

Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşı Süreci Kullanılarak Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji
Planlaması

Zeynep Özgün

DOKTORA TEZİ

İstatistik Anabilim Dalı

Mayıs 2021

Sustainable Energy Planning in Turkey Using the Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy
Process

Zeynep Özgün

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Statistics

May 2021

Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşı Süreci Kullanılarak Türkiye’de Sürdürülebilir
Enerji Planlaması

Zeynep Özgün

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İstatistik Anabilim Dalı
Uygulamalı İstatistik Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Zeynep Filiz
İkinci Danışman: Prof. Dr. Sevil Şentürk

Mayıs 2021

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Zeynep Filiz danışmanlığında hazırlamış olduğum “Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Planlaması” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim.

Tez çalışmamda uzmanlarla veri toplamak amacıyla yaptığım görüşmeleri, ESOGÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu’ndan E-53893652-050.01.01-74923 sayılı kararına göre gerçekleştirdiğimi beyan ederim. 06/05/2021

Zeynep ÖZGÜN

ÖZET

Günümüzde enerji olmadan hayatımızı sürdürmemiz neredeyse imkânsızdır. Dünyada enerji üretiminde kullanılan petrol, doğalgaz, kömür gibi sınırlı kaynakların yakın gelecekte tükeneceği düşünülmekte ve bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi günden güne artmaktadır. Sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi birinci petrol krizinin ardından çok daha önemli bir hale gelmiş ve ülkeler alternatif enerji kaynakları arayışı içine girmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının güneş, rüzgâr ve su gibi doğada sürekli var olan kaynaklardan elde edilmesi ve sürekli yenilenebilmesi, ayrıca çevre kirliliğine çok az etkisi olması ve dışa bağımlılığı azaltması nedeniyle oldukça önemlidir. Türkiye, konumu ve coğrafyası itibarıyla yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksek bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada, Türkiye’de sürdürülebilir enerji planlamasında, yenilenebilir enerji kaynağının seçiminde kullanılan, Çok Kriterli Karar Verme modellerinden biri olan, Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PFAHP) önerilmiştir. Bu model ile alternatiflerin ağırlıkları hesaplanarak Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama (PFTOPSIS) ve Pisagor Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma (PFVIKOR) yöntemleri ile alternatiflerin sıralaması yapılmış ve alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygunu belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada, sürdürülebilir enerji kaynaklarından Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Su Enerjisi, Jeotermal Enerji ve Biyokütle Enerjisi olmak üzere 5 adet alternatif enerji kaynağı dikkate alınmıştır. Enerji alanında uzman kişiler ile görüşme yapılarak veriler toplanmış ve çözümler elde edilmiştir. Önerilen modele göre Türkiye’de en uygun yenilenebilir enerji kaynağı güneş olarak bulunmuştur. İkinci en uygun alternatif yenilenebilir enerji kaynağı ise rüzgâr olarak bulunmuştur. Buna ek olarak yapılan duyarlılık analizine göre modelin kararlı bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi, Sürdürülebilirlik, Çok Kriterli Karar Verme, Pisagor Bulanık Kümeler, PFAHP, PFTOPSIS, PFVIKOR

SUMMARY

Today, without energy, it's almost impossible for us to live our lives. Limited resources such as oil, natural gas, coal used in energy production in the world are thought to be exhausted in the near future, and therefore the importance of renewable energy sources is increasing day by day. The interest in sustainability and renewable energy sources has become much more important after the first oil crisis, and countries are looking for alternative energy sources. Renewable energy sources are very important because of the constant availability and renewal of solar, wind and water from sources in nature, as well as having little impact on environmental pollution and reducing dependence on outsiders. Turkey has a high potential for renewable energy sources as of its location and geography.

In this study, the Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process (PFAHP), one of the Multi-Criteria Decision-Making models used in the selection of renewable energy sources, has been proposed in Turkey's sustainable energy planning. This model has been used to calculate the weights of alternatives and to sort the alternatives using PFTOPSIS (Pythagorean Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) and PFVIKOR (Pythagorean Fuzzy Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) methods and to determine the most appropriate of alternative renewable energy sources. In the study, five alternative energy sources, including wind energy, solar energy, water energy, geothermal energy and biomass energy, were taken into account from sustainable energy sources. The data has been collected and solutions have been obtained by interviewing energy experts. According to the proposed model, the most suitable renewable energy source in Turkey has been found as the sun. The second most suitable alternative renewable energy source was found as wind. In addition, the sensitivity analysis determined that the model has a stable structure.

Keywords: Renewable Energy Source Selection, Sustainability, Multi-Criteria Decision-Making, Pythagorean Fuzzy Sets, PFAHP, PFTOPSIS, PFVIKOR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	8
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE SEÇİM KRİTERLERİ	13
3.1. Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Enerji Planlaması	13
3.2. Yenilenebilir Enerji.....	15
3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi	16
3.4. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Maliyeti ve Uygulaması	16
3.5. Türkiye’ de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Enerji Üretimi	17
3.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	22
3.6.1. Güneş enerjisi	22
3.6.2. Rüzgâr enerjisi.....	24
3.6.3. Hidroelektrik enerjisi.....	26
3.6.4. Jeotermal enerjisi.....	27
3.6.5. Biyokütle enerjisi	28
3.6.6. Hidrojen enerjisi.....	30
3.6.7. Dalga enerjisi.....	31
3.6.8. Gelgit enerjisi	32

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.7. Yenilenebilir Enerji Seçim Kriterleri	33
3.7.1. Teknolojik ana kriteri (C1).....	33
3.7.1.1. <u>Fizibilite (C11)</u>	33
3.7.1.2. <u>Risk (C12)</u>	33
3.7.1.3. <u>Güvenilirlik (C13)</u>	34
3.7.1.4. <u>Hazırlık safhası süresi (C14)</u>	34
3.7.1.5. <u>Uygulama aşaması süresi (C15)</u>	34
3.7.1.6. <u>Süreklilik ve performansın tahmin edilebilirliği (C16)</u>	34
3.7.1.7. <u>Yerel teknik uzmanlık bilgi (C17)</u>	34
3.7.2. Çevresel ana kriteri (C2)	35
3.7.2.1. <u>Arazi gereksinimleri (C21)</u>	35
3.7.2.2. <u>Atıkların yok edilmesi ihtiyacı (C22)</u>	35
3.7.2.3. <u>Kirlilik (Kirlenici emisyon / Su kirliliği / Toprak parçalanması)</u> <u>(C23)</u>	35
3.7.3. Ekonomik ana kriteri (C3).....	35
3.7.3.1. <u>İşletme, uygulama ve bakım masrafları maliyeti (C31)</u>	36
3.7.3.2. <u>Yatırım maliyeti (C32)</u>	36
3.7.3.3. <u>Ekonomik değeri (C33)</u>	36
3.7.3.4. <u>Yerel ve bölgesel ekonomik kalkınma (C34)</u>	36
3.7.3.5. <u>Enerji kaynağının güvenliği (C35)</u>	37
3.7.3.6. <u>Enerji kaynağının sürdürülebilirliği (C36)</u>	37
3.7.3.7. <u>Kaynakların dayanıklılığı (C37)</u>	37

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.7.4. Sosyopolitik ana kriteri (C4)	37
3.7.4.1. <u>Ulusal enerji politikası hedefleriyle uyumluluk (C41)</u>	38
3.7.4.2. <u>Politik kabul edilebilirlik (C42)</u>	38
3.7.4.3. <u>Sosyal kabul görme (C43)</u>	38
3.7.4.4. <u>İşgücü etkisi (C44)</u>	38
3.7.4.5. <u>İş imkânları (C45)</u>	38
3.7.5. Teknik ana kriteri (C5).....	38
3.7.5.1. <u>Verimlilik (C51)</u>	39
3.7.5.2. <u>Ekserji verimliliği-enerjinin kullanılabilir hale getirilen kısmının yeterliliği (C52)</u>	39
3.7.5.3. <u>Teknoloji ve işletme güvenilirliği (C53)</u>	39
3.7.5.4. <u>Teknolojik olgunluk (C54)</u>	39
3.7.5.5. <u>Kaynağa erişim kolaylığı (C55)</u>	40
4. MATERYAL VE YÖNTEM	41
4.1. Materyal	43
4.2. Yöntem.....	45
4.2.1. Pisagor Bulanık Kümeler	46
4.2.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PFAHP).....	50
4.2.3. Alternatiflerin sıralanması.....	53
4.2.3.1. <u>Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama Metodu (PFTOPSIS)</u>	53

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

4.2.3.2. <u>Pisagor Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Metodu</u>	
<u>(PFVIKOR)</u>	56
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
5.1. Türkiye'de Sürdürülebilir Enerji Planlaması.....	59
5.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecinin Çözümlemesi.....	59
5.3. Duyarlılık Analizi	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR DİZİNİ	95
EK AÇIKLAMALAR	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. 2020 yılı kurulu gücünün yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı	17
3.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin kurulu güç gelişimi.....	18
3.3. Yenilenebilir enerji kurulu güç gelişimi	19
3.4. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarlarının toplam üretime katkısı	19
3.5. 2020 yılı lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (%)	21
3.6. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)	24
3.7. Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)	25
3.8. Türkiye'nin jeotermal kaynakları dağılımı	28
3.9. Türkiye'nin biyokütle potansiyeli	29
4.1. Türkiye'de en uygun sürdürülebilir enerji kaynağı seçimi	44
4.2. Pisagor ve Sezgisel üyelik derecelerinin karşılaştırılması	49
4.3. Karşılaştırma matrisi	52
5.1. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması	63
5.2. RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	63
5.3. Referans noktasına olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması	65
5.4. Senaryo 1 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	66
5.5. Senaryo 1 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	68
5.6. Senaryo 2 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	68
5.7. Senaryo 2 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	70
5.8. Senaryo 3 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	70
5.9. Senaryo 3 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	72
5.10. Senaryo 4 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	72
5.11. Senaryo 4 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	74
5.12. Senaryo 5 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	74
5.13. Senaryo 5 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	76
5.14. Senaryo 6 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	76
5.15. Senaryo 6 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	78

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.16. Senaryo 7 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	78
5.17. Senaryo 7 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	80
5.18. Senaryo 8 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	80
5.19. Senaryo 8 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	82
5.20. Senaryo 9 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	82
5.21. Senaryo 9 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	84
5.22. Senaryo 10 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	84
5.23. Senaryo 10 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması	86
5.24. Senaryo 11 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyet ve uygulama açısından karşılaştırılması.....	17
3.2. Yenilenebilir kaynaklı kurulu gücün Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payının yıllar itibarıyla gelişimi	20
3.3. Eylül 2020 sonu itibarıyla lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre kurulu güç miktarları.....	21
4.1. Önerilen modelin akış şeması.....	42
4.2. Karar vericilerin uzmanlık bilgileri	43
4.3. Dilsel değişkenlerin önem dereceleri ve PFN karşılıkları	47
5.1. Ana kriterlerin pisagor bulanık ağırlıkları	59
5.2. Ana kriterlerin önem ağırlıkları	60
5.3. Alt kriter ağırlıkları.....	60
5.4. Alternatiflerin ağırlıkları.....	61
5.5. Pisagor bulanık karar matrisi	62
5.6. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	62
5.7. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan Si, Ri ve Qi değerleri	64
5.8. Si, Ri ve Qi değerlerinin küçükten büyüğe sıralaması	64
5.9. Senaryo 1 Si, Ri ve Qi değerleri	67
5.10. Senaryo 1 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	67
5.11. Senaryo 2 Si, Ri ve Qi değerleri	69
5.12. Senaryo 2 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	69
5.13. Senaryo 3 Si, Ri ve Qi değerleri	71
5.14. Senaryo 3 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	71
5.15. Senaryo 4 Si, Ri ve Qi değerleri	73
5.16. Senaryo 4 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	73
5.17. Senaryo 5 Si, Ri ve Qi değerleri	75
5.18. Senaryo 5 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	75
5.19. Senaryo 6 Si, Ri ve Qi değerleri	77
5.20. Senaryo 6 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	77

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.21. Senaryo 7 Si, Ri ve Qi değerleri	79
5.22. Senaryo 7 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	79
5.23. Senaryo 8 Si, Ri ve Qi değerleri	81
5.24. Senaryo 8 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	81
5.25. Senaryo 9 Si, Ri ve Qi değerleri	83
5.26. Senaryo 9 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	83
5.27. Senaryo 10 Si, Ri ve Qi değerleri	85
5.28. Senaryo 10 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri	85
5.29. Senaryo 11 Si, Ri ve Qi değerleri	87
5.30. Senaryo 12 Si, Ri ve Qi değerleri	88
5.31. Duyarlılık analizi sonuçları	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process)
FAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Fuzzy Analytic Hierarchy Process)
IFS	Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets)
MCDM	Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decision Making)
NIS	Negatif İdeal Çözüm (Negative Ideal Solution)
PFAHP	Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (Pythagorean Fuzzy Analytic Hierarchy Process)
PFN	Pisagor Bulanık Sayılar (Pythagorean Fuzzy Numbers)
PFS	Pisagor Bulanık Kümeler (Pythagorean Fuzzy Sets)
PFTOPSIS	Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama (Pythagorean Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
PFVIKOR	Pisagor Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma (Pythagorean Fuzzy Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Rejense)
PIS	Pozitif İdeal Çözüm (Positive Ideal Solution)
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Rejense)

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Endüstri öncesi dünyada enerji talebi, çoğunlukla insan ve hayvan gücü tarafından ve sınırlı ölçüde, metallerin ısıtılması, pişirilmesi ve eritilmesi için odun yakılmasıyla sağlanmıştır. Kömürün keşfi ve kullanımındaki eşzamanlı teknolojik gelişmeler, sanayi devrimini harekete geçirmiş ve tümü doğrudan kömürle beslenen akarsu motorları, mekanize üretim ve gelişmiş ulaşım bunu hızla takip etmiştir. Savaşlar arası yıllarda, petrol arama ve kullanımının yükselişi görülmeye başlamış ve bu kritik yakıt erişim, İkinci Dünya Savaşı sırasında önemli bir sorun haline gelmiştir. Savaş sonrası endüstriyel gelişme ve refah, özel araç kullanımındaki muazzam büyüme gittikçe artan bir şekilde petrolden kaynaklanmaktaydı. Daha yakın zamanlarda, yeni bir ekonomik büyüme aşaması büyük ölçüde doğal gazla desteklenmekteydi. Yüzyılı aşkın süredir ise yaygın olarak elektrik üretimi için kömür ve gaz kullanılmaktadır. Elektrik, esnekliği ve dağıtım durumu nedeniyle birinci sınıf bir enerji şeklidir. Tüketici elektroniğindeki patlama, buna bağlı endüstriyel faaliyetler ve gelişmekte olan dünyada tüketicilere erişimin gelişmesi nedeniyle dünya çapında talep günden güne artmaktadır. Dünyada petrol ve gaz talebi her yıl önemli ölçüde artmaya devam etmektedir. Bu artışın büyük bir kısmı şu anda sanayileşmenin ve tüketici ürünlerine olan talebin benzeri görülmemiş bir hızda arttığı Hindistan ve Çin tarafından karşılanmaktadır. 2006 yılında dünya enerji tüketimi İngiltere'nin toplam yıllık enerji kullanımının iki katından fazla artmış ve bu durum şimdiye kadar kaydedilen en büyük küresel yıllık artış olmuştur. Tek başına Çin bu artışın %40'ını oluşturmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency), 2030 yılına kadar enerji talebinin şu anda olduğundan yaklaşık %60 daha fazla olacağını tahmin etmektedir (Freris ve Infield, 2008).

İklim değişikliğinin etkileri küreseldir ve bu nedenle bu değişimi azaltmak koordineli bir uluslararası çaba gerektirmektedir. Kyoto Protokolü işte bu sorunların çözümüne karşı 1992'de imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile 1997 yılında oluşturulmuştur. Protokol, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda mücadele etmek için imza veren devletlerin sera gazı üretimini azaltmalarını taahhüt etmelerini gerektirmektedir. Ülkemiz, Şubat 2009 itibarıyla Kyoto Protokolüne taraf olmuştur. Protokolün 2005-2007 yılları arası ilk uygulama dönemidir, sırasıyla 2008-2012 yılları ve 2013-2020 yılları arası olmak üzere üç uygulama dönemini kapsamaktadır. 10-11

Aralık 2020 tarihlerinde gerçekleşen AB zirvesinde ise Kyoto Protokolü yükümlülükleri gereğince zararlı gazların salınımı konusunda belirlenen sınırlamaları revize edilmiştir. Daha önce %60 olarak belirlenen AB kökenli gaz salınımı 2030 yılında 1990 seviyesinin %55'i düzeyinde olması hedeflenmiştir (Şener, 2021).

İklim değişikliğini hafifletme ekonomisi, kararlaştırılan belirli bir hedefe yönelik en uygun politikanın yönlendirilmesinde çok önemlidir. Bu sorunlar Stern Raporunda belirtilmiştir. Uzmanlar iklim değişikliğinin meydana geldiğine neredeyse evrensel olarak ikna olsalar da, etkilerinin tam olarak ne olacağından emin değillerdir. Stern Raporu, farklı istikrar seviyelerinde belirli sıcaklık eşiklerine ulaşma olasılıklarını incelemesi açısından benzersizdir. Bu olasılıklar yakın zamanda oluşturulmuştur ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik bir dizi önlemin alınmasında yer alan risklerin ve maliyetlerin analizinin ekonomik temelini oluşturur.

Stern raporunun ana mesajı şu şeklide özetlenmiştir: İklim değişikliği sürecindeki gecikmeler kabul edilmelidir. Önümüzdeki 20-30 yıl içinde iklime ne olacağı zaten belirlenmiş ve geri döndürülemezdir. Önümüzdeki 20-30 yıl içinde yapılacak eylemler, önümüzdeki on yıllarda olacakları etkileyecektir. İklim değişikliği, yaşamın temel unsurlarını, yani suyu, yiyeceği, sağlığı, toprağın ve çevrenin kullanımını tehdit etmektedir. Şimdi harekete geçilirse, iklim değişikliğinin en kötü etkisinden kaçınmak için hala zaman vardır. Eylem uluslararası bir yanıt gerektirir. Anahtar eylemler şunları içermelidir; enerji kullanım verimliliğinde artış, düşük karbonlu geliştirme yollarına geçişi desteklemek için katı emisyon ticareti kuralları, yenilenebilir ve diğer düşük karbon teknolojilerinin yaygın kullanımı, teknoloji iş birliği ve düşük karbon teknolojileri Ar-Ge artışı ve ormansızlaşmada azalma.

