/BG	E	1/BG	KG	KG
C6	1/ÇG	1/ÇG	1/OG	1/BG	BG	E	1/BG	1/BG	OG	OG	KG	KG
C7	1/KG	1/OG	1/ÇG	1/BG	BG	1/BG	E	OG	1/BG	1/BG	KG	KG
C8	1/ÇG	1/OG	1/ÇG	1/BG	BG	1/BG	1/OG	E	1/BG	OG	KG	KG
C9	1/ÇG	E	1/ÇG	E	E	1/OG	1/BG	1/BG	E	OG	KG	KG
C10	1/ÇG	1/ÇG	1/ÇG	1/BG	1/BG	1/OG	1/BG	1/OG	1/OG	E	KG	KG
C11	1/KG	1/ÇG	1/KG	1/KG	1/KG	1/KG	1/ÇG	1/KG	1/KG	1/KG	E	1/BG
C12	1/KG	1/KG	1/KG	1/KG	1/KG	1/KG	1/ÇG	1/KG	1/KG	1/KG	1/BG	E

Örnek olarak yalnızca birinci karar verici karar vericiye ait ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir. Diğer üç matris ise **EK-1, EK-2 ve EK-3**'te verilecektir.

Tablo 3: Alternatifler İçin İkili Karşılaştırma Matrisleri

C1'e göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	BG	ÇG	BG	KG
A2	BG	OG	OG	OG
A3	BG	KG	ÇG	KG
A4	OG	KG	OG	BG
C2'ye göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	OG	BG	KG	OG
A2	OG	OG	OG	OG
A3	OG	ÇG	BG	KG
A4	ÇG	OG	BG	OG
C3'e göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	ÇG	OG	BG	KG
A2	ÇG	OG	OG	KG
A3	ÇG	ÇG	ÇG	KG
A4	ÇG	ÇG	BG	KG
C4'e göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	KG	KG	BG	KG
A2	KG	KG	ÇG	KG
A3	KG	KG	OG	KG
A4	KG	KG	OG	KG
C5'e göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	ÇG	OG	ÇG	KG
A2	KG	OG	KG	KG
A3	ÇG	KG	KG	KG
A4	ÇG	KG	KG	KG
C6'ya göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	KG	KG	OG	KG
A2	KG	KG	KG	KG
A3	KG	KG	ÇG	KG
A4	KG	KG	OG	KG
C7'ye göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	KG	KG	BG	KG
A2	KG	KG	BG	KG
A3	KG	KG	OG	ÇG
A4	KG	KG	OG	ÇG
C8'e göre	KV1	KV2	KV3	KV4

A1	KG	ÇG	OG	KG
A2	KG	OG	ÇG	KG
A3	KG	KG	ÇG	ÇG
A4	KG	OG	ÇG	ÇG
C9'a göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	KG	ÇG	OG	KG
A2	KG	ÇG	KG	KG
A3	KG	KG	OG	KG
A4	KG	ÇG	ÇG	KG
C10'a göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	ÇG	KG	KG	KG
A2	ÇG	KG	ÇG	KG
A3	ÇG	BG	KG	OG
A4	KG	OG	OG	ÇG
C11'e göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	-	BG	BG	-
A2	BG	OG	BG	BG
A3	BG	ÇG	BG	KG
A4	BG	OG	BG	ÇG
C12'ye göre	KV1	KV2	KV3	KV4
A1	BG	BG	OG	KG
A2	BG	BG	BG	KG
A3	BG	BG	BG	KG
A4	BG	BG	BG	KG

(Tablo 3'ün devamı)

Elde edilen bu ikili karşılaştırma matrislerinden yararlanarak aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve tereddütlü bulanık Topsis yöntemiyle de en iyi evsel yenilenebilir enerji kaynağı belirlenen 4 alternatif arasından 12 kriterin de yardımıyla seçilmiştir.

Aralık Tip-2 bulanık AHP yöntemi sonuçları ise aşağıdaki örnekte yapılan hesaplamalar yapılarak elde edilmiştir.

Aralık tip-2 bulanık AHP yönteminin basamakları aşağıda gösterilmiştir.

Aralık tip-2 bulanık yöntemi uygulanırken öncelikle her bir matris için geometrik ortalama hesaplanmıştır. Örneğin C_1 kriterine göre alternatiflerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan sayısal işlemler şu şekildedir:

$$C_1 = \sqrt[4]{(1,1,1,1;1,1)(1,1,1,1;1,1) \times (1,1,1,1;1,1)(1,1,1,1;1,1) \times (1,1,1,1;1,1)(1,1,1,1;1,1) \times (1,1,1,1;1,1)(1,1,1,1;1,1)} \\ = (1,1,1,1;1,1)(1,1,1,1;1,1)$$

Karar vericilerin benzer şekilde değerlendirilmiş ve C_1 kriterine göre alternatifler değerlendirilerek tablo 4 oluşturulmuştur:

Tablo 4: C_1 Kriterine Göre Kriterlerin Değerlendirilmesi

	C_1					
C_1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1
C_2	0,53077	0,70711	1,07457	1,31607	1	1
	0,56826	0,741001	1,0329	1,26224	0,8	0,8
C_3	0,66874	0,8409	1,31607	1,76932	1	1
	0,70169	0,87832	1,25317	1,6499	0,8	0,8
C_4	0,57735	0,6204	0,72824	0,80911	1	1
	0,58566	0,63311	0,71098	0,79057	0,8	0,8
C_5	1,23593	1,68179	2,44949	2,81731	1	1
	1,33136	1,76542	2,36497	2,74156	0,8	0,8
C_6	0,9391	1,18921	1,56508	1,73205	1	1
	0,99542	1,23321	1,52394	1,69774	0,8	0,8

C ₇	0,82652	0,97098	1,3554	1,73205	1	1
	0,85457	1,00739	1,29694	1,6314	0,8	0,8
C ₈	0,62802	0,8409	1,31607	1,73205	1	1
	0,67251	0,88326	1,2513	1,62209	0,8	0,8
C ₉	1,84815	2,21336	2,91295	3,26327	1	1
	1,92088	2,28739	2,83076	3,19012	0,8	0,8
C ₁₀	0,86334	1,10668	1,51967	1,73205	1	1
	0,91765	1,14995	1,47867	1,68822	0,8	0,8
C ₁₁	0,86334	0,97098	1,22474	1,40141	1	1
	0,88439	0,99902	1,18817	1,36163	0,8	0,8
C ₁₂	0,31303	0,33333	0,39127	0,43779	1	1
	0,31702	0,34134	0,38117	0,42746	0,8	0,8

(Tablo 4'ün devamı)

Ardından bütün ikili karşılaştırma matrisleri her satırın geometrik ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Örnek olarak hesaplanması verilen C1 kriterine göre kriterlerin analizi amacıyla gerekli olan r değerleri şu şekilde bulunmuştur.

$$\begin{aligned}
r_1 &= \sqrt[12]{(1,1,1,1; 1,1)(1,1,1,1; 1,1) *} \\
&(1.13622,1.56508,2.37841,2.81731;1,1)(1,22733,1.64624,2.29471,2.7262;0,8,0,8)*(0,37796,0,4518,0, \\
&70711,1;1,1)(0,39123,0,46929,0,66957,0,91992;0,8,0,8)* \\
&(1,40429,1,51967,1,73205,1,844364;1,1)(1,42815,1,55035,1,70095,1,82116;0,8,0,8)*(0,46713798,,0, \\
&6204,0,9306,1,13622;1,1)(0,50049,0,65229,0,89441,1,09098;0,8,0,8)*(0,86334,1,07457,1,41421,1,59 \\
&231;1,1)(0,91251,1,11579,1,37885,1,55632;0,8,0,8)*...*(2,28418,2,55577,3,3,19453;1,1)(2,33941,2,6 \\
&2352,2,92962,3,15434;0,8,0,8) \\
&=(0,91641,1,11539,1,48589,1,71075;1,1)(0,96005,1,15597,1,44233,1,66137;0,8,0,8)
\end{aligned}$$

Örnek olarak r_1 değerinin hesaplanması yukarıda verilmiştir, diğer r_i 'lerin sayısal değerleri ise tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: r_i Değerleri

r_1	0,91641	1,11539	1,48589	1,71075	1	1
	0,96005	1,15597	1,44233	1,66137	0,8	0,8
r_2	1,26721	1,51985	1,97135	2,21204	1	1
	1,3219	1,56934	1,92132	2,16162	0,8	0,8
r_3	1,1455	1,46937	2,03907	2,34573	1	1
	1,21614	1,53062	1,9781	2,28032	0,8	0,8
r_4	0,88449	1,05281	1,37268	1,59121	1	1
	0,9211	1,08765	1,33113	1,5391	0,8	0,8
r_5	1,12357	1,35889	1,79505	2,0765	1	1
	1,174445	1,40475	1,7422	2,01001	0,8	0,8
r_6	0,94725	1,11418	1,4436	1,66318	1	1
	0,98303	1,14825	1,40417	1,61225	0,8	0,8
r_7	1,36643	1,64163	2,17325	2,53345	1	1
	1,42531	1,69596	2,10915	2,44701	0,8	0,8

r_8	1,38572	1,68144	2,23996	2,59668	1	1
	1,44864	1,74004	2,17184	2,51268	0,8	0,8
r_9	1,62667	2,00928	2,62542	2,93781	1	1
	1,71106	2,07925	2,55649	2,86915	0,8	0,8
r_{10}	0,8953	1,13717	1,58367	1,86554	1	1
	0,94848	1,18397	1,53246	1,80114	0,8	0,8
r_{11}	0,39985	0,46214	0,59977	0,70289	1	1
	0,41362	0,47744	0,58187	0,67966	0,8	0,8
r_{12}	0,45066	0,50767	0,63025	0,71751	1	1
	0,46272	0,52162	0,6126	0,69751	0,8	0,8

(Tablo 5'in devamı)