Önümüzdeki yıllarda temel tercihlerin yapılması gerekmektedir. Toplumlar şu anda yüksek ve artan fosil yakıt tüketimine bağımlıdırlar. İnsanları kısa bir zaman diliminde bu bağımlılıktan çıkarma olasılığı tamamen gerçekçi değildir. Hem elektrik üretimi hem de ısınma açısından son yirmi yılda fosil yakıtlardaki genel değişim, kömür ve daha az ölçüde petrol yerine gaz kullanımının artması yönünde olmuştur. Bu, gazın yanması enerji birimi başına kömüre göre daha az CO2 saldığı için CO2 emisyonlarındaki büyümeyi sınırlamaya

yardımcı olmuştur. Bununla birlikte, siyasi olaylar AB'de ve başka yerlerde bu özel yakıtta artan bağımlılıkla ilgili olarak endişe yaratmıştır.

Olası bir alternatif yol kömüre bağımlılığa geri dönmektir. Bu kaynak, ABD, Avustralya, pekçok AB ülkesi, Kanada, Rusya gibi birçok gelişmiş ülkede ve Çin, Güney Afrika ve Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde bolca mevcuttur. Fosil yakıtlar için CO2 tutulması veya ayrılması konusundaki son gelişmeler, bu kaynağın çevresel olarak daha kabul edilebilir hale getirilebileceğine dair bir umut vermektedir. Bir dizi potansiyel olarak karbon nötr kaynaklar mevcuttur, bunlar nükleer füzyonu içerir ve tüm kaynaklar doğrudan veya dolaylı olarak güneş, biyokütle, rüzgâr, hidroelektrik ve denizden türetilir. Jeotermal ve gelgit enerjisi de karbon nötrdür ve kaynakların hayati olarak tükenmez olacak kadar büyük olduğu gerekçesiyle genellikle yenilenebilir olarak kabul edilmektedir. Ancak daha az önemli olmayan, sürdürülebilirliğe doğru hareket için gerekli olan diğer yaklaşımlar, enerji ihtiyaçlarının azaltılması ve enerji kullanımının verimliliğindeki iyileştirmelerdir. İkincisi, daha verimli elektrik üretimini içerir. Fosil yakıtların ve minerallerin gezegen rezervleri elbette sonludur ve bu nedenle kömür, petrol, gaz ve uranyumun sömürülmesi uzun vadede sürdürülebilir değildir. Neyse ki, doğal olarak oluşan enerji akışlarından türetilen yenilenebilir enerji, tükenmezdir ve bu enerjinin çevre üzerinde uzun vadeli zararlı bir etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle, zamanla enerji tedarik sisteminin temeli ve muhtemelen elektriğin üretilmesinin tek yolu haline gelecektir (Freris ve Infield, 2008).

1973 yılında meydana gelen birinci petrol krizinin ardından enerjinin önemi tüm dünya ülkeleri tarafından anlaşılmış ve bu tarihten sonra ülkeler enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve alternatif enerji kaynaklarını kullanma noktasında önemli adımlar atmış özellikle enerji ithal eden ülkeler, enerji planlamasında sürdürülebilir enerji kullanımı için yeni politikalar aramaya başlamışlardır. 2000'li yıllara gelindiğinde alternatif enerji arayışları büyük hız kazanmış ve yenilenebilir enerji konusundaki çalışmalar artmıştır. Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilebilen ve kendini sürekli yenileyebilen bir enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Yenilenebilir enerjiyi diğer enerji çeşitlerinden ayıran en önemli özellik ise doğal bir şekilde kendisini yenileyebilmesi ve bunu sürdürmesidir. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji çeşitleri çevreye zarar veren karbon salınımının azaltılması, yerli kaynaklar oldukları için ithal edilmemesi ve bu sayede enerji konusunda dışa bağımlılığın azaltılması açısından da büyük ölçüde önemlidir.

Alternatif enerji kaynakları ve enerji planlama karar problemleri arasında seçim yapma konusundaki karmaşıklık nedeniyle, Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) yöntemleri çözümlenebilir araçlar olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, MCDM'e olan ilgi uzun zamandır giderek artmaktadır. MCDM, yüksek belirsizlik, çelişkili amaçlar, çıkarlar ve perspektifler içeren karmaşık sorunların ele alınması için karar destek ve değerlendirmeyi kapsamaktadır (Kaya ve Kahraman, 2011). Sürdürülebilir enerji planlamasının çeşitli uygulamaları (Buchholz vd., 2009; Doukas vd., 2007) MCDM'de ideal çözüme göre benzerlikle performansı sıralamak için teknikler (TOPSIS, VIKOR), ağırlıklandırılmış toplam yöntemi (WSM), ağırlıklı ürün yöntemi (WPM), zenginleştirme değerlendirme için tercih sıralama organizasyon yöntemi (PROMETHEE), eleme ve gerçeği ifade eden seçim (ELECTRE), çoklu özellik kullanım teorisi (MAUT) ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) gibi yaklaşımlara uyarlanmıştır. Enerji planlama alanında sıklıkla kullanılan en uygun MCDM tekniği AHP, ardından PROMETHEE ve ELECTRE tarafından takip edilmektedir (Pohekar ve Ramachandran, 2004). AHP'nin başlıca avantajı, soyut varlıkları ele alma becerisi, daha az uğraştırıcı matematiksel hesaplamalar ve diğer metotlar ile karşılaştırıldığında daha kolay anlaşılır olmasıdır. Ancak, çoğu AHP prosedüründe, karar alıcılar karar verme sürecinin bulanık doğasından kaynaklanan belirsizliği açık bir şekilde ifade edemezler. Bu da AHP'nin kesin sayılar yerine aralıklı ya da bulanık kararlar verebilme kabiliyeti sağlamasına yardımcı olduğu düşüncesini tetiklemektedir (Bozbura vd., 2007).

Çok kriterli karar problemlerinde çözüm için en uygun yöntemin hangisi olduğunun kesin bir cevabı yoktur. Hangi yöntemin seçilmesi gerektiği tamamen karar vericinin tercihinin kalmıştır. AHP, ANP ve ELECTRE yöntemlerinde hesaplamalar ikili karşılaştırmalar temeline dayandıkları için alternatif ve kriter sayısı arttıkça karşılaştırma ve hesaplama işlemleri içinden çıkılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle TOPSIS ve VIKOR yöntemleri hesaplama kolaylığı açısından söz konusu diğer yöntemlere üstünlük göstermektedir. MCDM yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, son zamanlarda yöntemlerin birbirlerini tamamlayacak şekilde birlikte kullanıldıkları görülmektedir. Bu tür çalışmalarda AHP ve ANP yöntemlerinin kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, alternatiflerin sıralamaları içinse TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir. AHP, ANP, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri MCDM problemlerinde alternatiflerin sıralanması ve seçimi için kullanılırken ELECTRE bunlara ek olarak alternatiflerin sınıflandırılması için de kullanılmaktadır. Bu çalışmada da kullanılan TOPSIS

ve VIKOR yöntemleri çözüm yaklaşımları ve hesaplama açısından benzerdir. Bu benzerlik her iki yöntemin de uzlaşık çözüm temeline dayanmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemler her bir kriter için alternatiflerin sıralaması ve seçimi için ideal çözüme olan uzaklıklar toplamını ele almaktadır. TOPSIS pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak alternatifi en iyi alternatif olarak belirlerken VIKOR pozitif ve negatif ideal çözümü oran olarak hesaplar ve avantajlı oranda uzlaşmacı bir çözüm önerir (Ertuğrul ve Özçil, 2014; Lezki'den (2016)). Diğer bir ifadeyle VIKOR yöntemi alternatifleri değerlendirirken maksimum grup faydası ile minimum pişmanlığı da kullanmaktadır. Yöntemin bu iki özelliği sağlayan bir sıralama elde etmesi ve buna göre bir uzlaşık çözüm kümesi sunması avantaj olarak kabul edilir (Karaman ve Çerçioğlu, 2015; Lezki'den (2016)). TOPSIS ve VIKOR yöntemleri arasındaki önemli bir diğer fark kullandıkları normalizasyon yaklaşımıdır. TOPSIS vektör normalizasyonu kullanırken VIKOR doğrusal normalizasyonu kullanır. Doğrusal olmayan yapılarda TOPSIS daha gerçekçi sıralama yapabilmektedir. VIKOR ise yüksek pişmanlığın karar verici için belirleyici olduğu durumlarda karar vericiye esneklik sağlamaktadır (Pekkaya ve Aktogan, 2014; Lezki'den (2016)).

Bu tez çalışmasının amacı; bulanıklık içeren dilsel değişkenlerin karmaşasını pisagor bulanık sayılar ile tanımlayarak, Analitik Hiyerarşi Süreci ile Türkiye'de sürdürülebilir enerji planlaması için yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygununun belirlenmesidir.

Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının planlanmasında kullanılan birçok Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden sonra, bu çalışmada daha önce denenmemiş, en yeni ve dilsel değişkenlerin değerlendirilmesinde daha hassas ve iyi sonuçlar verebilen Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecinin kullanılması bu tez çalışmasının önemini arttırmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'de sürdürülebilir enerji planlamasında en uygun alternatif yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için kullanılan Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden biri olan Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci modeli önerilmiştir. Devamında PFTOPSIS ve PFVIKOR sıralama yöntemleri ile alternatifleri oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları sıralanarak en uygun olan alternatif belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada ilk olarak birinci bölümde giriş yapılmış ve bu tezin konusu ve amacı hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Giriş bölümünde dünyada enerji ve yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacın gelişimi özetlenmiş, temel olarak tezin uygulamasını oluşturan yenilenebilir enerji seçiminde yararlanılan çok kriterli karar verme modellerinden söz edilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Bu bölümde tezin uygulama konusunu oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları seçimi problemi ve çok kriterli karar verme metotlarının literatürdeki yeri ve farklılıkları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde uygulamanın temel kavramlarını oluşturan sürdürülebilirlik, yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye’de yenilenebilir enerjinin durumuna ayrıntılarıyla yer verilmiştir. Alternatifleri oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklarından Rüzgâr, Güneş, Su, Biyokütle ve Jeotermal enerji dikkate alınmıştır. Devamında yenilenebilir enerji seçimi sürecinde çok kriterli karar verme problemi için oluşturulan modelin hiyerarşi yapısında dikkate alınan ana ve alt kriterlere açıklamalarıyla birlikte yer verilmiştir. Oluşturulan modelde enerji seçiminde ana kriterler olarak değerlendirmeye beş kriter alınmış olup bunlar; Teknolojik, Ekonomik, Çevresel, Sosyopolitik ve Teknik kriterleridir. Yenilenebilir enerjinin seçiminde bu beş açıdan değerlendirme yapılmıştır. Ana kriterlerin altında yirmi yedi alt kriter yer verilmiştir. Belirlenen tüm kriterlerin literatür araştırmaları ile uzman görüşleri alınarak bu tez çalışmasında kullanılmasına karar verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümü tezin materyal ve metot bölümünü oluşturmaktadır. Bu tezin konusu olan yenilenebilir enerji seçiminde pisagor bulanık sayılarıyla çok kriterli karar verme yöntemi ile çözümlene yapmadan önce tezin materyal kısmında bu tezde önerilen hibrit modelin metodolojisine ve modelin hiyerarşik yapısına yer verilmiştir. Devamında yararlanılan pisagor bulanık sayılar ve özelliklerine kısaca değinilmiş, tezde önerilen PFAHP yöntemi ile PFTOPSIS ve PFVIKOR metotlarının teorik açıklamaları yapılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde Türkiye’de sürdürülebilir enerji planlamasında kullanılabilecek en uygun yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için önerilen yöntemle bir uygulama yapılmıştır. Enerji alanında uzman kişilerle görüşme yapılarak veriler toplanmış

ve çözümler elde edilmiştir. Buna ek olarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak çalışmada sonuç ve öneriler bölümüne yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde Pisagor Bulanık Sayılar ile ilgili literatürde yer alan uygulamalı ve teorik çalışmalardan bahsedilmiştir. Buna ek olarak bulanık sayıların çok kriterli karar verme yöntemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci ile birlikte kullanıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

Zhang ve Xu (2014), TOPSIS yönteminde PFS'lerle karar verme problemlerini etkin bir şekilde ele almak için genişletilmiş bir yöntem tavsiye etmişlerdir ve ilk olarak pisagor bulanık pozitif ideal çözümünü ve pisagor bulanık negatif ideal çözümünü bulmak için puanlama tabanlı bir karşılaştırma metodunu çalışmışlardır. Bu metotta her alternatif ve pisagor bulanık pozitif ideal çözümü ile pisagor bulanık negatif ideal çözümü arasındaki mesafeleri hesaplamak için bir mesafe ölçüsü belirlenmiştir.

Peng ve Yang (2015), iki işlem önermiştir. Pisagor bulanık sayıların bölünmesi, çıkarılması ve özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya koymuşlardır. Pisagorlu bulanık kümeleme operatörlerini, sınırlılık, bağımsızlık ve monotonite gibi fonksiyonlarını değiştirmişler ve belirsizlikte birden fazla nitelikteki grup karar verme problemleri analizinde pisagor bulanık bir üst sıralama metodunu geliştirmişlerdir.

Dick vd. (2016), pisagor bulanık kümeleri için önerilen iki kesişimi tanımlamış ve daha sonra bu sonuçları karmaşık düzlemin birim diskine genişletmiştir. Yager (2016), pisagorlu bulanık altkümeler kavramını ortaya koyarak sezgisel bulanık altkümelerle ilişkisini analiz etmiş ve pisagorlu altkümelerdeki bazı temel işlemlerden bazılarını tanımlamıştır. Pisagor üyelik dereceleri ve karmaşık sayılar arasındaki ilişkiyi araştırmış ve çok kriterli karar vermenin çözümlerini pisagor üyelik dereceleriyle çözümlenmiştir.

Liu vd. (2016), pisagor bulanık kümeleri için toplam operatörleri bulmuş ve bunları karar verme problemi konularında kullanmıştır. Geliştirilen operatörler pisagor bulanık küme operatörleri denilen bir toplama operatörleri sınıfıdır. Bunlar; pisagor bulanık düzen ağırlıklı ortalama (PFOWA) operatörü, genelleştirilmiş pisagor bulanık düzen ağırlıklı ortalama (GPFOWA) operatörü, pisagor bulanık düzen ağırlıklı geometrik (PFOWG) operatörü, genelleştirilmiş pisagor bulanık düzen ağırlıklı geometrik (GPFOWG) operatör,

quasi pisagor bulanık sipariş ağırlıklı ortalama (QPFOWA) operatör ve quasi pisagor bulanık düzen ağırlıklı geometrik (QPFOWG) operatörüdür.

Zeng vd. (2016), toplam işlemleri ve uzaklık ölçütleri ile ilgili pisagorlu bulanık çok kriterli karar verme problemleri için farklı bir metot bulmuştur. Pisagor bulanık ortalama ağırlıklı ortalama uzaklık (PFOAWAD) operatörünü geliştirerek pisagor bulanık çok kriterli karar verme problemleri için PFOAWAD-TOPSIS adında bir hibrit TOPSIS yöntemi önermişlerdir.

Zhang (2016), pisagor bulanık sayısı için yeni bir yakınlık indeksi önermiş ve pisagor bulanık sayılar için yakınlık indeksi bazlı bir sıralama metodu kullanmıştır. Aralıklı değerli pisagor bulanık küme (IVPFS) kavramını göstermiş ve IVPFS'lerin temel işlemlerini ve bunların fonksiyonlarını açıklamıştır. Ek olarak IVPFS'ler için bir sıralama yöntemi ve mesafe ölçüsü belirtmiş ve hiyerarşik çok kriterli karar verme problemlerini ele almak için yakınlık indeksi bazlı bir pisagor bulanık QUALIFLEX metodunu ortaya koymuştur.

Garg (2016), iki toplama operatörünü, aralıklı olarak değerlendirilmiş pisagorlu bulanık kümelerle, farklı IVPFS'ler için, aralıklı değerli pisagorlu bulanık ağırlıklı ortalama ve ağırlıklı geometrik operatörler ile birlikte ifade etmiştir. Ardından, bilinmeyen tereddüt derecesi ile IVPFS ortamında geliştirilmiş bir hassasiyet işlevini ortaya koyarak önerilen yeni yaklaşımın geçerliliği, uygulanabilirliği ve etkinliğini göstermek için karar verme problemlerine uygulamıştır.

Ren vd. (2016), pisagor bulanık kümelerini kullanarak TODIM yaklaşımını belirsizlik altında genişletmiştir. Devamında karar vericilerin risk tutumlarının karar verme problemlerinin çözümlerini nasıl etkilediğini değerlendirmek üzere simülasyon testleri yapmışlardır.

Literatürde Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci bugüne kadar çok az çalışılmış yeni bir yöntemdir. Shen vd. (2010), Tayvan'da 2009 yılında yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Gelişim Kanununun düzenlediği 3E (enerji, çevre, ekonomi) hedeflerini ve yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Araştırmanın amaçlarına ulaşmak için Tip-1 üçgen bulanık sayıları kullanarak FAHP kullanmışlardır. Sonuçta bu

araştırma ile 3E politika hedeflerini karşılamak amacıyla uygun yenilenebilir enerji kaynaklarını ortaya çıkarmaya çalışmışlardır.

Deng vd. (2014), Çin’de biyogaz uygulamasının gelişim durumunu, farklı biyogaz tesislerinin ve coğrafi bölgelerin özelliklerine dayanarak, bölgesel biyogaz endüstrisinin geliştirilmesi için uygun bir değerlendirme sağlamak amacıyla Tip-1 üçgen bulanık sayılarıyla bulanık bir analitik hiyerarşi süreci modeli kullanarak göstermişlerdir.

Büyüközkan ve Güteryüz (2014), Tip-1 yamuk bulanık sayılarla FAHP yöntemini kullanarak Türkiye’de sürdürülebilir enerji kaynağının seçimi için yeni bir model geliştirme çalışması yapmışlardır. Sürdürülebilir enerji kaynağı seçiminde teknolojik, ekonomik, çevresel, politik ve sosyal olmak üzere beş ana kriteri dikkate alarak çözüm yapmışlardır. Enerji alternatifleri olarak güneş, rüzgâr, hidrolik (su), biyokütle ve jeotermal enerjisini değerlendirmişler ve sonuç olarak rüzgâr enerjisini Türkiye için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağı olarak bulmuşlardır.