Çözümde toplamda on iki adet olan tüm diğer \tilde{r}_i değerleri hesaplanır, kriterlerle alternatiflerin öncelik değerleri olarak bilinen \tilde{p}_i aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\tilde{p}_1 = r_1 \otimes [r_1 \oplus r_2 \oplus r_3]^{-1}$$

$$p_1 = r_1 \times [(r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 + r_7 + r_8 + r_9 + r_{10} + r_{11} + r_{12})]^{-1}$$

$$=(0.91641,1.11539,1.48589,1.71075;\mathbf{1,1})(0.96005,1.15597,1.44233,1.66137;0.8,0.8)*[(0.91641,1.11539,1.48589,1.71075;1,1)(0.96005,1.15597,1.44233,1.66137;0.8,0.8)+(1.26721,1.51985,1.97135,2.21204;1,1)(1.3219,1.56934,1.92132,2.1662;0.8,0.8)+(1.1455,1.46937,2.03907,2.34573;1,1)(1.21614,1.53062,1.9781,2.28032;0.8,0.8)+...+(0.45066,0.50767,0.63025,0.71751;1,1)(0.46272,0.52162,0.6126,0.69751;0.8,0.8)]$$

$$=(0.07385,0.07401,0.07444,0.07453;\mathbf{1,1})(0.07393,0.07413,0.07441,0.0746;\mathbf{0.8,0.8})$$

Örnek olarak p_1 değerinin hesaplanması yukarıda verilmiştir, diğer p_i 'lerin sayısal değerleri ise tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: p_i Değerleri

p_1	0,07385	0,07401	0,07444	0,07453	1	1
	0,07393	0,07413	0,07441	0,0746	0,8	0,8
p_2	0,10212	0,10085	0,09877	0,09637	1	1
	0,10179	0,10063	1,09912	0,09706	0,8	0,8
p_3	0,09231	0,0975	0,10216	0,1022	1	1
	0,09365	0,09815	0,10205	0,10239	0,8	0,8
p_4	0,07128	0,06986	0,06877	0,6932	1	1
	0,07093	0,06974	0,06867	0,06911	0,8	0,8
p_5	0,09054	0,09017	0,08993	0,09047	1	1
	0,09044	0,09008	0,08988	0,09025	0,8	0,8
p_6	0,07634	0,07393	0,07233	0,07246	1	1
	0,0757	0,07363	0,07244	0,07239	0,8	0,8
p_7	0,11012	0,10893	0,10888	0,11037	1	1
	0,10975	0,10875	0,10881	0,10987	0,8	0,8
p_8	0,11167	0,11158	0,11222	0,011313	1	1
	0,11155	0, 11158	0,11204	0,11282	0,8	0,8

p₉	0,13109	0,13333	0,13153	0,12799	1	1
	1,13176	0,13333	0,13189	0,12882	0,8	0,8
p₁₀	0,07215	0,07546	0,07934	0,08128	1	1
	0,07304	0,07592	0,07906	0,08087	0,8	0,8
p₁₁	0,03222	0,03067	0,03005	0,03062	1	1
	0,03185	0,03062	0,03002	0,03052	0,8	0,8
p₁₂	0,03632	0,03369	0,03158	0,03126	1	1
	0,03563	0,03345	0,0316	0,03132	0,8	0,8

(Tablo 6'nın devamı)

Amaç altında kriterlerin öncelik değerleri şu şekilde bulunmuştur:

0,12 0,16 0,28 0,37 1 1 0,13 0,17 0,26 0,35 0,8 0,8

Öncelik değerleri hesaplanarak alternatiflerin yerel ağırlıkları bulunur. Alternatiflere ait yerel ağırlık değerleri, her bir alternatifin öncelik değeri ve ilgili kriterin ağırlıkları çarpılarak hesaplanır.

Sonuç olarak alternatiflere ait son (global) ağırlık değerleri tablo 7'de gösterildiği gibidir:

Tablo 7: Alternatiflerin Son Ağırlık Değerleri

		Ağırlıklar	Normalize Ağırlıklar
0,07421	0,06684	0,07052	0,07424
0,09953	0,08966	0,09459	0,09957
0,09854	0,08905	0,0938	0,09873
0,06981	0,06269	0,06625	0,06974
0,09028	0,08116	0,08572	0,09023
0,07376	0,06624	0,07	0,07368
0,10958	0,09842	0,104	0,10947
0,11215	0,10082	0,10648	0,11209
0,13099	0,11819	0,12459	0,13114
0,07706	0,06947	0,07326	0,07712
0,03089	0,02772	0,0293	0,03085
0,03321	0,02975	0,03148	0,03314
		0,95	1

Tablo 7'deki bir değerın hesaplanması örnek olarak verilerek bu değerlere nasıl ulaşıldığı gösterilmiştir:

p1	0,07385	0,07401	0,07444	0,07453	1	1
	0,07393	0,07413	0,07441	0,0746	0,8	0,8

$$0,07421 = \frac{(0,07453 - 0,07385) + (1 \times 0,07401 - 0,07385) + (0,07444 - 0,07385)}{4} + 0,07385$$

$$0,06684 = \frac{(0,0746 - 0,07393) + (0,8 \times 0,07413 - 0,07393) + (0,8 \times 0,07441 - 0,07393)}{4} + 0,07393$$

$$0,07052 = \left(\frac{0,07421}{2} \right) + \left(\frac{0,06684}{2} \right)$$

$$0,07424 = \left(\frac{0,07052}{0,95} \right)$$

Aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi sonucuna göre kriter ağırlıkları yukarıdaki gibi bulunmuş ve bu değerler tereddütlü bulanık Topsis yöntemi uygulaması yapılırken kullanılmış ve en iyi alternatif seçimi yapılmıştır.

4.2. Tereddütlü Bulanık Topsis Yönteminin Uygulaması Ve Uygulama Sonuçları

Aralık tip-2 bulanık AHP yöntemiyle ağırlıklar bulunduktan sonra tereddütlü bulanık Topsis yöntemi uygulanarak en iyi alternatif seçimi yapılır ve alternatifler önceliklendirilir. İlk olarak anketlerle elde edilen uzman görüşleri birleştirilir.

Tablo 8: Tereddütlü Bulanık Karar Matrisi

C₁	C₂	C₃
A₁ 0,1 0,2 0,5 0,7	A₁ 0,2 0,3 0,4 0,7 0,8 0,9	A₁ 0,1 0,2 0,4 0,6 0,7 0,9
A₂ 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6	A₂ 0,3 0,4 0,5 0,6	A₂ 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8
A₃ 0,1 0,2 0,5 0,6 0,8	A₃ 0,2 0,3 0,4 0,6 0,8	A₃ 0,5 0,6 0,7 0,8
A₄ 0,2 0,3 0,4 0,7	A₄ 0,1 0,2 0,3 0,5	A₄ 0,1 0,2 0,5 0,6 0,7 0,8
C₄	C₅	C₆
A₁ 0,1 0,2 0,8 0,9	A₁ 0,3 0,5 0,6 0,9	A₁ 0,3 0,8 0,9
A₂ 0,6 0,7 0,8 0,9	A₂ 0,3 0,7 0,8 0,9	A₂ 0,7 0,8 0,9
A₃ 0,4 0,5 0,8 0,9	A₃ 0,5 0,6 0,8 0,9	A₃ 0,6 0,8 0,9
A₄ 0,4 0,5 0,8 0,9	A₄ 0,5 0,6 0,7 0,9	A₄ 0,4 0,8 0,9

C₇				C₈				C₉			
A₁	0,1	0,7	0,8	A₁	0,4	0,5	0,8	A₁	0,3 0,8	0,4 0,9	0,6
A₂	0,2 0,8	0,3	0,7	A₂	0,4 0,8	0,6	0,7	A₂	0,6 0,9	0,7	0,8
A₃	0,4 0,8	0,6	0,7	A₃	0,6	0,7	0,8	A₃	0,4 0,8	0,5 0,9	0,7
A₄	0,3 0,8	0,6	0,7	A₄	0,4 0,8	0,5	0,6	A₄	0,5 0,9	0,6	0,8
C₁₀				C₁₁				C₁₂			
A₁	0,5 0,9	0,6	0,8	A₁	0,1	0,2		A₁	0,1 0,8	0,2	0,3
A₂	0,5 0,8	0,6	0,7	A₂	0,2	0,3		A₂	0,1	0,2	0,8
A₃	0,2 0,6	0,3 0,7	0,5 0,8	A₃	0,1 0,9	0,2	0,5	A₃	0,1	0,2	0,8
A₄	0,3	0,5	0,8	A₄	0,2 0,5	0,3	0,4	A₄	0,1	0,2	0,7

(Tablo 8'in devamı)

Tereddütlü bulanık Topsis yönteminde öncelikle pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur. Bu nedenle tüm kriterlerin en fazla ile en düşük üyelik değerler bulunur. Örneğin, C_{11} için maksimum değer 0.1 ve minimum değer 0,8'dir. Burada maksimum ve minimum değerlerinin tam tersi değerler almasının sebebi birinci kriter olan kurulum ve işletim kolaylığının maksimum değerinin en küçük değeri ifade etmesi, minimum değerinin ise en büyük değeri ifade etmesidir. Dolayısıyla, A^* ve A^- değerleri aşağıda verilen şekilde elde edilmiştir. (Onar vd., 2014)

$$A^* = (0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.3,0.9,0.8,0.4,0.3,0.2,0.9,0.8)$$

$$A^- = (0.8,0.9,0.9,0.9,0.9,0.3,0.1,0.8,0.9,0.9,0.1,0.1)$$

Daha sonra, her alternatifin ideal çözüm aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır: (Onar vd.,2014)

$$D_1^+ = 0,07424 \times \|\{0.1,0.2,0.5,0.7\} - \{0.1\}\| + 0,09957 \times \|\{0.2,0.3,0.4,0.7,0.8,0.9\} - \{0.1\}\| + \dots + 0,03314 \times \|\{0.1,0.2,0.3,0.8\} - \{0.8\}\|$$