Erdoğan ve Kaya (2015), yamuk bulanık sayılarla bütünleşik aralık Tip-2 FAHP ve aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS yöntemini kullanarak Türkiye’de sürdürülebilir enerji alternatifi seçimi için yeni bir model geliştirmişlerdir. Sürdürülebilir enerji alternatifi seçiminde teknolojik, ekonomik, çevresel, sosyopolitik ve teknik olmak üzere beş ana kriteri dikkate alarak çözüm yapmışlardır. Enerji alternatifleri olarak güneş, rüzgâr, hidrolik (su), biyo yakıt, jeotermal, doğalgaz, petrol ve kömürü değerlendirmişler ve sonuç olarak rüzgâr enerjisini Türkiye için en uygun sürdürülebilir enerji alternatifi olarak bulmuşlardır.

Adar vd. (2016), Türkiye’deki evsel atık çamurlarının yönetimi için mevcut durumu özetlemiş ve Türkiye’de kullanılan anaerobik sindirim, yakma, gazlaştırma, piroliz ve süperkritik su gazlaştırma (SCWG) yöntemlerini karşılaştırmıştır. Yapılan Tip-1 üçgen bulanık sayılarla SWOT-FAHP analizi sonucunda beş metottan biri olan süperkritik su gazlaştırma ve dört kriterden biri olan problem çözme en yüksek ağırlık değerlerine sahip çıkmıştır.

FAHP ve sürdürülebilir enerji konusunun literatürde birlikte incelendiği Abdullah ve Najib’in (2016) yayınladıkları makalede, karar vermede belirsizlikle başa çıkmak için

sezgisel bulanık analitik hiyerarşi sürecinin yeni bir yöntemini önermişlerdir. Bu yeni yöntem, sürdürülebilir enerji planlaması karar verme probleminde bir tercih oluşturmak için uygulanmıştır. Sonuçta Malezya’ da yapılan bu uygulamada nükleer enerji, yedi alternatif arasında en yüksek ağırlığı sağlayan enerji planlamasında en iyi alternatif olarak bulunmuştur.

Büyüközkan ve Güleryüz (2016 a), Tip-1 üçgen bulanık sayılarla FAHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak Türkiye’de sürdürülebilir enerji teknolojisi alternatiflerinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Sürdürülebilir enerji teknolojisi seçiminde teknolojik, ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere dört ana kriteri dikkate alarak çözüm yapmışlardır. Enerji alternatifleri olarak konvensiyonel (petrol, doğal gaz vb. geleneksel enerji), nükleer, güneş, rüzgâr, hidrolik (su), biyokütle ve chp (kojenerasyon ısı ve güç enerjisi) enerjisini değerlendirmişler ve sonuç olarak nükleer enerjiyi Türkiye için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağı teknolojisi olarak bulmuşlardır.

Büyüközkan ve Güleryüz (2016 b), Türkiye’de yatırımcı perspektifinden sürdürülebilir enerji alternatifinin seçimi için bütünlük DEMATEL-ANP çok kriterli karar verme yöntemini önermişlerdir. Sürdürülebilir enerji seçiminde teknolojik, ekonomik, çevresel, politik ve sosyal olmak üzere beş ana kriteri dikkate alarak çözüm yapmışlardır. Enerji alternatifleri olarak güneş, rüzgâr, hidrolik (su), biyokütle ve jeotermal enerjisini değerlendirmişler ve sonuç olarak Türkiye için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağının rüzgâr enerjisi olduğunu saptamışlardır.

Büyüközkan vd. (2018), Birleşmiş Milletler’e en uygun sürdürülebilir enerji kaynağının seçimi için bütünlük hesitant FAHP-COPRAS çok kriterli karar verme yöntemini önermişlerdir. Sürdürülebilir enerji seçiminde teknik, ekonomik, çevresel ve sosyopolitik olmak üzere dört ana kriteri dikkate alarak çözüm yapmışlardır. Enerji alternatifleri olarak güneş, rüzgâr, hidrolik (su) ve biyogaz enerjisini değerlendirmişler ve sonuç olarak BM için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağının güneş enerjisi olduğunu bulmuşlardır.

Solangi vd. (2019), Pakistan için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için bütünlük Delphi, AHP ve Tip-1 üçgen bulanık sayılarla TOPSIS çok kriterli yöntemleri ile

çalışmışlardır. Yenilenebilir enerji kaynağı seçimindeki en önemli kriterleri ekonomik, çevresel, teknik ve sosyopolitik olarak Delphi yöntemi ile belirlemişler ve ağırlıkları AHP ile sıralamayı ise Bulanık TOPSIS yöntemi ile yapmışlardır. Alternatiflerin sıralamasını rüzgâr, hidrolik, güneş, biyokütle ve jeotermal olarak bulmuşlardır.

Karakul (2020), Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi için Tip-1 üçgen bulanık sayılarla FAHP yöntemi ile çalışmış, alternatif enerji kaynaklarının sıralaması için Kwong Bai ve Kareli Ortalama yöntemlerini kullanmıştır. Araştırmada ana kriterleri teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere bunların 12 alt kriteri ve biyokütle, rüzgâr, güneş, jeotermal ve hidrolik alternatifleri ile çözümlene yapmıştır. Araştırmasının sonucunda güneş enerjisini birinci sırada hidrolik enerjisini ikinci, rüzgâr enerjisini üçüncü sırada, biyokütle dördüncü ve jeotermal enerjisini beşinci sırada bulmuştur.

Sürdürülebilir enerji planlamasında en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesinde pisagor bulanık sayıları ile AHP yönteminin birlikte kullanılarak kriter ve alternatif ağırlıklarının hesaplandığı ve PFVIKOR ile PFTOPSIS yöntemleriyle alternatiflerin sıralandığı bu tez çalışmasının literatürde yeri yeni olduğu için gelecekte de bu konuda araştırmalar yapılmasına katkı sağlayacaktır. Bu nedenle bu tezde önerilen yöntemin Sürdürülebilir Enerji Planlaması kararında kullanılması da literatüre yeni bir ışık tutacaktır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

3.1. Yenilenebilir Enerji ve Sürdürülebilir Enerji Planlaması

Yenilenebilir enerji, "doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynı şekilde var olan enerji kaynağı" anlamına gelir. Yeryüzünde ve doğada üretim işlemine gerek kalmadan elde edilebilen, fosil kaynaklı olmayan, elektrik enerjisi üretilirken karbondioksit salınımı az miktarda olan, çevreye zararı ve etkisi konvansiyonel enerji kaynaklarına göre çok düşük olan, sürekli yenilenen ve kullanılmaya hazır olarak doğada bulunan su, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, hidrojen, dalga ve gelgit gibi enerji kaynaklarından oluşmaktadır (İrkçıçatal ve İrkçıçatal, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının varlığı çok eski dönemlere dayanmaktadır. Örnek olarak suyun pompalanması, yiyeceklerin öğütülmesi, kurutulması, su ısıtılması ve yelkenlerde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Sanayi devrimi ve buharlı makinelerin bulunması ile Avrupa ve Amerika'da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında azalma olmuştur. Dünya için dönüm noktası olan 1970'li yıllardaki petrol krizi ile enerji temini konusunda güvensizlik oluşmuştur. 1990'lı yıllarda dünya gündemi olan küresel ısınma ve çevre sorunları karşısındaki duyarlı duruş nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve yaygınlaştırılması amacıyla yeni politikalar geliştirilmiştir.

Enerji üretiminde fosil yakıtlar %79'luk pay ile ilk sıradadır. Bunu %18'lik pay ile yenilenebilir enerji kaynakları ve %3'lük pay ile nükleer enerji takip etmektedir. Yenilenebilir enerjinin önemli bir kısmını biyokütle oluştururken onu sırasıyla büyük hidrolik, sıcak su (ısıtma, güç üretimi) ve biyoyakıtlar izlemektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde, su ve seralarda sıcaklık artırımında, kurutmada, aydınlatmada, ısınmada ve kimyasal süreçlerde yararlanılmaktadır. Bu kaynakların özellikle elektrik üretimindeki kullanımı önemli bir paya sahiptir. Üretilen elektrikte en büyük pay %16 ile hidrolik kaynaklar iken, biyokütle ve rüzgâr, güneş, jeotermal vb. kaynaklar bunu takip etmektedir (GEKA, 2011).

Bugünü yarına zarar vermeden yaşamak olan "sürdürülebilirlik" kavramı enerji üretim teknolojilerindeki gelişmeler sonucunda, enerji kaynağının yenilenebilirliği ile birlikte sorgulanmaya başlanmıştır. Sürdürülebilirlik; toplumun sosyal, kültürel, bilimsel, doğal ve insan kaynaklarının tümünün ileriye gözeterek ölçülü kullanılmasını sağlayan ve buna saygı duyma temelinde sosyal bilinç oluşturan katılımcı bir süreçtir.

Sürdürülebilirlik, çevre, insan ve şimdiki kuşakların gelecek kuşaklar için sorumlulukları arasındaki ilişkiyi tanımlar. Sürdürülebilirliğin 19. yüzyıl başlarında kendini literatürde göstermeye başladığı ve tarım, orman, balıkçılık gibi yenilenebilir kaynaklar konusunda bir kavram olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Kavramın temel özelliği, insan geleceğini konu alması ve kullanıldığı alanda kaynakların korunmasını içermesidir. Bu nedenle sürdürülebilirliğin iktisat, sosyal adalet, çevre bilimi ve yönetimi, işletme yönetimi, politika ve hukuku birleştiren bir kavram olduğu görülmektedir. Ayrıca hak, demokrasi, dürüstlük ve diğer önemli kavramları kapsayan diyalektik bir kavram olarak da tanımlanabilir. Kavrama ekonomik açıdan bakıldığında ise özellikle Neo-Klasik ekonomi teorisinde sürdürülebilirlik, refah maksimizasyonu olarak belirtilmektedir (Tıraş, 2012).

Ruckelshaus'a (1989) göre, sürdürülebilirlik, "ekolojinin en geniş sınırları içinde ekonomik büyümenin ve kalkınmanın karşılıklı etkileşim ile sağlanacağı ve zaman içinde korunacağı doktrindir". Gilman'a (1992) göre ise, sürdürülebilirlik, toplumun, ekosistemin ya da devam eden herhangi bir sistemin ana kaynakları tüketmeden belirsiz bir geleceğe dek işlevini devam ettirmesidir. Sürdürülebilirlik, yaşam kalitesini düşürmeden, farkındalık düzeyinde değişiklik gerektiren bir kavramdır. Bu değişim özet olarak tüketim toplumu olmaktan vazgeçip, evrensel dayanışma ile hareket eden, çevresel yönetim, toplumsal sorumluluk ve ekonomik çözümleri amaç edinmektedir. Bu açıdan sürdürülebilirlik ekonomi, toplum ve çevre olarak 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı, 1999 yılında Hart tarafından farklı bir biçimde ifade edilmiştir. Hart'a göre ekonomi toplum ile bütünleşmiştir. Toplum ise ekonomi ile birlikte çevrenin içinde var olmaktadır. Sonuçta, bütün tanımlardaki ortak nokta sürdürülebilirliğe ulaşmanın yolu, çevre, toplum ve ekonominin bir bütün olarak ele alındığı çözümlerle mümkün olmaktadır (Özmehmet, 2008).

Sürdürülebilir enerji planlaması, yerel, ulusal, bölgesel ve küresel bir enerji sisteminin öngörülebilir geleceğine yardımcı olmak için çevreyi korurken insanlık ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik uzun vadeli politikaları oluşturur. Sürdürülebilir enerji planlamasının temel amacı, enerji verimliliğini, düşük karbonlu karbon salınımlarını ve eşit enerji hizmet sunumunu en uygun hale getirmektir. Dünya çapındaki enerji krizi, gelişmekte olan ülkeler için iklim değişikliği, sera gazı etkisi, zehirli kirleticiler ve hava kirleticileri etkisinden çok daha geniş çapta tehdit oluşturmaktadır (Wang vd., 2009).

Gelişmekte olan ülkelerin, sanayileşme, teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ve kentleşme nedeniyle artan talep artışına çözüm bulunması, enerji talebinin artmasına sebep olmaktadır (UNDP, 2006).

Dünya çapında, enerji ihtiyacı, daha yüksek gayri safi yurtiçi hasılanın artması sebebiyle her yıl giderek artmaktadır. Nüfusun çoğunluğunun kişi başına enerji tüketimi, özellikle gelişmiş ülkelerde önemli ölçüde artmıştır. Gelişmekte olan ülkelerde enerji artışı, konut, ticari, endüstriyel ve ulaşım gibi çeşitli sektörlerdeki büyük gelişmeler nedeniyle son zamanlarda gerçekleşmiştir. Milyonlarca yıl boyunca güneş enerjisinin toprağa birikmesi yoluyla jeolojik süreçlerin oluşturduğu ham petrol, doğalgaz ve diğer konvansiyonel yakıtlar gibi birincil enerji kaynakları, rezervlerdeki ve fiyatlarındaki dalgalanmalar ve elektrik santrallerinin artan maliyetlerinden dolayı sınırlı kaynaklardır (Al-Mofleh vd., 2009).

Enerji maliyetlerindeki artış, enerji taleplerini ve maliyetlerini önlemek için enerji planlamasını ve verimliliğini öncelikli bir seçenek haline getirmiştir. Bu nedenle, enerji kaynaklarının verimli kullanımını, kaynak çeşitliliğini ve israfların en aza indirilmesini sağlamak için sürdürülebilir enerji planlamasını yüksek düzeyde tutmak zorunlu hale gelmiştir.

3.2. Yenilenebilir Enerji

Enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yenileyebilmesi, yenilenebilir enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, güneşten elde edilen enerji ile çalışan bir teknoloji bu enerjiyi tüketir, fakat harcanan enerji toplam güneş enerjisinden oldukça azdır. En önemli

yenilenebilir enerji şekli güneşten elde edilendir. Güneş enerjisini ve rüzgâr gücünü depolayan formlarda mevcuttur.

İnsanlar, tesisler ve hayvanlar tarafından yenilenebilir enerjinin kalıcı olarak tüketilmesi söz konusu değildir. Fosil yakıtlar, çok uzun bir zaman çizelgesi değerlendirildiğinde teorik olarak yenilenebilirken gereksiz ve aşırı kullanılması sonucunda yakın gelecekte tamamen tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır (YEGM, 2019).

Kısaca yenilenebilir enerji, enerji üretimi için doğal süreçlerden yararlanan, kullanılan kaynakların tükenme hızından çok daha hızlı bir sürede kendini yenileyebilen enerji kaynaklarından meydana gelmektedir.

3.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Önemi

Gelecekte çevreye verilen zararı en aza indirmek ve enerji ihtiyacını karşılamak için sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırılmalıdır. Gerekli olan ihtiyacı karşılamak için enerji kaynaklarını riske atmadan üretilen enerjiye sürdürülebilir enerji denir. Devamlılığı ve ihtiyacı karşılama konusunda en önemli rol yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bir ülkenin kalkınması için en önemli madde enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevresel açıdan fosil yakıt kullanımını azaltması, dışa bağımlılığın azaltılarak yerli kaynakların geliştirilmesini sağlaması, uluslararası anlaşmalara uyum sağlaması, yeni iş istihdamı sağlayarak işsizliğin azaltılması, elektrik götürmenin zor olduğu coğrafi bölgelerde elektriğin kullanılmasını sağlaması nedeniyle önemlidir (Enerji Portalı, 2019).

3.4. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinin Maliyeti ve Uygulaması

Maliyet açısından yenilenebilir enerji teknolojileri; ilk yatırım maliyeti, kullanım maliyeti, bakım maliyeti ve atık maliyeti bakımından değerlendirilerek uygulanabilirlik için fizibilite çalışmaları yapılmaktadır. Uygulama açısından ise uygulama, kullanma ve bakım kolaylığı bakımından değerlendirilmektedir (Öztürk, 2013). Yenilenebilir enerji teknolojileriyle ilgili maliyet ve uygulama ölçütleri Çizelge 3.1’de verilmiştir (Enerji Portalı, 2019).

Çizelge 3.1. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyet ve uygulama açısından karşılaştırılması

Maliyet ve Uygulama Ölçütü	Güneş Enerjisi		Rüzgar Enerjisi	Hidrojen	Jeotermal	Hidroelektrik	Biyokütle
	Toplaç	PV					
İlk Yatırım Maliyeti	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
Kullanım Maliyeti	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta
Bakım Maliyeti	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Atık Maliyeti	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
Uygulama Kolaylığı	Orta	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek
Kullanma Kolaylığı	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Orta
Bakım Kolaylığı	Orta	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek

3.5. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Enerji Üretimi

Yenilenebilir enerji kullanımı, Türkiye’de kullanılan enerji kaynakları arasında çok düşük bir paya sahiptir. Aksine Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli oldukça yüksektir. Türkiye’deki yenilenebilir enerji santrallerinin kurulu güçleri şu şekildedir (TEİAŞ, 2020);

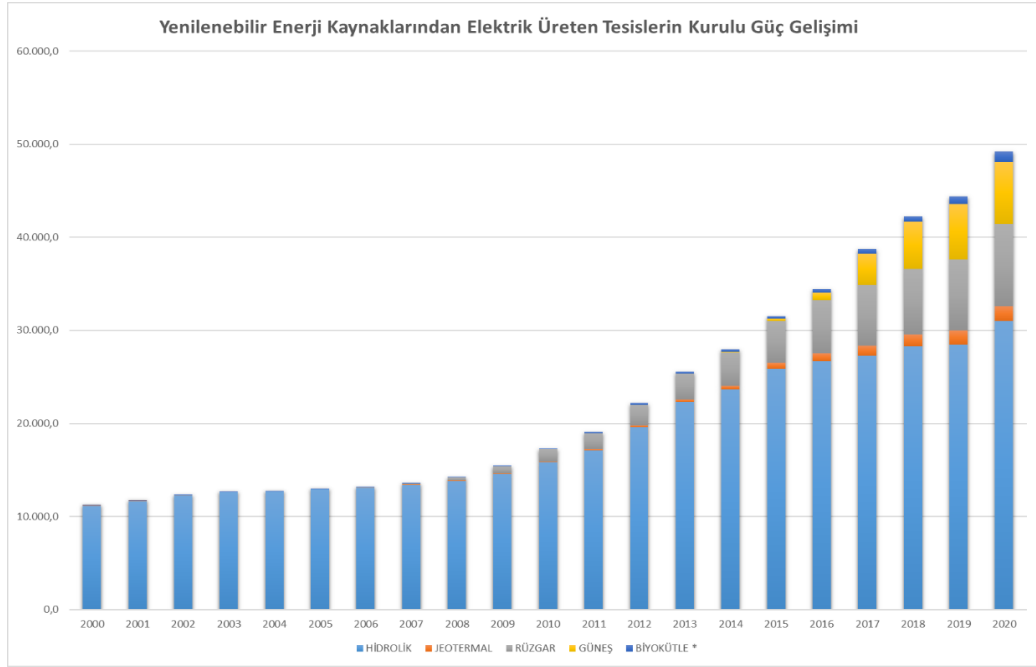
- Ülkemizde Rüzgâr enerjisinin kurulu gücü **8832 MW**,
- Güneş enerjisi kurulu gücü **6667 MW**,
- Biyokütle enerjisi kurulu gücü **1116 MW**,
- Hidrolik kurulu gücü **30984 MW**,
- Jeotermal enerji kurulu gücü **1613 MW**.