İki HFS arasındaki mesafeyi bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır: (Onar vd., 2014)

$$\|h_1 - h_2\| = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l |h_{1\sigma(j)} - h_{2\sigma(j)}|$$

İlk olarak yukarıdaki formülde uzaklık değeri şöyle hesaplanır: (Onar vd., 2014)

$$d_1(h_1, h_2) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l |h_{1\sigma(i)} - h_{2\sigma(i)}|$$

$$\begin{aligned} & \|\{0.1,0.2,0.5,0.7\} - \{0.1\}\| \\ &= 1/4 [|0.1- 0.1| + |0.2- 0.1| + |0.5- 0.1| + |0.7-0.1|] \\ &= 1/4[0+0.1+0.4+0.6] \\ &= 0,275 \end{aligned}$$

Aynı formül kullanılarak, hem D^+ hem de D^- hesaplanır. (ancak aradaki tek fark D^- değeri hesaplanırken D^+ değerinin aksine her bir kriterdeki matrislerin minimum değerinin kullanılmasıdır.) ve aşağıdaki tabloda da bulunan sonuçlar verilmiştir. (Onar vd., 2014)

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

Sonunda bağıl yakınlık değerleri, her alternatif için yukarıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır: (Onar vd., 2014)

$$C_1 = \frac{0,33}{0,3368 + 0,33} = 0,4949$$

Tereddütlü bulanık Topsis yönteminin uygulanarak tablo 9'daki sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 9: Tereddütlü Bulanık Topsis Yöntemi Sonuçları

SONUÇLAR ALTERNATİFLER	D ⁺	D ⁻	C _i	RANK
A ₁	0,3368	0,33	0,4949	2
A ₂	0,3755	0,2913	0,4368	4
A ₃	0,3531	0,3137	0,4704	3
A ₄	0,3166	0,3502	0,5252	1
<p>SIRALAMA A₄>A₁>A₃>A₂</p>				

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda artan maliyet ve fosil yakıtların hem tükenebilir olması hem de çevreyi kirletmesi gibi nedenlerle, firmalar bu rekabetçi enerji sektöründe avantaj elde edebilmek ve ayakta kalabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına gereksinim duyarlar. Yenilenebilir enerji kaynakları maliyetleri düşürebilmek, müşteri memnuniyet düzeyini artırmak gibi nedenlerle işletmeler için bu gibi faydaları elde etmek için tercih edilen sektörlerden biridir. Evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi yapılırken karar vericilerin çelişkili düşüncelerinden etkilenmektedir ve bu tür

problemlerin çözümünde bulanık küme teorisinden faydalanılmaktadır. Tip-1 bulanık kümelerde tip-1 ile ilgili olarak çok fazla aritmetik işleme ihtiyaç duyulur ancak tip-2 bulanık kümeler tip-1 bulanık küme ve sistemlerini genel olarak ifade eder, böylelikle üyelik fonksiyonlarını tanımlamak için daha fazla belirsizlik kullanılabilir. Tip-2 bulanık kümeler, üyelik fonksiyonlarındaki belirsizliği bulanık küme teorisine göre ifade etmeyi sağlar. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), eş zamanlı çeşitli ve çelişkili kriterleri dikkate alan ve yaygın olarak kullanılan bir çok kriterli yöntemdir.(Kahraman vd., 2014) Amaç, tip-2 bulanık AHP yöntemi ve tereddütlü bulanık Topsis yöntemlerini birlikte kullanarak evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi yapmak ve alternatif enerji kaynaklarını önceliklendirilmesini yapmaktır.

Çalışmada, uzman görüşlerinin içerdiği ifadeleri açıkça gösterebilmek tip-1 bulanık kümeler yerine onlardan daha kapsamlı ve gelişmiş bir yöntem olan tip-2 bulanık kümeler tercih edilmiştir.

Çalışmada, en iyi evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için on iki kriter ve dört alternatif ile Buckley'in aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi tercih edilmiştir. Öncelikle alanında uzman kişilerle araştırma grubu oluşturulmuş ve bu oluşturulan gruptaki uzmanların görüşleri aralık tip-2 bulanık sayılar kullanılarak belirlenmiştir. Ardından en iyi alternatif tespiti yapmak amacıyla aralık tip-2 bulanık AHP yöntemi ile evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçim problemi için kriter ağırlıkları belirlenmiş, sonrasında ise tereddütlü bulanık Topsis yöntemi kullanılarak yapılan uygulama sonucunda alternatif sıralamaları alternatiflerin sıralamaları $A_4 > A_1 > A_3 > A_2$ olarak bulunmuştur. Yani sonuçta seçilecek en iyi alternatif hibrit (rüzgar+güneş) enerjisi sistemleridir. Onu sırasıyla güneş enerjisi sistemleri, rüzgar enerjisi sistemleri ve mikrohidro-power sistemler izler.