Türkiye’de 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi dağılımı Şekil 3.1’de verilmiştir.



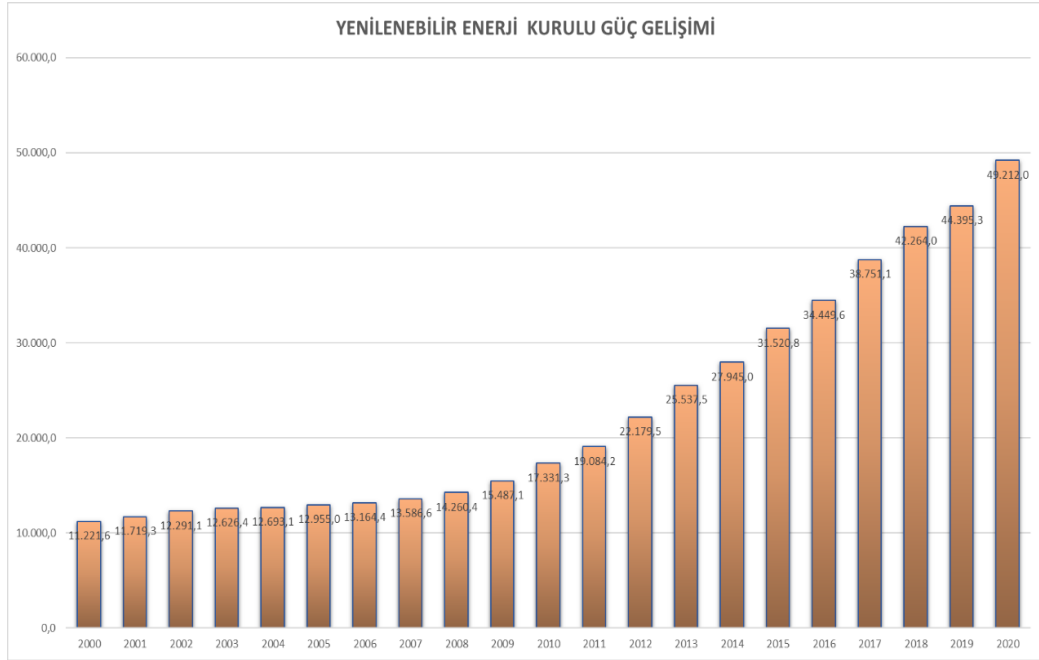
Şekil 3.1. 2020 yılı kurulu gücünün yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı

Türkiye’de bunların dışında dalga, gel-git, biyokütle kaynakları gibi enerji kaynaklarının da her geçen gün kullanımı yaygınlaştırılmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklı kurulu gücün ilerleyen yıllarda çok fazla artacağı da tahmin edilmektedir. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin yıllara göre kurulu güç (MW) gelişimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



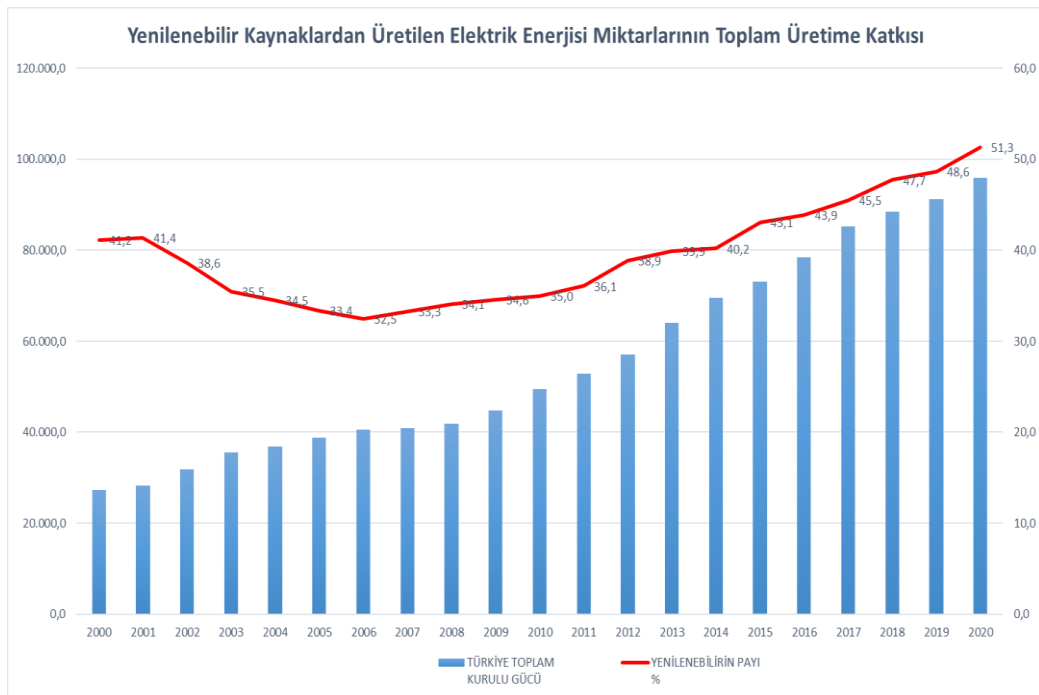
Şekil 3.2. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislerin kurulu güç gelişimi

Şekil 3.2’ye göre yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi 2009 yılına kadar neredeyse sadece sudan sağlanırken diğer yenilenebilir kaynaklarda bu yıldan sonra önemli derecede artışlar meydana gelmiştir. Güneş ve Rüzgâr enerjisinden üretimin gelişen teknolojiyle birlikte son yıllarda oldukça arttığı görülmektedir. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yıllara göre kurulu güç (MW) gelişimi Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Yenilenebilir enerji kurulu güç gelişimi

Türkiye’de tüm kaynaklardan üretilen toplam kurulu güç miktarları ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarlarının toplam güç içerisindeki payı Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi miktarlarının toplam üretime katkısı

Şekil 3.4 incelenecek olursa yenilenebilir enerjinin önemi arttıkça üretiminde giderek arttığı görülmüş ve 2020 yılı itibarıyla üretim %51'e yükselmiştir. Türkiye'de yenilenebilir enerjiden üretilen enerji miktarları ayrıntılı bir şekilde Çizelge 3.2'de verilmiştir (TEİAŞ, 2020).

Çizelge 3.2. Yenilenebilir kaynaklı kurulu gücün Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payının yıllar itibarıyla gelişimi

YENİLENEBİLİR KAYNAKLI KURULU GÜCÜN TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜCÜ İÇİNDEKİ PAYININ YILLAR İTİBARIYLA GELİŞİMİ ANNUAL DEVELOPMENT OF RENEWABLE BASED INSTALLED CAPACITY SHARE IN TURKEY TOTAL INSTALLED CAPACITY (2000-2019)								
								Birim (Unit) : MW
YILLAR	HİDROLİK	JEOTERMAL	RÜZGAR	GÜNEŞ	BİYOKÜTLE *	YENİLENEBİLİR KURULU GÜCÜ	TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜCÜ	YENİLENEBİLİRİN PAYI %
2000	11.175,2	17,5	18,9		10,0	11.221,6	27.264,1	41,2
2001	11.672,9	17,5	18,9		10,0	11.719,3	28.332,4	41,4
2002	12.240,9	17,5	18,9		13,8	12.291,1	31.845,8	38,6
2003	12.578,7	15,0	18,9		13,8	12.626,4	35.587,0	35,5
2004	12.645,4	15,0	18,9		13,8	12.693,1	36.824,0	34,5
2005	12.906,1	15,0	20,1		13,8	12.955,0	38.843,5	33,4
2006	13.062,7	23,0	59,0		19,8	13.164,4	40.564,8	32,5
2007	13.394,9	23,0	147,5		21,2	13.586,6	40.835,7	33,3
2008	13.828,7	29,8	363,7		38,2	14.260,4	41.817,2	34,1
2009	14.553,3	77,2	791,6		65,0	15.487,1	44.761,2	34,6
2010	15.831,2	94,2	1.320,2		85,7	17.331,3	49.524,1	35,0
2011	17.137,1	114,2	1.728,7		104,2	19.084,2	52.911,1	36,1
2012	19.609,4	162,2	2.260,6		147,3	22.179,5	57.059,4	38,9
2013	22.289,0	310,8	2.759,7		178,0	25.537,5	64.007,5	39,9
2014	23.643,2	404,9	3.629,7	40,2	227,0	27.945,0	69.519,8	40,2
2015	25.867,8	623,9	4.503,2	248,8	277,1	31.520,8	73.146,7	43,1
2016	26.681,1	820,9	5.751,3	832,5	363,8	34.449,6	78.497,4	43,9
2017	27.273,1	1.063,7	6.516,2	3.420,7	477,4	38.751,1	85.200,0	45,5
2018	28.291,4	1.282,5	7.005,4	5.062,8	621,9	42.264,0	88.550,8	47,7
2019	28.503,0	1.514,7	7.591,2	5.995,2	791,3	44.395,3	91.267,0	48,6
2020	30.984,0	1.613,0	8.832,0	6.667,0	1.116,0	49.212,0	95.890,0	51,32

* Endüstriyel Atık Dahil-Atık Isı Dahil Değil

• Lisanssız Üretim

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile düzenlenen faaliyet türünde elektrik enerjisi üretebilecek, gerçek veya tüzel kişilerin lisans almadan ve şirket kurmadan elektrik üretim faaliyeti yapmaları sağlanmıştır (ETKB, 2021).

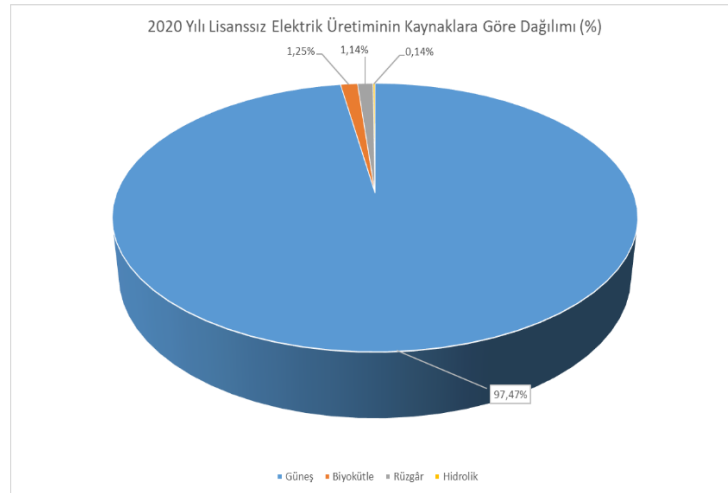
2020 yılının ilk 9 ayında toplam elektrik üretiminin %1,9'u lisanssız üretim tesislerinden karşılanmış olup Eylül 2020 sonu itibarıyla toplam kurulu güç 6193 MW olarak

gerçekleşmiştir. Çizelge 3.3’de Eylül 2020 sonu itibarıyla lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre kurulu güç miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Eylül 2020 sonu itibarıyla lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre kurulu güç miktarları

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)
Güneş	6.036,80	97,47
Biyokütle	77,23	1,25
Rüzgâr	70,83	1,14
Hidrolik	8,65	0,14
Toplam	6.193,51	100,00

Şekil 3.5’de Eylül 2020 sonu itibarıyla lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre kurulu gücünün dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. 2020 yılı lisanssız elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (%)

Lisanssız kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı Şekil 3.5’den görüldüğü üzere en yüksek pay %97,47 ile güneş santrallerine ait olup bunu %1,25 ile biyokütle, %1,14 ile de rüzgâr izlemektedir.

3.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları aşağıdaki şekildedir:

- Güneş Enerjisi
- Rüzgâr Enerjisi
- Hidroelektrik Enerjisi
- Jeotermal Enerjisi
- Biyokütle Enerjisi
- Hidrojen Enerjisi
- Dalga Enerjisi
- Gelgit Enerjisi

3.6.1. Güneş enerjisi

Dünyaya gelen güneş ışınlarının güneş panelleriyle ısı ve elektriğe dönüştürülmesi sonucu çevreye hiçbir zarar vermeksizin doğal enerji kaynağı olan güneş enerjisi elde edilir. Maliyeti önceden çok daha yüksek olan bu enerji türünün kullanımı daha uygun maliyetli çözümler geliştirilerek artırılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanım alanları oldukça çoktur ve günden güne hızla artmaktadır (Enerji Portalı, 2019).

Güneş hemen hemen %90 oranında hidrojenden oluşur. Güneşte bulunan hidrojenlerin birleşerek helyuma dönüşmesi ve bu dönüşüm sırasında kütle kaybının karşılığı olarak enerjinin ortaya çıkması ile “Güneş Enerjisi” açığa çıkar. Güneş, yüzey sıcaklığı 5500 ve çekirdek sıcaklığı 15,6 milyon olan kesintisiz çalışarak hidrojeni helyuma dönüştüren bir füzyon tepkimesi reaktörüne benzer.

Güneşten yayılan enerjinin sadece 2,2 milyarda biri dünyaya ulaşmaktadır ve bu enerji yaşam için temel enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin dünya atmosferinin dışındaki şiddeti yaklaşık 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0 ile 1100 W/m² değerleri arasında değişmektedir. (Cezim, 2013).

Sıcak su temini, binaların veya bir şeyin ısıtılması veya soğutulması, buhar elde edilmesi, bitki, meyve, sebze vb. kurutulması, elektrik üretimi, hidrojen üretimi, deniz

suyunun arıtılması, saf su ve tuz üretimi gibi pek çok alanda güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır (Kıncay, 2019).

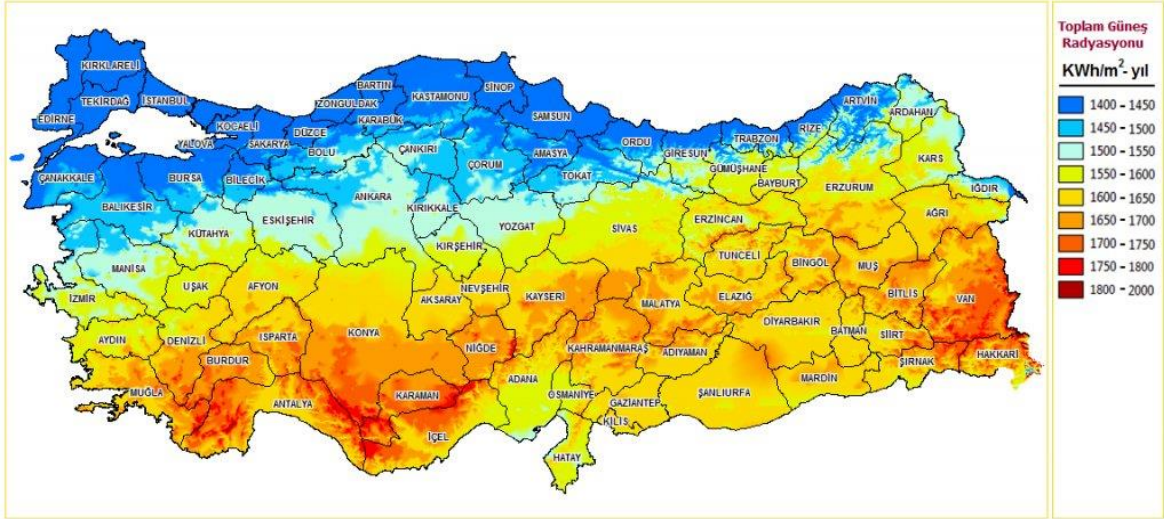
Güneş enerjisinin avantajları; Temizdir, çevreyi kirletici, duman, gaz, karbon monoksit, kükürt ve radyasyon gibi atıkları yoktur, yerel uygulamalar için elverişlidir. Bol ve tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Enerjiye ihtiyaç duyulan her yerde kullanılabilir. Dışa bağımlı olmadığı için oluşabilecek ekonomik buhranlardan bağımsızdır. İşletme giderleri oldukça düşüktür.

Güneş enerjisinin dezavantajları ise kesikli bir enerji kaynağı olması, enerji ihtiyacının çok olduğu kış aylarında güneş ışınımı az, geceleri ise hiç olmaması, güneş ışınımından yararlanan birçok sistemin yüksek ilk yatırım maliyetleri nedeniyle uzun geri ödeme sürelerine sahip olmasıdır. Sürekli olmadığından ısı depolama gerekmekte olup depolama imkânları ise yüksek maliyetli ve sınırlıdır. Güneş ışınımından faydalanılan sistemlerin, güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir. Birim yüzeye gelen güneş ışınımı az olduğundan geniş toplayıcı yüzeylere ihtiyaç vardır. Güneş enerjisinin yoğunluğu azdır ve sürekli değildir. İstenilen anda istenilen yoğunlukta bulunamayabilir.