Bu tez çalışması, aralık tip-2 bulanık sayılarla tereddütlü bulanık Topsis yöntemi birlikte kullanılarak evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçimi yapılan en yeni çalışmalardan olacaktır. Uygulama sonucunda aralık tip-2 bulanık AHP yöntemiyle tereddütlü bulanık Topsis yöntemleri adım adım uygulanmıştır ve yapılan işlemler bulunan değerler tablolarla ifade edilerek açıklanmıştır. İlerleyen yıllarda yapılacak olan çalışmalarda da aralık tip-2 bulanık AHP ile tereddütlü bulanık topsis yöntemleri birlikte kullanılabilir. Ayrıca bu tez çalışmasında, son yılların en önemli problemlerinden olan yenilenebilir enerji problemini evsel yenilenebilir enerji bazında Orta Anadolu bölümü genelinde ele alındı. Belirlenen on iki kriter

doğrultusunda dört yenilenebilir enerji alternatifleri arasındaki en uygun seçim sıralamasını bulmak hedeflendi. İlerleyen yıllarda ise evsel yenilenebilir enerji kaynağı seçim ve önceliklendirme problemi Türkiye genelinde incelenebilir.



6. KAYNAKLAR

<https://elektrik-sepeti.com/tuketici-sozlugu/yenilenebilir-enerji>, erişim tarihi 14.07.2019

www.gunespanelienerjisi.com/yenilenebilir-enerji-seceenekleri, erişim tarihi 14.07.2019

www.3de3enerji.com/?pnum=23&pt=Hibrit+Enerji+Sistemi+Nedir, erişim tarihi 14.07.2019

Türkiye Rüzgar Atlası: <http://www.dmi.gov.tr/2019/arastirma/arastirma-arastirma.aspx?subPg=107&Ext=htm>, erişim tarihi: 14.07.2019

<https://bulanikmantikbmc.blogspot.com/p/bulanik-mantk-uygulama-ornekleri.html>, erişim tarihi: 14.07.2019

<https://www.forumdas.org/> erişim tarihi: 22.11.2019

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, www.eie.gov.tr/turkce/yek/hes/proje/turkeyhydro.doc, 2012, erişim tarihi: 22.11.2019

Zadeh, L.A., “Bulanık Kısıtlamalar Tablosu. In: Zadeh, LA, King-Sun, FU, Tanaka, K. ve Shimura, M., Eds.”, Bulanık Kümeler ve Bilişsel ve Karar Verme Süreçlerine Uygulamaları, Academic Press, New York, 1-40., 1975.

JJ Buckley, “Bulanık sayılarla sıralama alternatifleri”, Bulanık Küme Sistemleri Vol. 15 (1), sayfa 21-31, 1985.

Terano, T. ve Asai, K. ve Sugeno, M., “Bulanık Sistemler Teorisi ve Uygulamaları, Akademik Basın A.Ş., San Diego.,1997.

Lootsma F., “Planlama ve Karar Verme İçin Bulanık Mantık”, Kluwer Akademik Yayıncılar, Dordrecht, 1997.

Triantaphyllou E., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Çalışma, Kluwer Akademik Yayıncılar, Dordrecht, 2000.

Chen, C.T., “Dağıtım Merkezinin Yerini Seçmek İçin Bulanık Bir Yaklaşım”, Bulanık Kümeler ve Sistemler, 114, 1-9,2000.

Chou, T.S, Liang G.S., “Bulanık Bir Uygulama,Çok Kriterli Karar Verme Modeli Gemicilik Şirketi Performans Değerlendirmesi ”,Denizcilik Politikası ve Yönetimi, 28 (4), 375-392, 2001.

Yaralıoğlu K., “Altın Aralık”, Yönetim ve Ekonomi, Cilt:10 Say :2 ,Celal Bayar Üniversitesi, İ.İ.B.F. ,Manisa, 2003.

Kulözü N., “Yenilenebilir Enerji Politikaları Fransa Örneği”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü ODTÜ,Ankara nkulozu@arch.metu.edu.tr, 2003.

Turan, S., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, Konya Ticaret Odası Dergisi-Web erişim,19.07.2019,www.kto.org.tr/tr/dergi/dergiyazioku.asp?yno=700&ano=61, 2006.

Çitli N., “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi, 2006.

Mendel, Jerry M .; John, Robert I. ve Liu, Feilong, “ Aralık Tip-2 Bulanık Mantık Sistemlerin Basitleştirilmesi”, IEEE Bulanık Sistemlerde İşlemler, 14 (6), 808-821., 2006.

Bozkurt A.U., “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi Ve Endüstri İşletmeciliği Programı Yüksek Lisans Tezi, 2008.

Ertuğrul Ö.F., Bahattin Kurt M.B., ”Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına İlişkin Güneydoğu Anadolunun Değerlendirilmesi, 2009.

Torra, V., “Tereddütlü bulanık kümeler”, Uluslararası Akıllı Sistemler Dergisi”,25, sayfa , 529-539, 2010.

Chen, Shyi-Ming ve Lee, Li-Wei, "Bulanık çoklu özelliklerin sıralama değerlerine dayalı grup karar verme ve Aralık Tip-2 bulanık kümelerin aritmetik işlemleri", *Uygulamalı Uzman Sistemler*, 37 (1), 824-833, 2010.

Chen, Shyi-Ming ve Lee, Li-Wei, "Topsis yöntemiyle bulanık çoklu tip-2 aralığına dayalı grup karar vermenin nitelendirilmesi, Uygulamaya sahip uzman sistemler, 37 (4), 2790-2798., 2010.

Xu, Z.S., and Xia, M.M., "Tereddütlü bulanık kümeler için uzaklık ve benzerlik önlemleri", *Bilgi Bilimleri*, 181, 2128-2138, 2011.

Xia, M.M., and Xu, Z.S., "Karar vermede tereddütlü bulanık bilgi toplama", *Uluslararası Yaklaşık Sebep Dergisi*, 52, 395-407, 2011.

Kaya, T. Kahraman, C., "Değiştirilmiş Bulanık TOPSIS Metodolojisi Kullanarak Enerji Planlamasında Çok Kriterli Karar Verme", *Uygulamalara Sahip Uzman Sistemler*, 38, 6577- 6585, 2011.

Uysal, F., "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçimi İçin Graf Teori Ve Matris Yaklaşım" İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 13, 23- 40, 2011.

Öcal vd., "Doğal gaz enerji tüketimi, sermaye ve ekonomik büyüme arasındaki ilişki: G-7 ülkelerinden önyükleme düzeltmeli nedensellik testleri", *Cilt:16, Sayı:5, Sayfalar:2361-2365, Pergamon*, 2012.

Akkaptan A., "Hayvancılıkta Bulanık Mantık Tabanlı Karar Destek Sistemi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), 2012

Ertay, T., Kahraman, C., Kaya, İ., "Macbeth ve Bulanık Ahp Çok Kriterli Yöntemlerle Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği", *Ekonominin Teknolojik ve Ekonomik Gelişimi*, 19, 1 38-62, 2013.

Zhang, N., and Wei, G., "Kararsız sorunlu karar vermede VIKOR yönteminin tereddütlü bulanık kümeyle dayalı olarak genişletilmesi", *Uygulamalı Matematik Modelleme*, 37, 4938-4947, 2013.

Aruldoss M., T. Lakshmi M., Venkatesan V.P., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulamaları Üzerine Bir Araştırma”, Amerikan Bilgi Sistemleri Dergisi, Cilt 1, No:1, 31-43, 2013.

Xu, Z. ve Zhang, X., “Eksik ağırlık bilgisi olan Bilgi Tabanlı Sistemler’de TOPSIS’e dayanan kararsız çok amaçlı karar verme “ ,52 ,53-64, 2013.

BEKTAŞ B., “İklimsel Verilerinin Farklı Derece Gün Bölgeleri İçin Uygunluğunun Değerlendirilmesi”, Vol:30, No:2, 2013.

Kahraman C., Öztaysi B., Uçal Sarı İ., Turanoğlu E., “Aralık tipi-2 bulanık kümelerle bulanık analitik hiyerarşi süreci”, Cilt 59, Mart 2014, Sayfa 48-57,2014.

Onar, S.C., Oztaysi, B., Otay, İ, Kahraman, C., “Aralıklı değerli sezgisel bulanık kümeleri kullanarak çok uzmanlı rüzgar enerjisi teknolojisi seçimi”, Enerji, 74-285, 2015.

Erdoğan M., Kaya, I., “Türkiye'deki Enerji Alternatifleri Arasında Seçim İçin Tip-2 Bulanık Kümelere Dayalı Entegre Çok Kriterli Karar Verme Metodolojisi”, İran Bulanık Sistemler Dergisi”,12, 1, 1-25, 2015.

Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., Şengül, A.B., “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tedarik Sistemlerini Sıralamada Bulanık TOPSIS Yöntemi ”, Yenilenebilir Enerji, 75, 617- 625, 2015.

Kahraman, C., Onar, S.C., Oztaysi, B.,“ Aralıklı Değerli Sezgisel Bulanık Fayda/Maliyet Analizi İle Rüzgar Enerjisi Yatırım Alternatiflerinin Karşılaştırılması”, Sürdürülebilirlik, 8 (118): 2-18,2016.

Sağır, H.,Doğanalp, B., “Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi”, Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari, 11, 2016.

Onurbaş Avcıoğlu, A. ve Dayıoğlu, M.A.,”Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri”, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1637, Ders Kitabı: 588, Ankara, 2016.

Özcan, E.C., Özcan, N.A., Eren, T., “CSP Teknolojisine Sahip Güneş Enerjisi Santrallerinin Kombine ANP-PROMETHEE Yaklaşımı ile Seçimi”, Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1, 1, 18-44, 2017.

Özcan, E.C., Ünlüsoy S., Eren, T., “ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi”, SUJEST, 5, 2, 204- 219, 2017.

Damgacı, E., Boran, K., Boran, F.E., “Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi Kullanarak Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi”, Politeknik Dergisi,; 20, 3,629-637, 2017.

Arıkan Kargı, S., Aydın, Z.B., “Bulanık AHP Yönteminin Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçiminde Kullanılması: Bursa Örneği”, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5, 55, 60-74,Ekim 2017.