Dünya'nın birincil enerji ihtiyacı yaklaşık 107,000 TWh/Yıl'dır. Güneş bize bu miktarın neredeyse 20 katını sunmaktadır. Güneşten gelen güç yaklaşık olarak 63 MW/m²'dir. Güneş yüzeyinden yayılan ışınım 3.8×10^{20} MW gücündedir. Yeryüzü her yıl bu miktarın 2.500.000 TWh'nı almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi en yüksek potansiyele sahip enerji çeşididir. Yapılan hesaplamalara göre dünyanın gereksinim duyduğu enerjinin oldukça büyük bir kısmı güneş tarafından sağlanmaktadır (EMO, 2017).

- **Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli**

Şekil 3.6'da verilen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olarak saptanmıştır (ETKB, 2021).



Şekil 3.6. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)

Türkiye’de yaz ve kış sezonunun güneşlenme süresi ortalama 3,5 saat olarak belirlenmiştir. Bir tam gün içinde 1000 W/m^2 değerinin alındığı toplam saat miktarı güneşlenme süresini vermektedir. Bu nedenle bir günde tüm meteorolojik veriler dikkate alınarak senelik gün ortalaması bir metrekare için $3.500 \text{ W/m}^2 / \text{gün}$ olmaktadır. Kışın ise $2.000 \text{ W/m}^2 / \text{gün}$ ün altına inemediği gibi yaz mevsimlerinde bölgeden bölgeye değişmekte ve $5.500 \text{ W/m}^2 / \text{gün}$ ün üstünde olmaktadır (EMO, 2017).

Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, günümüzde maliyeti en az olan ve sürdürülebilirlik açısından en kullanışlı olan sistemlerdir. Güneş enerjisinin çevresel etkileri şöyle sıralanabilir: Güneş enerjisinde atmosfere zararlı gaz salınımı yoktur, sadece kurulum aşamasında çok az bir zararı olabilir. Akü destekli güneş enerjisi sistemlerinde, akülerdeki sıvının suya karışma olasılığı vardır. Sadece kurulum aşamasında ambalaj atıkları mevcuttur. Çok büyük alana ihtiyaç duyan güneş enerji tarlaları görüntü kirliliğine sebep olabilir. Sadece kurulduğu bölgenin alanı itibarıyla güneş santralleri, doğada yaşayan hayvanların doğal yaşam alanlarını kısıtlayabilir (Enerji Portalı, 2019).

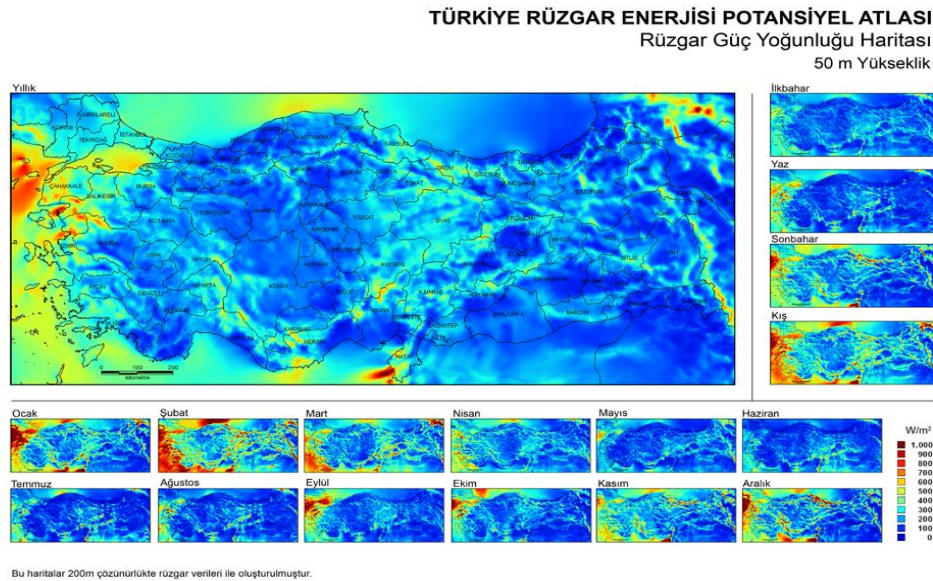
3.6.2. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi güneş ışınlarının dünyaya geliş açısındaki farklılıklar nedeniyle oluşan basınç ve dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesiyle ortaya çıkan rüzgârlar ile üretilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan rüzgâr enerjisi, yoğun rüzgâr

alan yerlere kurulan rüzgâr türbinleri ile elde edilir. Teknolojik gelişmelerle rüzgârın tahmin edilebilmesi rüzgâr enerjisinin daha etkili kullanılmasını sağlamaktadır.

Güneş ışınlarının oluşturduğu farklı sıcaklık, basınç ve nem, yeryüzünün değişken bir şekilde ısınmasına ve soğumasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak meydana gelen kuvvetler ise hava hareketlerini oluşturmaktadır. Bir hava kütlesi mevcut durumundan daha fazla ısınırsa atmosferin yukarısına doğru hareket etmekte ve bu hava kütesinin yer değiştirmesi ile boşalan yere aynı hacimdeki soğuk hava kütlesi yerleşmektedir. Bu hava kütlelerinin yer değiştirmesine rüzgâr adı verilir. Rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisine de rüzgâr enerjisi denir. Rüzgâr enerjisinin kaynağı güneştir ve enerjisinin %1-2'lik kısmı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir.

Kutuplar ile ekvator arasında ve dinamik yüksek basınç kuşaklarından dinamik alçak basınç kuşaklarına doğru hareket eden sürekli rüzgârlar enerji üretiminde önemli olsa da karalarla denizler ve dağlarla vadiler arasındaki hava akımlarına dayalı rüzgârlar da rüzgâr enerjisi açısından oldukça önemlidir. Yüksek basınç alanlarından, alçak basınç alanlarına doğru yönelen hava hareketiyle meydana gelen kinetik enerjiden, rüzgâr türbinlerindeki pervanelerin dönmesiyle direkt mekanik güç yani elektrik enerjisi elde edilmektedir (YEGM, 2019).



Şekil 3.7. Türkiye'nin Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA)

Şekil 3.7’de verilen REPA’ya göre Türkiye’nin yıllık rüzgâr enerjisi potansiyelinin daha çok 100-500 w/m² aralığında değiştiği görülmektedir. Ege ve Akdeniz gibi kıyı kesimleri en yüksek rüzgâr enerjisine sahip bölgelerdir.

Rüzgâr enerjisi kurulumunun ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük olması ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında üstünlükleri de vardır. Rüzgâr atmosferde bolca vardır, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır ve çevre dostudur. Güvenli bir kaynağı olduğundan tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur. Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür. Tamamen yerli hammaddeye sahiptir ve dışa bağımlık yaratmaz aksine istihdam yaratır. Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi nispeten daha basittir. İşletmeye alınması için kısa bir süre yeterlidir.

Rüzgâr enerjisinin çevresel etkileri ise şöyle sıralanabilir: Rüzgâr enerjisinin zararlı gaz salınımı olmadığından atmosfere zararı da yoktur, su kirliliğine de hiçbir etkisi olmamaktadır. Rüzgâr santrallerinin atıkları yoktur ve bu sebeple atık olarak çevresel etkileri de bulunmamaktadır. Çok büyük olmalarından dolayı görüntü kirliliğine ve gürültülü çalıştıkları için de gürültü kirliliğine sebep olur. Rüzgâr türbinlerinin oluşturduğu hava akımı kuşları türbine doğru çeker ve kuşlar bu hava akımına kapılıp türbinlere çarpıp ölmektedir (YEGM, 2019).

3.6.3. Hidroelektrik enerjisi

Suyun akış gücünü kullanarak elde edilen ve sera gazı salınımı olmadığından dünyaya zarar vermeyen enerjiye hidroelektrik (su) enerjisi denir. Suyun akışının yarattığı kinetik enerjinin kanallar vasıtası ile türbinlere iletilmesi ile üretilir. Özellikle yüksekliğin ve su akış hızının fazla olduğu yerlerde hidroelektrik üretimi yapılması çok avantajlıdır.

Hidroelektrik enerjisi, akarsu ya da barajlara kurulan hidroelektrik santralleri vasıtasıyla sağlanır. Akarsu ya da nehirde akan su, büyük oranda enerji potansiyeline sahiptir. Su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de aynı hatta fazlası oranında enerji elde edilebilir. İki şekilde de kanal ya da borular içine alınan su türbinlere doğru hareket eder ve elektrik üretimi için pervane gibi olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek enerji üretilir.

Hidroelektrik santralleri enerji üretiminde Türkiye için çok önemlidir. Yenilenebilir kaynak olan sudan enerji üretir ve sera gazı salınımı oluşturmazlar. İnşaat ve projelendirme çalışmaları yerel sermaye ile yapılabilmektedir. Teknik ömrünün uzun olması ve yakıt giderinin olmaması verimliliği artırır. İlk kurulum maliyetleri dışında işletme bakım maliyeti azdır. İstihdam oluşturarak kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırdıkları için en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir (YEGM, 2019).

3.6.4. Jeotermal enerjisi

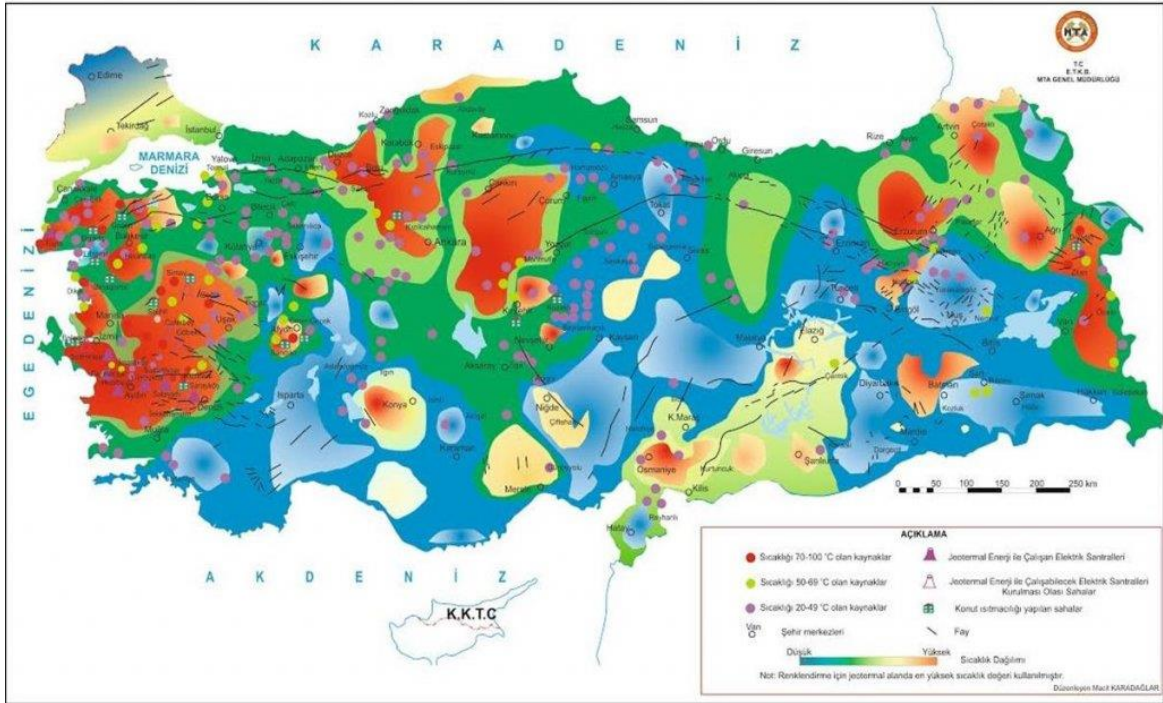
Jeotermal kaynakların bulunduğu yerlerde doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilen enerjiye jeotermal enerji denir. Yer kabuğunun derinliklerinde biriken ısının oluşturduğu sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha çok çözülmüş mineraller ve gazlar içeren basınç altındaki sıcak su ve buhar yolu ile yüzeye taşınan ısı olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal enerjinin kaynağını su, buhar, sıcak kayalar ve yeryüzüne yakın katmanlardaki magma oluşturur. Jeotermal enerji genellikle yer içinden yeryüzüne kadar ulaşan çatlak ve kırıkların oluşturduğu zayıf noktaları kullanarak yüzeye çıkan sulardan ya da özel olarak açılan sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Elektrik üretimi, mineral üretimi, ısıtma ve soğutma gibi farklı şekillerde kullanılan bu enerji çeşidi aynı zamanda kaplıcalar yardımı ile turizm sektörüne katkı sağlamaktadır.

Jeotermal enerji yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen, ucuz, güvenilir, çevre dostu ve yerli bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerjinin başlıca kullanım alanları şöyle sıralanabilir; elektrik enerjisi üretimi, iklimlendirme, endüstriyel amaçlı kullanım, kimyasal madde eldesi, kaplıca amaçlı kullanım, kültür balıkçılığı, mineralli su olarak ve entegre kullanımıdır (Enerji Portalı, 2019).

- **Türkiye’de Jeotermal Enerji Kullanımı**

Jeolojik ve coğrafi konumu bakımından Türkiye, aktif bir tektonik kuşak üzerinde bulunduğu için jeotermal kaynakları dikkate alındığında dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır. Türkiye’nin hemen her bölgesinde yaklaşık 1.000 tane doğal olarak çıkan değişik sıcaklıklarda jeotermal kaynaklar vardır. ETKB’nin verilerine göre Türkiye

1.283mw jeotermal enerji santrali kurulu gücü ile Avrupa ülkeleri arasında ilk sıradır. Dünya’da ise dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye’de jeotermal potansiyeli olan alanların %78’i Batı Anadolu’da, %9’u İç Anadolu’da, %7’si Marmara Bölgesi’nde, %5’i Doğu Anadolu’da ve %1’i diğer bölgelerde yer almaktadır. Türkiye’nin jeotermal kaynaklarının dağılımı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Türkiye’nin jeotermal kaynakları dağılımı

Türkiye’de jeotermal kaynakların %90’ı düşük ve orta sıcaklıkta olup ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar gibi doğrudan uygulamalar için, %10’ u ise elektrik enerjisi üretimi gibi dolaylı uygulamalar için uygundur. Jeotermal enerjisinin çevresel etkileri, yapısında bazı gazlar içerdiğinden jeotermal kaynaklar kullanılırken atmosfere karbondioksit ve hidrojen sülfür gibi zararlı gazlar salması ve azda olsa gürültü kirliliğine yol açmasıdır (Enerji Portalı, 2019).

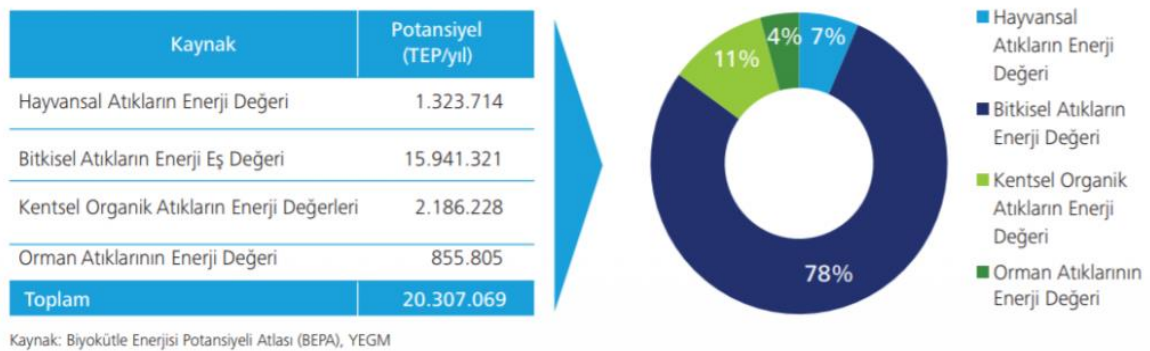
3.6.5. Biyokütle enerjisi

Ağaç ve ormancılık artıkları, tarımsal ve tarım amaçlı üretilen bitkiler, endüstriyel ve belediye atık ürünleri gibi yenilenebilir ısı ve enerjiye dönüşebilen bitkilerden üretilen biyokütle geniş bir biyolojik materyaldir. Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir

topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip olduğu toplam kütle olarak da tanımlanmaktadır. Biyokütle atıklarının yakılarak veya farklı işlemlerden geçirilerek kullanılması sonucunda üretilen enerjiye de biyokütle enerjisi denir (YEGM, 2019).

Biyokütle materyallerinin işlenmesiyle katı, sıvı ve gaz yakıtlar elde edilmektedir. Biyodizel, biyoetanol ve pirolitik gaz gibi ana ürünler oluşurken gübre ve hidrojen gibi yan ürünler de elde edilmektedir. 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'da ise biyokütle şöyle tanımlanmaktadır; "Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat atıkları dahil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklara biyokütle denir". Odun, ayçiçek ve soya gibi yağlı tohum bitkileri, buğday samanı, tarımsal atıklar, zeytin çekirdeği ve posası, atık kâğıtlar, meyve sebze kabuğu gibi evsel organik atıklar, yosunlar, denizdeki algler, gübre, sanayi atıkları ve atık su arıtma tesisi çamurları gibi atıklar biyokütle kaynaklarıdır. Biyokütle enerjisi başlıca üç alanda kullanılır. Bunlar; elektrik, ısı ve daha çok ulaşım amacıyla kullanılan biyoyakıt üretimidir (Deloitte, 2014).

Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu düşünülmektedir. ETKB'nin yapmış olduğu çalışmalar sonucunda Türkiye'nin biyokütle enerjisi belirlenmeye çalışılmış ve Türkiye'nin sahip olduğu biyokütle enerjisi miktarı *Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası* oluşturulmuştur. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli Atlası (BEPA) Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Türkiye'nin biyokütle potansiyeli

Şekil 3.9'a göre Türkiye'nin toplam biyokütle enerjisi potansiyeli 20.307.069 TEP/yıl'dır ve en yüksek potansiyele sahip olan kaynak %78'lik bir oranla bitkisel atıklardır.

Biyokütle enerjisinin avantajları şöyle sıralanabilir: Hammadde olduğu sürece sürekli olan üretim durumu tahmin edilebilir bir enerji kaynağıdır, enerji üretimi fosil yakıtlara göre daha çevrecidir. Daha az CO₂, SOX, NOX gibi emisyonu vardır. Biyokütle enerji santralleri diğer enerji üretim santrallerine göre daha az maliyetlidir. Ülkeler için arz güvenliğini sağlayan yerli ve milli bir enerji kaynağıdır.