Büyüközkan, G., Güleriyüz, S., “Dilsel Aralıklı Bulanık Tercih İlişkileri ile Bütünleşik Bir MCDM Yaklaşımı Kullanılarak Türkiye'deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi”, Enerji, 123,143-163, 2017.

Büyüközkan, G., Karabulut, Y., “Sürdürülebilirlik Perspektifiyle Enerji Projesi Performans Değerlendirmesi ”,Enerji, 119, 549-560, 2017.

Ervural, B.C., Zaim, S., Demirel, O.F., Aydın, Z., Delen, D., “Türkiye'nin Enerji Planlaması için ANP ve Bulanık TOPSIS Tabanlı SWOT Analizi”, Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri, 82,1538- 1550,2018.

Çalık vd. ”Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi ile Üçüncü Parti Tersine Lojistik (3PTL) Firma Seçimi, Selçuk Üniversitesi Cilt 20, Sayı 1 ,Nisan 2017 Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi (e-ISSN: 2564-7458),2017.

Öztürk vd., “Aralık Tip-2 Bulanık Kural Tabanlı Sistemlerin Tedarikçi Seçiminde Kullanımının Önemi Üzerine Bir Araştırma”, Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi, Cilt:10 – Sayı-2)– 1,2017.

H.N. ve Güllü M., “Türkiye’de TOPSİS Yöntemiyle Evlerde Güneş Enerjisinden Enerji Üretiminin Analizi”, 2018.

Çalık A., “Bulanık Çok-Amaçlı Doğrusal Programlama ve Aralık Tip-2 Bulanık AHP Yöntemi ile Yeşil Tedarikçi Seçimi”, Selçuk Ün. Sos. Bil. Ens. Der.; (39): 96-109 - Lojistik Yönetimi / Araştırma, 2018.

Şimşek E., “Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hibrit Otomobillerin Seçimine Yönelik Bir Modelin Geliştirilmesi”, 2018.

Çalık A., “Yüklenici Değerlendirme Sürecinde Aralıklı Tip-2 Bulanık Topsis Yöntemi Uygulaması: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde (Kobi’ler) Bir Örnek Olay Çalışması”, İğd. Üniv. Sos. Bil. Der./Sayı-No. 18, Nisan-2019 Makale, 481-501, 2018.

Akçay M. “AHP-TOPSIS Hibrit Yöntemi İle Türkiye’de Güneş Enerjisi Santrali İçin Yer Seçimi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

EKLER



EK-1

KV2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	E	OG	ÇG	ÇG	BG	E	BG	BG	ÇG	BG	ÇG	KG
C2	1/OG	E	BG	ÇG	BG	ÇG	ÇG	KG	ÇG	KG	BG	KG
C3	1/ÇG	BG	E	OG	OG	OG	OG	OG	BG	BG	OG	KG
C4	1/OG	1/ÇG	1/ÇG	E	OG	ÇG	E	ÇG	E	ÇG	ÇG	ÇG
C5	BG	BG	OG	OG	E	ÇG	ÇG	ÇG	E	E	ÇG	ÇG
C6	E	ÇG	OG	ÇG	ÇG	E	E	E	ÇG	ÇG	ÇG	E
C7	1/BG	ÇG	OG	E	ÇG	E	E	E	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG
C8	1/BG	KG	OG	ÇG	ÇG	E	E	E	OG	ÇG	ÇG	ÇG
C9	ÇG	ÇG	BG	E	E	ÇG	ÇG	OG	E	ÇG	ÇG	ÇG
C10	BG	KG	BG	ÇG	E	ÇG	ÇG	ÇG	OG	E	E	ÇG
C11	ÇG	BG	OG	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	OG	E	E	ÇG
C12	1/KG	1/KG	1/KG	1/ÇG	1/ÇG	E	1/ÇG	1/ÇG	1/ÇG	1/ÇG	1/ÇG	E

EK-2

KV3	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	E	BG	1/OG	E	1/OG	1/KG	1/KG	1/KG	1/OG	1/ÇG	OG	ÇG
C2	BG	E	E	E	E	1/OG	1/ÇG	1/KG	1/OG	BG	OG	OG
C3	OG	E	E	BG	E	E	BG	1/OG	BG	1/OG	BG	OG
C4	E	E	BG	E	BG	1/ÇG	1/KG	1/KG	BG	BG	BG	BG
C5	OG	E	E	OG	E	E	BG	1/OG	E	BG	BG	BG
C6	KG	OG	E	ÇG	E	E	E	1/OG	BG	BG	OG	OG
C7	KG	ÇG	BG	KG	BG	E	E	E	BG	BG	ÇG	ÇG
C8	KG	KG	OG	KG	OG	OG	E	E	BG	BG	ÇG	ÇG
C9	OG	OG	BG	BG	E	BG	BG	BG	E	E	BG	BG
C10	ÇG	BG	OG	BG	BG	BG	BG	BG	E	E	OG	OG
C11	1/OG	1/OG	BG	BG	BG	1/OG	1/OG	1/ÇG	BG	1/OG	E	1/OG
C12	1/ÇG	1/OG	1/OG	BG	BG	1/OG	1/OG	1/ÇG	BG	1/OG	E	E