Biyokütle enerjisinin dezavantajları ise şöyle sıralanabilir: Biyokütle kaynakları gıda sorunu oluşturmayacak biçimde seçilmeli ve planlı olarak üretilmeli ve kullanılmalıdır. Üretimde verimli toprak arazilerinin kullanımı gerekiyorsa bu alanın gıda üretimi için kullanılmasının gerekli olup olmadığı belirlenmelidir. Gıda üretimi bu durumda öncelikli olarak dikkate alınmalıdır.

Biyokütle enerjisi farklı yöntemlerle elde edilebilmektedir. Çöplerin ve atıkların kullanılması ile elde edilen enerji üretiminde bazı zararlı gazlar açığa çıkar. Bunların dışında çevreye etkisi neredeyse yok denecek kadar azdır (YEGM, 2019).

3.6.6. Hidrojen enerjisi

Hidrojen enerjisi, güneş ve yıldızların termonükleer tepkimeye vermiş olduğu ısının yakıtı olmakla birlikte evrenin temel enerji kaynağı olarak tanımlanabilir. Doğada bileşikler halinde bulunur ve hidrojen gazının işlenmesi ve dönüştürülmesi ile oluşur. Doğal enerji kaynağı olmasa da sürdürülebilir ve alternatif enerji kaynağı olarak sayılmaktadır.

Doğal bir yakıt olmayan hidrojen birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak biyokütle, su ve fosil yakıtlar gibi farklı hammaddelerden üretilir. Üretilmesinde atık gazların saflaştırılması, elektroliz ve radyoliz gibi alternatif birçok hidrojen üretim teknolojileri mevcuttur. Hidrojenin taşınmasının kolay olması daha fazla kullanım imkânı sağlayacaktır.

Bilinen tüm yakıtlar içinde hidrojenin birim başına değeri 120,7 kJ/kg ile en yüksek enerji miktarını içerir. Hidrojen $-252,77^{\circ}\text{C}$ 'de sıvılaştırılabilir ve sıvı hidrojenin hacmi gaz hacminin sadece 1/700'ü kadardır. Sıvı hidrojenin birim kütle sinin ısı l değeri petrolden 3,2 kat daha fazladır. Gaz hidrojenin birim kütle sinin ısı l değeri sıvı hidrojenle aynı olmakla birlikte doğal gazın 2,8 katı kadardır (Özil ve Şişbot, 2012).

Hidrojen enerjisi, gelecekte fosil kaynakların tamamen tükenmesi ve çevreye zararı olmayan enerji kaynağı olması sebebiyle geleceğin enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Hidrojenin elektrige kolayca dönüştürülmesi tüm sektörleri doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemesi, toplumsal gelişme ve refah düzeyini belirlemesi nedeniyle gün geçtikçe daha önemli olacağı tahmin edilmektedir. Dünya genelinde kimya ve petrol sanayisine bağımlı ve giderek büyüyen bir hidrojen ekonomisi oluşmaktadır. Bu nedenle hidrojenin petrol, kömür ve doğal gazın gelecekte yaygınlaşacak alternatiflerinden biri olacağı tahmin edilmektedir.

Hidrojenin fosil yakıtlara göre avantajları; yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği, düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi, benzin ve dizel ile birlikte çift yakıtlı motor olarak çalışabilmesi, yüksek ısı l değeri ve az miktarda NO_x dışında hiçbir emisyon üretmemesidir. Hidrojen enerjisi yakıldığında açığa sadece su çıkarır ve çevreye hiçbir zararı olmadığı için en temiz enerji kaynağıdır (Enerji Portalı, 2019).

3.6.7. Dalga enerjisi

Denizlerde oluşan dalgalanma hareketinden ve dalgaların oluşturduğu basınçtan ortaya çıkan enerjiye dalga enerjisi denir. Dalga jeneratörleri yardımıyla dalga enerjisinden doğal ve sürdürülebilir enerji elde edilmektedir. Dalgalar sınırsız ve güçlü yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve rüzgâr ile dalgalardaki kuvvet kullanılarak dalga enerjisinden elektrik üretilmektedir. Dalga enerjisi, okyanus veya büyük denizlerdeki akıntıyı kullandığından ve baraj ya da hızlı hareket eden bir nehre ihtiyaç duyulmadığından hidroelektrik enerjisinden farklıdır. Yalnızca rüzgârın dalgalar üzerinde ve dalga yüzeyinin altında meydana getirdiği salınım hareketinden oluşmaktadır. Yeryüzünün hemen hemen 3/4'ü denizler ve okyanuslardan oluşur ve bu nedenle dalga enerjisi çok büyük bir potansiyele sahiptir. Dalga enerjisi tükenmez ve sonsuz bir kaynaktır. Çevreye zarar vermediği ve çevre kirliliği sorunu oluşturmadığı için verimi ve kullanım maliyeti bakımından da oldukça önemlidir.

Dalga enerjisinin avantajları şöyle sıralanabilir: Çalıştırma ve bakım maliyetleri çok azdır, dalga enerji makineleri çevreye atık ya da kirlilik vermez, açık denizlerdeki cihazların büyük miktarda enerji üretme potansiyeli vardır ve sulardaki canlı çeşitliliğini arttırmaktadır.

Dalga enerjisinin dezavantajları ise şöyledir: Denizde dalga enerjisi üretimi denizlerdeki canlıların yaşam alanlarını etkileyebilmektedir. Çok yüksek miktarda elektrik üretmek için dalgaların güçlü olması gereklidir. Mevsimsel değişiklikler ve hava şartlarından dolayı çalışma sistemlerinde sıkıntılar yaşanabilmektedir. Deniz üzerinde olduğu için nakliye ve deniz ticaret yolları üzerinde etkileri olmaktadır. Dalga enerjisi santralleri az da olsa gürültü ve görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Mekanik olarak çalıştığından dolayı herhangi bir yakıt gereksinimine ihtiyacı yoktur. Bu nedenle de çevreye gaz ve atık salınımı da yoktur (Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2019).

3.6.8. Gelgit enerjisi

Gelgit enerjisi ayın çekim gücü ile denizlerdeki dalgalanma hareketinden meydana gelmektedir. Gelgit; güneş, ay ve dünyanın çekim gücü ile merkezkaç kuvvetleri arasındaki etkileşim ile oluşmaktadır. Gelgit ile denizlerdeki dalgalanmalar çok yüksek seviyelere çıkar ve bu da gelgit enerjisini ortaya çıkarmaktadır. Gelgit enerjisi ile denizlerden elektrik üretilmektedir. Gelgit ile oluşan gücün büyüklüğü ayın ve güneşin dünyaya olan uzaklığına bağlıdır. Gelgit hareketi suyun günde iki defa yükselmesi ve iki defa alçalmasıyla meydana gelmektedir. Toplamda dünyada 3000Gw büyüklüğünde gelgit kapasitesi olduğu düşünülmektedir. Fakat bu kapasitenin çok küçük bir kısmı gelgit enerjisi olarak kullanılabilir.

Gelgit enerjisinin avantajları şöyle sıralanabilir: Gelgit enerjisi bir yenilenebilir enerji kaynağıdır ve doğada sürekli olarak kendini yenilemektedir. Gelgit enerjisi temiz enerjidir ve doğaya herhangi bir zararlı atık bırakmaz. Dünya’da gelgit enerjisinin önemli ölçüde potansiyeli vardır. Bilimsel çalışmalar geliştirilirse gelecekte dünyanın enerji sorunu bu sayede çözülebilir.

Gelgit enerjisinin dezavantajları ise şöyledir: Gelgit enerjisi ile elektrik üretmek için yeterince yöntem yoktur bu nedenle kullanım alanı çok sınırlıdır. Gelgitten elektrik üretmek

için kurulan enerji santralleri oldukça maliyetlidir ve bu santrallerin kapladığı alan oldukça geniştir (Enerji Beş, 2019).

3.7. Yenilenebilir Enerji Seçim Kriterleri

Yenilenebilir enerji kaynağı seçiminde literatürde, çok kriterli karar verme yöntemlerinde farklı farklı kriterleri karşılaştırarak çözümleneler üreten birçok çalışma vardır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için çok kriterli karar verme probleminde dikkate alınan aşağıdaki ana kriterler ve bunların altındaki alt kriterlere yer verilmiştir (Kahraman ve Kaya, 2010; Wang vd., 2009).

3.7.1. Teknolojik ana kriteri (C1)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde teknoloji kriteri en önemli kriterlerden biridir. Teknoloji olmazsa yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ve depolanması mümkün olamaz. Bu çalışmada problemin çözümü aşamasında yer alan teknoloji ana kriterinin alt kriterleri sırasıyla fizibilite, risk, güvenilirlik, hazırlık safhası süresi, uygulama aşaması süresi, süreklilik ve performansın tahmin edilebilirliği ve son olarak yerel teknik uzmanlık bilgisidir. Bu kriterlerin açıklamaları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

3.7.1.1. Fizibilite (C11)

Bu kriter, enerji politikasının uygulanması olasılığının güvenliğini ölçer. Başarılı bir şekilde test edilen sürelerin sayısı bir karar parametresi olarak dikkate alınabilir.

3.7.1.2. Risk (C12)

Risk kriteri, test edilen bir durumda başarısızlıklarla ilgili sorunların sayısını ölçerek bir enerji politikasının uygulanması olasılığının güvenli olduğunu değerlendirir.

3.7.1.3. Güvenilirlik (C13)

Bu kriter, enerji politikasının teknolojisini değerlendirir. Teknoloji sadece laboratuvarında test edilmiş veya sadece pilot tesislerde gerçekleştirilmiş olabilir veya hala geliştirilebilir veya konsolide edilmiş bir teknolojidir. Enerji sistemlerinin güvenilirliği, bir cihazın veya sistemin tasarlandığı şekilde gerçekleştirme kapasitesine göre tanımlanabilir; bir cihazın veya sistemin bozulmasına karşı direnç; bir cihazın veya sistemin belirtilen şartlar altında gerekli bir işlevi yerine getirme kabiliyeti veya bir şeyin “iyi başarısız” olma (feci sonuçlara yol açmadan başarısız olma) yeteneğidir. Ekipmanın kalitesi, bakımı, yakıt tipi, enerji sisteminin tasarımı ve nasıl çalıştırıldığı güvenilirliğinde büyük rol oynar.

3.7.1.4. Hazırlık safhası süresi (C14)

Kriter, finansal varlıkları azaltmak ve asgari maliyete ulaşmak için alternatif enerji politikasının kullanılabilirliğini ölçer. Hazırlık aşaması, yıllar veya aylar dikkate alınarak değerlendirilir.

3.7.1.5. Uygulama aşaması süresi (C15)

Kriter, alternatif enerji politikasının asgari maliyete ulaşma kabiliyetini ölçer. Uygulama aşamasının maliyeti, uygulama yıllarını veya aylarını dikkate alarak karşılaştırır.

3.7.1.6. Süreklilik ve performansın tahmin edilebilirliği (C16)

Bu kriter, enerji politikası için teknolojinin işleyişini ve performansını değerlendirir. Teknolojinin sürekli ve güvenli bir şekilde çalışıp çalışmadığını bilmek önemlidir.

3.7.1.7. Yerel teknik uzmanlık bilgi (C17)

Bu kriter, düşünülen teknolojinin karmaşıklığı ile yerel aktörlerin alternatif enerji politikası için teknolojinin bakımı ve kurulumunda uygun bir işletme desteği sağlama kapasitesi arasındaki niteliksel bir karşılaştırmaya dayanan bir değerlendirme içermektedir.

3.7.2. Çevresel ana kriteri (C2)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir önemli tarafı da çevreye verdiği zarar ile ölçülmektedir. Günümüzde iklim değişikliğinin en büyük nedeni olan fosil yakıtların çevreye yaydığı kirlilik ve CO2 emisyonunun aksine yenilenebilir enerji kaynakları oldukça temiz enerji kaynakları olarak görülmektedir. İlk yapım aşamasında meydana gelen kirlilik dışında kullanımları sırasında neredeyse yok denecek kadar az çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu çalışmada çevresel ana kriteri altında problemin çözümü aşamasında arazi gereksinimleri, atıkların yok edilmesi ihtiyacı ve kirlilik alt kriterleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu kriterlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

3.7.2.1. Arazi gereksinimleri (C21)

Arazi ihtiyacı, enerji yatırımı için en kritik faktörlerden biridir. Arazi için güçlü bir talep, ekonomik zararları da belirleyebilir.

3.7.2.2. Atıkların yok edilmesi ihtiyacı (C22)

Kriter, enerji politikasının çevre kalitesine verdiği zararı değerlendirir. Alternatif politika, yaşam kalitesine olan zararı azaltmak ve bu kriteri dikkate alarak sürdürülebilirliği artırmak için değerlendirilebilir.

3.7.2.3. Kirlilik (Kirlenici emisyon / Su kirliliği / Toprak parçalanması) (C23)

Kriter CO2 eşdeğeri emisyonunu, yanma işleminin sonucu olan hava emisyonlarını, ikincil ürünlere bağlı duman atıkları veya işlem suyuyla ilişkili sıvı atıkları ve katı atıkları ölçmektedir. Kriterlerin değerlendirilmesi, emisyon türünü ve miktarını ve atık işlemleriyle ilgili maliyetleri içerir. Ayrıca bu kriterin değerlendirilmesinde elektromanyetik parazitler, kötü kokular ve enerji yatırımları için mikro iklim değişiklikleri de dikkate alınmaktadır.

3.7.3. Ekonomik ana kriteri (C3)

Yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji üretimi ekonomik olarak da oldukça önemlidir. Tüm yönleriyle düşünüldüğünde yenilenebilir enerji yatırımlarında maliyetler ve

getiriler iyi analiz edilmeli ve buna göre yenilenebilir enerji santrallerinin kurulum kararları değerlendirilmelidir. Bu çalışmada ekonomik ana kriteri altında problemin çözümü aşamasında işletme, uygulama ve bakım masrafları maliyeti, yatırım maliyeti, ekonomik değeri, yerel ve bölgesel ekonomik kalkınma, enerji kaynağının güvenliği, enerji kaynağının sürdürülebilirliği ve kaynakların dayanıklılığı kriterleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu kriterlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

3.7.3.1. İşletme, uygulama ve bakım masrafları maliyeti (C31)

Bu kriter tam olarak faaliyet göstermek için enerji yatırımının toplam maliyetini analiz eder. İşletme ve bakım maliyeti; işletme maliyeti, ücretleri ve enerji, ürün ve hizmetler için harcanan fonları içerir. Bakım maliyeti, bakım için harcanan fonlardan oluşur. İşletme ve bakım maliyetleri de iki alt kategoriye ayrılmıştır; bunlar sabit ve değişken maliyetlerdir.

3.7.3.2. Yatırım maliyeti (C32)

Yatırım maliyetinin bileşenleri; mekanik ekipman alımı, teknolojik tesisler, yol yapımı ve ulusal ağa bağlantılar, mühendislik hizmetleri, sondaj ve diğer tesadüfi inşaat işleridir. Yatırımcıların yatırım maliyetlerini ve faydalarını göz önünde bulundurmaları gerekir. Yatırım maliyeti, enerji sistemlerini değerlendirmek için en çok kullanılan ekonomik kriterdir.

3.7.3.3. Ekonomik değeri (C33)

Bu kriter, önerilen enerji politikasını ekonomik, iç verim oranı, fayda / maliyet analizi ve geri ödeme süresi olan mühendislik ekonomisi tekniklerinden birini kullanarak ekonomik olarak yargılar.

3.7.3.4. Yerel ve bölgesel ekonomik kalkınma (C34)

Yerel ve bölgesel kalkınmada belirli bir teknolojinin yankısını temsil eder. İstihdam üzerindeki etkiyi içermez, bölgedeki yatırımlar nedeniyle yerel işletmelerin canlanma derecesini içermektedir. Ekonomik büyüme arttıkça performans da artar.

3.7.3.5. Enerji kaynağının güvenliği (C35)

Enerji güvenliği, düzenli bir enerji kaynağının uygun bir fiyatla bulunabilirliği olarak tanımlanmaktadır. Tanım fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlara ve uzun ve kısa vadeli boyutlara sahiptir. Bir enerji kaynağı tükendiğinde veya üretim geçici veya kalıcı olarak durdurulduğunda fiziksel bir bozulma meydana gelebilir. Ekonomik aksamalar, dünya piyasalarındaki enerji ürünlerinin fiyatlarındaki arz dalgalanmalarının sebep olabileceği dalgalanmalardan kaynaklanmaktadır.

3.7.3.6. Enerji kaynağının sürdürülebilirliği (C36)

Kaynak sürdürülebilirliği; “Kaynak, enerji santraline sürekli ve yeterli miktarda enerji sağlayabilir mi?” ve “Bu kaynak, enerji santralinin talebini yerine getirmek için ek kaynaklara ihtiyaç duyuyor mu?” sorularının cevabını arar.

3.7.3.7. Kaynakların dayanıklılığı (C37)

Kaynak dayanıklılığı; “Kaynak, enerji santrali tarafından ne kadar süre kullanılabilir?” ve “Tesis kaynağı kullanım ömrü boyunca kullanılabilir mi, yoksa santralin kullanım ömründen önce kaynak tüketilecek mi?” sorularının cevabını arar.

3.7.4. Sosyopolitik ana kriteri (C4)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi sosyopolitik olarak da oldukça önemlidir. Hükümetlerin yeni kaynak arayışlarının ülkelerin enerji politikaları ile uyumlu olması gereklidir. Bir enerji santrali kurulumunda oluşan iş potansiyelini de göz ardı etmemek gerekir. Bu çalışmada sosyopolitik ana kriteri altında problem çözümü aşamasında ulusal enerji politikası hedefleriyle uyumluluk, politik kabul edilebilirlik, sosyal kabul görme, işgücü etkisi ve iş imkânları alt kriterleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu kriterlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

3.7.4.1. Ulusal enerji politikası hedefleriyle uyumluluk (C41)

Kriter ulusal enerji politikasının ve önerilen enerji politikasının entegrasyonunu analiz eder. Hedeflerin hükümet politikası ile önerilen politika arasındaki yakınlaşma derecesini ölçer. Kriter, hükümetin desteğini, kurumsal aktörlerin eğilimini ve kamusal bilgi politikasını da göz önünde bulundurmaktadır.

3.7.4.2. Politik kabul edilebilirlik (C42)

Kriter, liderlerin önerilen enerji politikası konusundaki görüşleri arasında fikir birliği olup olmadığını araştırır. Ayrıca politikacıların tepkilerinden kaçınmak ve siyasi liderleri tatmin etmek de dikkate alınmaktadır.

3.7.4.3. Sosyal kabul görme (C43)

Kriter, sosyal ortaklar arasındaki fikir birliğini artırır. Ayrıca, özel ilgi alanlarındaki sosyal grupların enerji politikalarına yönelik tepkilerinden kaçınmayı da dikkate almaktadır.

3.7.4.4. İşgücü etkisi (C44)

Doğrudan ve dolaylı istihdama özen gösterilerek analiz edilen işgücü etkisi dikkate alınarak enerji politikaları değerlendirilmekte ve dolaylı olarak yeni profesyonel rakamların yaratılması da değerlendirilmektedir.

3.7.4.5. İş imkânları (C45)

Yerel yönetimlerin karar alma sürecinde, enerji sistemlerinin iş yaratmaları vazgeçilmezdir ve katkılarını değerlendirmek için seçilir.

3.7.5. Teknik ana kriteri (C5)

Teknik olarak yenilenebilir enerji kaynağının verimliliği kaynaktan ne derecede enerji üretildiğiyle ölçülebilir. Verimlilikte önemli olan kurulan enerji santrallerinin kaynağa

yakınlığı ve teknolojisi olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada teknik ana kriteri altında problem çözümü aşamasında verimlilik, ekserji verimliliği, teknoloji ve işletme güvenilirliği, teknolojik olgunluk ve kaynağa erişim kolaylığı alt kriterleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu kriterlerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

3.7.5.1. Verimlilik (C51)

Verimlilik, bir enerji kaynağından ne kadar faydalı enerji elde edilebileceğini ölçer. En sık kullanılan verimlilik ölçütlerinden biri olan verimlilik katsayısı, çıktı enerjisinin girdi enerjisine oranı olarak tanımlanmaktadır. Enerji talebi büyümesini yavaşlatmak için verimli enerji kullanımı şarttır. Enerji sistemlerini değerlendirmek için en çok kullanılan teknik kriterdir.

3.7.5.2. Ekserji verimliliği-enerjinin kullanılabilir hale getirilen kısmının verimliliği (C52)

Ekserji verimliliği (rasyonel verimlilik), termodinamiğin ikinci yasasını dikkate alan bir sürecin verimliliğini hesaplar. Bir süreç sıcaklık değişimini içerdiğinde daima bir ekserji kaybı vardır. Ekserji, kullanılmaya bırakılan net enerjidir. CHP (Combined Heat&Power Kojenerasyon ısı ve güç enerjisi) sistemleri sık sık bu kriterle değerlendirilir.

3.7.5.3. Teknoloji ve işletme güvenilirliği (C53)

“Bu teknoloji güvenilir midir ve sık bakım gerektirmez mi?” sorusunun cevabını arar.

3.7.5.4. Teknolojik olgunluk (C54)

Teknik olgunluk, uygulanan enerji sistemlerinin teknolojisini değerlendirmek için bir kriterdir. Teknolojinin olgunluk derecesinin ölçülmesi, teknolojinin hem ulusal hem de uluslararası düzeyde ne kadar yaygın olduğunu gösterebilir. Ayrıntılı olarak, aşağıdaki aşamalar düşünülebilir; yalnızca laboratuarda test edilen teknolojiler, çalışma amacının deneysel hedefle bağlantılı olduğu ve işletme ve teknik koşullara atıfta bulunan pilot

tesislerde gerçekleştirilen teknolojiler, hala geliştirilebilecek teknolojiler ve verimliliğin teorik sınırlarına ulaşmaya yakın pekiştirilmiş teknolojiler.

3.7.5.5. Kaynağa erişim kolaylığı (C55)

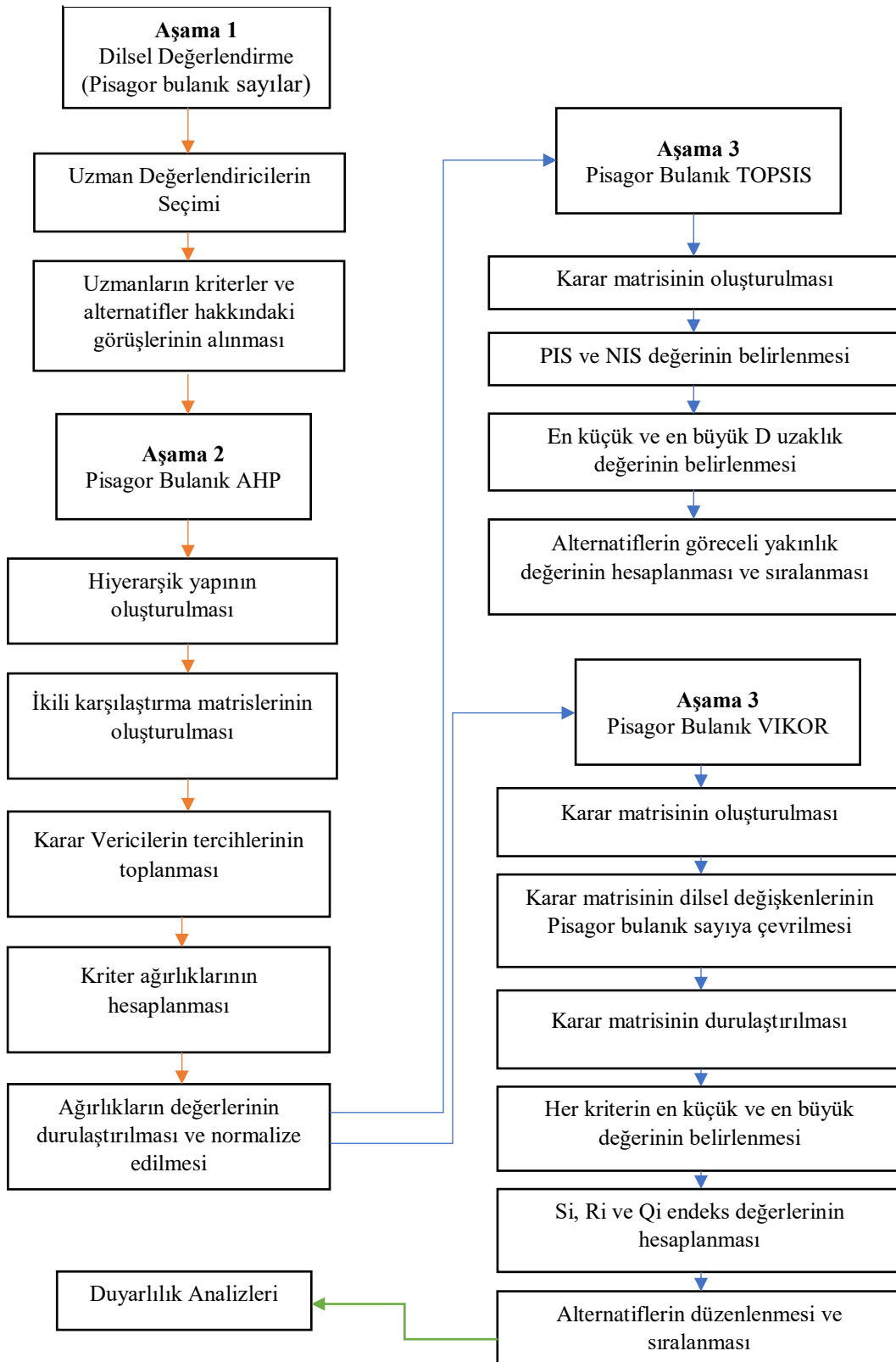
Kaynağa erişim kolaylığı; “Kaynağın elektrik santraline taşınması ne kadar yakın ve kolaydır?” sorusuna cevaplar aramaktadır.

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının temel amacı; Pisagor Bulanık Sayılar ile Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci ile enerji seçiminde kullanılan kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarının hesaplanması, PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemleri ile alternatiflerin sıralanmasıyla Türkiye’de sürdürülebilir enerji planlaması için yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygununun seçilmesidir. Bu nedenle çalışmada hibrit bir model önerilmiş olup önerilen bu modelin metodolojisi Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1’e göre modelin ilk aşamasında dilsel değerlendirme ölçütlerinin, modelde kullanılacak kriterlerin, alternatiflerin ve değerlendirmeyi yapacak karar vericilerin belirlenmesi bulunmaktadır. Bu nedenle enerji sektöründe çalışmakta olan 4 uzman belirlenmiştir. Uzmanlarla görüşülerek çalışmada Türkiye için değerlendirmeye alınacak kriterler, alternatifler ve dilsel değerlendirme ölçütleri hakkında görüşler alınmıştır. İkinci aşamada PFAHP probleminin hiyerarşik yapısı kurularak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve karar vericiler tarafından değerlendirilmesi istenmiştir. Bu değerlendirmelerden sonra kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıkları hesaplanmış, durulaştırılarak normalize edilmiştir. Üçüncü aşamada ise karar matrisi oluşturularak alternatiflerin sıralanması için PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemleri ile çözümler yapılmıştır. Bu yöntemler ile alternatiflerin sıralamaları yapılmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise önerilen modelin kararlılığını test etmek için 12 senaryo oluşturularak duyarlılık analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Önerilen modelin akış şeması



4.1. Materyal

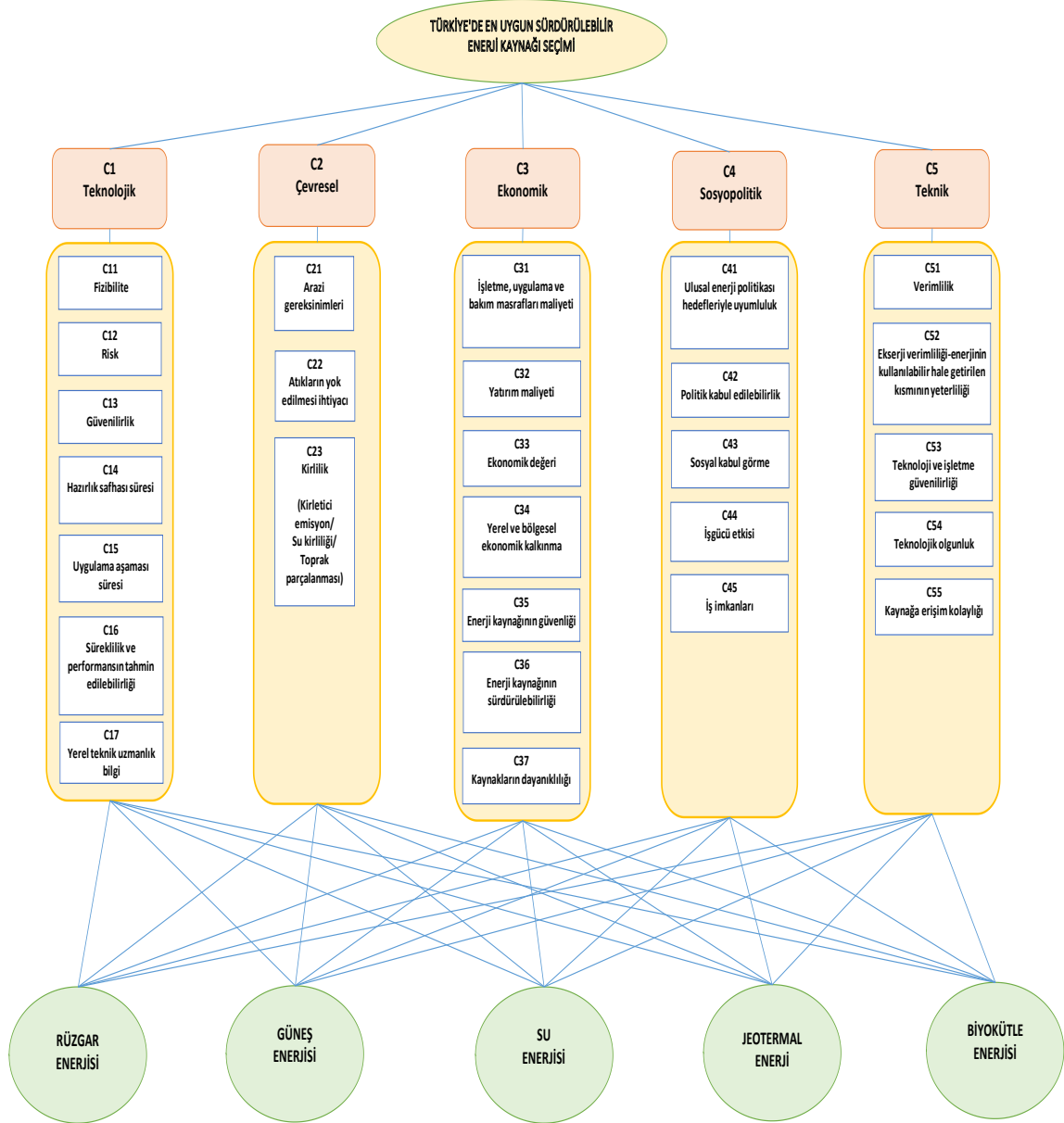
Çalışmanın ilk aşaması olarak yenilenebilir enerji kaynağı seçimi için PFAHP problemi belirlenmiştir. Öncelikle problemin hiyerarşisi literatür taraması ile bulunan kaynaklardan yararlanılarak oluşturulmuş ve uzman değerlendiriciler ile görüşülerek Türkiye için uygun olan kriterler, alternatifler (yenilenebilir enerji kaynakları) ve dilsel değerlendirme ölçütleri belirlenmiştir. Devamında çözümlenecek AHP hiyerarşisi net olarak oluşturularak kriterlerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının yapılması için bir excel tablosu hazırlanmıştır. Hazırlanan tablo yardımıyla enerji alanında uzman dört değerlendirici tarafından pisagor bulanık sayıları ile belirlenen dilsel önem dereceleri kullanılarak ana kriterler, alt kriterler ve sürdürülebilir enerji kaynakları ile sırasıyla ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma için görüşülen uzman değerlendiricilerin uzmanlık bilgileri ve enerji alanındaki deneyim süreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Karar vericilerin uzmanlık bilgileri

Meslek	Mezuniyet Derecesi	Mesleki Deneyim (Yıl)
Uzman	Yüksek Lisans	9 Yıl
Elektronik Mühendisi	Lisans	8 Yıl
Elektrik Mühendisi	Yüksek Lisans	15 Yıl
Elektrik-Elektronik Mühendisi	Lisans	12 Yıl

Bu çalışmada sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, su enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi olmak üzere 5 alternatif enerji kaynağı dikkate alınmıştır. Çalışmada Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynağının seçiminde dikkate alınan ana kriterler, Erdoğan ve Kaya’nın (2015) çalışmasında önerilen hiyerarşiye göre teknolojik, çevresel, ekonomik, sosyopolitik ve teknik kriterler olmak üzere 5 ana grupta toplanmıştır. Buna ek olarak bu ana kriterlerin altında bulunan kriterlerden 27 alt kriter uzman karar vericiler tarafından değerlendirilerek önerilen AHP modeline dahil edilmiştir. Bu ana kriterler ve alt kriterlerine açıklamalarıyla birlikte yenilenebilir enerji ve seçim kriterleri bölümünde yer verilmiştir.

Türkiye’de sürdürülebilir enerji planlamasında kullanılacak en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi problemi hiyerarşik bir yapıya dönüştürülerek Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Türkiye’de en uygun sürdürülebilir enerji kaynağı seçimi

4.2. Yöntem

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi ilk olarak Lotfi A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır. Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve alt kümelere dayanmaktadır. Klasik küme yaklaşımında bir nesne bir kümenin ya elemanı değildir ya da elemanıdır. Klasik küme teorisinin genişletilmiş olan bulanık mantık teorisinde ise her bir nesnenin bir üyelik derecesi vardır. Zadeh (1965), bulanık kümeler kavramında üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değişebileceğini ileriye sürerek kümeler teorisinde geniş uygulamaya sahip ve doğal hayata uyumlu olan bulanık küme teorisini geliştirmiştir (Chen ve Lee, 2010; Abdullah ve Zulkifli, 2015). Bulanık küme mantığında küme aitlik derecesi (μ) ile gösterilir ve 0 ile 1 arasında değer alır. “0” değeri kesin olarak kümeyle ait olmamayı gösterirken, “1” değeri ise kesin olarak kümeyle ait olmayı yani üyeliği ifade eder. Günlük hayatta soğuk-sıcak, aydınlık-karanlık, hızlı-yavaş gibi kesin olarak ifade edilen değişkenler bulanık kümelerde biraz sıcak, biraz soğuk, daha fazla hızlı, daha az karanlık gibi daha geniş tanımlamalarla gerçek dünya problemlerine benzetilmektedir (Wikipedia, 2021). Tip-1 bulanık üyelik fonksiyonlarında bulanık bir sayının eşit olduğu değer kesin olarak bilinemezken alabileceği değerler ve bu değerlerin üyelik dereceleri kesin olarak bilinmektedir. Bu üyelik derecelerine karşılık gelen üyelik fonksiyonu üçgensel, yamuk, gaussian gibi bulanık sayılar ile gösterilebilmektedir (Mendel, 2001).

Matematiksel modeller ne kadar ayrıntılı olursa olsun gerçek dünyaya göre belirsizlik, yetersizlik ve bazı kararsızlıklara sahiptir. Bu belirsizlikler sayısal ölçülere bağlı rasgelelik ve sözel belirsizliklere bağlı bulanıklık olarak karşımıza çıkmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004: Karaköse’den (2004)). Bulanıklık kurallarda kullanılan kelimelerin anlamlarının belirsiz olması, kelimelerin farklı kişilere göre farklı anlamlarda olması, bilginin aynı düşüncede olmayan uzmanlardan elde edilmesi gibi belirsizliklerden oluşur. Bu belirsizlikleri Tip-1 bulanık kümeler direkt olarak modelleyemezler. Bunun için Tip-2 bulanık kümeler kullanılabilir (Mendel, 2001: Karaköse’den (2004)). Tip-2 bulanık küme kavramı Tip-1 bulanık kümeler olarak bilinen geleneksel bulanık küme kavramının bir genişlemesi olarak Zadeh tarafından verilmiştir (Zadeh, 1975; Karnik vd., 1999). Bir bulanık küme için tam bir üyelik fonksiyonunun belirlenemediği durumlarda Tip-2 bulanık kümeler oldukça kullanışlıdır. Dolayısıyla bu kümeler dilsel belirsizliklerin giderilmesinde etkindirler. Tip-1 bulanık kümelerde üyelik fonksiyonları belirginken Tip-2 bulanık

kümelerde üyelik fonksiyonlarının kendisi de bulanıktır. Sezgisel (intuitionistic), tereddütlü (hesitant), nötrosofik (neutrosophic) ve resim (picture) kümeler de bulanık sayı çeşitlerindedir. Bu tez çalışmasında da dilsel değişkenlerin daha iyi tanımlandığı sezgisel bulanık sayıların genişletilmiş hali olan pisagor bulanık sayıları dikkate alınmıştır. Önerilen modele göre ilk olarak uzmanlar tarafından PFAHP yöntemi ile kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklandırılmasına yer verilmiştir. Devamında ise PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemleri ile bulunan alternatif ağırlıkları sıralanmıştır.

4.2.1. Pisagor Bulanık Kümeler

Pisagor bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümelerin geliştirilmesidir. Bir karar verici, üyelik derecesi ve üye olmama derecesinin toplamının 1'den büyük olduğu bir sezgisel bulanık kümeyi tanımladığında, kareler toplamının 1'den küçük veya ona eşit olacak şekilde düzeltilmesi gerekir. Bu nedenle, Yager (2013), üyelik derecesi ve üye olmama derecesi ile karakterize olan pisagorlu bulanık kümeleri geliştirmiştir ve bu kümeler üyelik derecesinin ve üye olmama derecesinin kareler toplamının 1'den küçük veya ona eşit olması koşulunu yerine getirmektedir. Pisagor bulanık sayılar 2013 yılında literatüre girdiğinden beri, birçok araştırmacı tarafından teorik olarak geliştirilmiş ve karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmıştır.

Uzman değerlendiriciler tarafından görüşme yapılarak Türkiye için Sürdürülebilir Enerji Kaynağının seçiminde öncelikli olarak 5 ana kriter birbirlerine olan önem (üstünlük) derecelerine göre kıyaslanmıştır. Daha sonrasında bu 5 ana kriterin altındaki alt kriterler kendi ana kriteri dikkate alınarak önem (üstünlük) derecelerine göre kıyaslanmıştır. Son olarak ise her bir alt kriter dikkate alınarak 5 adet alternatif sürdürülebilir enerji kaynağı önem (üstünlük-azlık-çokluk vb.) derecelerine göre kıyaslanmıştır. İki kriter karşılaştırılırken hangisinin daha önemli olduğuna uzman değerlendiriciler tarafından 1'den 9'a kadar bir değer verilerek karar verilmiştir. Çözümlemede kullanılan AHP göreceli önem dereceleri ve bunlara karşılık gelen pisagor bulanık sayıları 1'den 9'a kadar artmaktadır ve aşağıdaki Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Dilsel değişkenlerin önem dereceleri ve PFN karşılıkları

Dilsel Değişkenler	AHP göreceli önem derecesi	PFN	Karşılıklı PFN Reciprocal PFNs
Eşit derecede önemli (EI)	1	(1;1)	(1;1)
Ara değer (IV)	2	(0,2;0,9)	(1/0,9;1/0,2)
Orta derecede daha önemli (MMI)	3	(0,3;0,8)	(1/0,8;1/0,3)
Ara değer (IV)	4	(0,4;0,7)	(1/0,7;1/0,4)
Çok daha önemli (SMI)	5	(0,5;0,6)	(1/0,6;1/0,5)
Ara değer (IV)	6	(0,6;0,5)	(1/0,5;1/0,6)
Çok güçlü daha önemli (VSMI)	7	(0,7;0,4)	(1/0,4;1/0,7)
Ara değer (IV)	8	(0,8;0,3)	(1/0,3;1/0,8)
Son derece daha önemli (EMI)	9	(0,9;0,2)	(1/0,2;1/0,9)

- **Pisagor bulanık kümelerin özellikleri**

Yager (2013), sezgisel bulanık sayıların bir genellemesi olan ve kareler toplamının 1'e eşit veya daha az olması şartını sağlayan bir üyelik derecesi ve üye olmama derecesi ile belirtilen pisagor bulanık kümeleri tanımlamıştır.

Bir Pisagor bulanık kümesi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\tilde{P} = \{(x, P(\mu_P(x), \nu_P(x))) \mid x \in X\} \quad (4.1)$$

$\mu_P: X \rightarrow [0,1]$ üyelik derecesi ve $\nu_P: X \rightarrow [0,1]$ üye olmama derecesi.

Bu durumda denklem (4.2) geçerlidir:

$$\left((\mu_P(x))^2 + (\nu_P(x))^2 \right) \leq 1 \quad (4.2)$$

Belirsizlik derecesi aşağıdaki Denklem (4.3) ile tanımlanır:

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - (\mu_p(x))^2 - (v_p(x))^2} \quad (4.3)$$

Teorem:

Pisagor üyelik derecelerinin alanı (uzayı), sezgisel üyelik derecelerinin alanından (uzayından) daha büyüktür.

İspat:

1-Sezgisel bir üyelik derecesi olan her (a, b) noktası aynı zamanda bir pisagor üyelik derecesidir.

Öncelikle a ve $b \in [0,1]$ için $a^2 \leq a$ ve $b^2 \leq b$ 'dir. Daha sonra $a + b \leq 1$ olduğunda $a^2 + b^2 \leq 1$ 'olur.

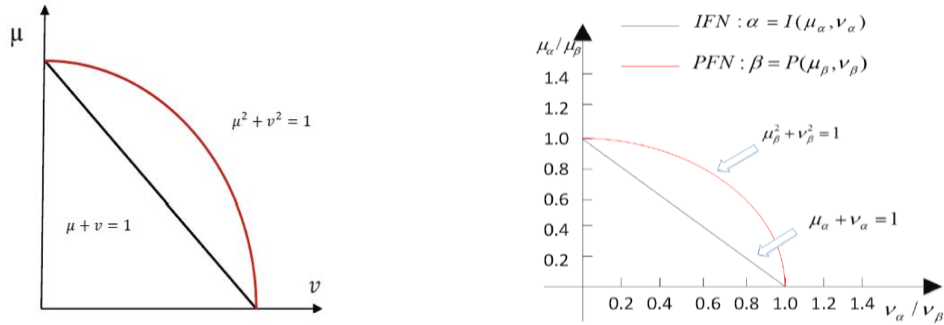
2-Sezgisel üyelik derecesi olmayan pisagor üyelik dereceleri vardır.

Örneğin $(\frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{1}{2})$ sayısı dikkate alınırsa $(\frac{\sqrt{3}}{2})^2 + (\frac{1}{2})^2 = \frac{3}{4} + \frac{1}{4} = 1$ olur ve bu bir pisagor üyelik derecesidir. Fakat $\frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1,72}{2} = 0,866$ ve $0,5 + 0,866 > 1$ olduğu için bu bir sezgisel üyelik derecesi değildir.

Bu sonuç, Şekil 4.2'den açıkça görülmektedir. Burada sezgisel üyelik derecelerinin tümü $x + y = 1$ eğrisi altındaki noktalardır ve pisagor üyelik derecelerinin ise tüm noktaları $x^2 + y^2 \leq 1$ eğrisi altında kalmaktadır. Pisagor üyelik dereceleri, sezgisel üyelik derecelerinden daha büyük standart dışı üyelik derecelerinin temsiline imkân tanımaktadır (Yager, 2013).

Burada dikkat çeken nokta herhangi bir $(x, y \in [0,1])$ için eğer $x + y \leq 1$ ve $x^2 + y^2 \leq 1$ ise, bu bir sezgisel bulanık sayıdır ve hatta bir pisagor bulanık sayısı olacaktır. Fakat dikkat edilmelidir ki her pisagor bulanık sayısı bir sezgisel bulanık sayı olmayabilir (Zeng vd., 2016).

Şekil 4.2’de Sezgisel ve Pisagor bulanık sayıların üyelik derecelerinin karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Pisagor ve Sezgisel üyelik derecelerinin karşılaştırılması

İki pisagor bulanık sayı , \tilde{A} ve \tilde{B} için, aşağıdaki aritmetik işlemler geçerlidir:

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = \left(\sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 - \mu_1^2 \mu_2^2}, v_1 v_2 \right) \quad (4.4)$$

$$\tilde{A} \otimes \tilde{B} = \left(\mu_1 \mu_2, \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - v_1^2 v_2^2} \right) \quad (4.5)$$

$$\lambda \tilde{A} = \left(\sqrt{1 - (1 - \mu^2)^\lambda}, v^\lambda \right) \quad (4.6)$$

$$\tilde{A}^\lambda = \left(\mu^\lambda, \sqrt{1 - (1 - v^2)^\lambda} \right) \quad (4.7)$$

Zhang ve Xu (2014), Denklem (4.8)'deki gibi iki pisagor bulanık sayı arasındaki mesafeyi tanımlamıştır:

$$d(\tilde{A} - \tilde{B}) = \frac{1}{2} (|(\mu_A)^2 - (\mu_B)^2| + |(v_A)^2 - (v_B)^2| + |(\pi_A)^2 - (\pi_B)^2|) \quad (4.8)$$

Bir pisagor bulanık $\tilde{A} = \langle x, (\mu, v, \pi) \rangle$ sayısı için durulaştırma işlemi (defuzzification) Denklem (4.9)'daki gibi tanımlanmıştır:

$$Def f \tilde{A} = \frac{\mu + 4\nu + \pi}{6} \quad (4.9)$$

4.2.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PFAHP)

AHP yöntemi sık kullanılan çok kriterli yaklaşımlardan biridir. Ancak karar vericilerin düşüncelerini ele almada tam değerlerin kullanılması ve ikili karşılaştırma sürecindeki belirsizlik ve dikkatsizlikleri ele almadaki yetersizliğinden dolayı eleştirilmektedir (Kargın, 2010). Bu sebeple birçok karar verme problemindeki en önemli sorunlardan biri bulanıklığın olmasıdır. Eğer çözülmesi istenen problemde belirsizlik varsa, bu belirsizliğin tolere edilebilmesi gerekir. Çeşitli problem tiplerini çözmek için birçok FAHP metodu kullanılmaktadır.

FAHP konusunda ilk çalışma, üçgensel bulanık sayılarla ifade edilen bulanık oranları kıyaslayan VanLaarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Daha sonra Buckley (1985), yamuk bulanık sayıları kullanarak bir model geliştirmiştir. İlerleyen yıllarda Liou ve Wang'ın Bulanık Sayıları Sıralama Yöntemi (1992) ve Kader ve Dugdale'in Sıralama Yöntemi (2001) geliştirilmiştir. Chang (1996) Genişletilmiş Analiz Yöntemi ile FAHP'nin ikili karşılaştırma ölçeği için üçgensel bulanık sayıları ve ikili karşılaştırmaların yapay mertebe değerleri için mertebe analizi yöntemini kullanarak FAHP'nin ele alınmasında yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur. Pek çok uygulamada Saaty'nin (1990) Analitik Hiyerarşi Sürecinin, değişik bulanık türevleri kullanılmıştır. VanLaarhoven ve Pedrycz (1983), Buckley (1985), Boender vd. (1989), Saaty'nin analitik hiyerarşi süreci üçgensel bulanık sayılar kullanarak uygulamışlardır. Buckley'in yönteminin Boender'inkinden farkı, problemin çözümünün mutlaka üçgen bulanık sayı olması gerekmemesidir (Kaptanoğlu ve Özok, 2006).

Sezgisel bulanık kümeler, 1986'da Atanassov tarafından tanıtılmış ve belirsizliği gidermek için farklı alanlardaki pek çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Örneğin, Khaleie ve Fasanghari (2012), Tan (2011) ve Das vd. (2014) karar verme problemi, tıbbi tanı (De vd., 2001; Huang vd., 2015) ve örüntü tanıma için kullanmışlardır (Papakostas vd., 2013).

Bu kümelerin karakterizasyonu, üyelik fonksiyonu, üye olmama fonksiyonu ve tereddüt derecesi açısından ifade edilebilirler. Ancak, bazı durumlarda üyelik ve üye olmama dereceleri 1'den büyük olduğunda şartları sağlayamazlar. Açıkçası, sezgisel bulanık kümeler mevcut durumu yakalayamaz. Sonuç olarak, Yager (2014) Pisagor bulanık kümeleri geliştirmiştir. Bu kümeler, sezgisel bulanık kümeler belirsizliği tanımlayamadığı zaman genişletilmiş halidir. Bu genişletme PFS'i, belirsizliği içeren problemleri çözmek için daha güçlü ve esnek araçlar yapar. Karar vericiler, IFS ile ifade edilemeyen bu kümeleri kullanmışlardır. Açıkçası, PFS'ler karmaşık karar vermede gerçek yaşam için daha uygundur (Mohagheghi vd., 2017).

Bu bölümde önerilen yöntem Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecidir ve adım adım aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

Aşama 1: Dilsel değerlendirme yapılır.

Bu aşamada, seçilen karar vericilerin probleme göre belirlenen kriterler için görüşlerini belirtmeleri gerekmektedir. İlk olarak FAHP'nin ikili olarak karşılaştırılmasının dilsel değerlendirme ölçeği değerlendirilmektedir.

Aşama 2: Bulanık sayılardaki ağırlıklar hesaplanır.

Adım 1: MCDM problemi bir hiyerarşi yapısında inşa edilmiştir. İlk sıra hedef, sonraki sıra ana kriterler ile alt kriterler ve en son sırada alternatiflerden oluşur.

Adım 2: Eşleştirme karşılaştırması yapılır.

Uzmanlardan, kararların ikili karşılaştırma matrislerinde mevcut olduğu durumlarda, A matrisinde olduğu gibi kararlarını vermeleri istenir.

Çift yönlü karşılaştırmada, karşılaştırma matrisi Şekil 4.3'de verilen A'da karar vericiler ana kriterler, alt kriterler ve alternatifleri ikili olarak karşılaştırırlar.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil 4.3. Karşılaştırma matrisi

Adım 3: Karar vericilerin tercihleri toplanır.

Bu adımda, Buckley (Buckley, 1985) tarafından önerilen geometrik ortalama, Denklem (4.10)'da gösterildiği gibi ikili karşılaştırma matrislerini toplamak için kullanılır.

$$\tilde{c} = (\tilde{c}_{ij}^1 \otimes \tilde{c}_{ij}^2 \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{ij}^n)^{1/n} \quad (4.10)$$

n, karar vericilerin sayısıdır.

Adım 4: Kriterlerin ağırlıkları belirlenir.

Her bir alternatif ve kriter matrisi Denklem (4.11) ile toplanarak oluşturulur.

$$\tilde{c}_j = (\tilde{c}_{m1} \otimes \tilde{c}_{m2} \otimes \dots \otimes \tilde{c}_{mn})^{1/n} \quad (4.11)$$

j=1,2,...,n ve m=pisagor bulanık sayıdır.

Denklem (4.12) ile w_j bulanık ağırlığı hesaplanır.

$$w_j = \tilde{c}_j \otimes (\tilde{c}_1 \oplus \tilde{c}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{c}_n)^{-1} \quad (4.12)$$

Adım 5: Kriterler ve alternatifler için toplam bulanık ağırlıkları bulunur.

Alt kriterlerin toplam ağırlığını elde etmek için, ana kriterlerin bulanık ağırlıkları ve alt kriterlerin bulanık ağırlıkları çarpılır.

$$T\tilde{w}_j = D\tilde{w}_j \otimes C\tilde{w}_j \quad (4.13)$$

Burada $D\tilde{w}_j$ boyutların (ana kriterler) ağırlıkları ve $C\tilde{w}_j$ kriterler (alt kriterler) veya öznitelik ağırlıklarıdır. Alternatiflerin ağırlıklarını hesaplamak için de buradaki tüm işlem adımları tekrarlanır.

Adım 6: Her kriterin ağırlığı durulaştırılıp normalize edilir. Kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıkları üçgen bulanık sayı gibi düşünülerek Denklem (4.14) ile durulaştırılır.

Bir PFS $\tilde{A} = \langle x, (\mu, v, \pi) \rangle$ sayısı için durulaştırma işlemi (defuzzification):

$$Def\tilde{A} = \frac{\mu + 4v + \pi}{6} \quad (4.14)$$

(Mohd ve Abdullah, 2017).

4.2.3. Alternatiflerin sıralanması

4.2.3.1. Pisagor Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Yoluyla Tercih Sıralama Metodu (PFTOPSIS)

Hwang ve Yoon (1981), TOPSIS metoduna göre seçilen alternatiflerin ideal çözüme göreceli yakınlıkları Öklid uzaklığı ile hesaplanır ve bu değerlere göre alternatiflerin sıralaması yapılır.

Bir MCDM problemi, unsurları her bir kritere göre tüm alternatiflerin değerlendirme değerlerini gösteren bir karar matrisi olarak ifade edilebilir. Pisagor bulanık ortamı altındaki belirli bir MCDM problemi için,

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \quad (m \geq 2) \quad (4.15)$$

m uygulanabilir alternatiflerin ayrık bir kümesi olsun,

$$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (4.16)$$

sonlu bir kriter kümesi ve

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (4.17)$$

tüm kriterlerin ağırlık vektörü ve

$$0 \leq w_j \leq 1 \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4.18)$$

koşulunu sağlar. Alternatif $x_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 'nin değerlendirme değerleri

$$C_j (j = 1, 2, \dots, n), C_j(x_i) = P(\mu_{ij}, \nu_{ij}) \text{ ve } R = (C_j(x_i))_{m \times n} \quad (4.19)$$

kriterine göre gösterilir ve bu bir Pisagor bulanık karar matrisidir. Bu nedenle, pisagor bulanık sayılardaki MCDM problemi aşağıdaki matris formu ile temsil edilebilir:

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} P(\mu_{11}, \nu_{11}) & P(\mu_{12}, \nu_{12}) & \dots & P(\mu_{1n}, \nu_{1n}) \\ P(\mu_{21}, \nu_{21}) & P(\mu_{22}, \nu_{22}) & \ddots & P(\mu_{2n}, \nu_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P(\mu_{m1}, \nu_{m1}) & P(\mu_{m2}, \nu_{m2}) & & P(\mu_{mn}, \nu_{mn}) \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.20)$$

Burada matrisin her bir elemanı $C_j(x_i) = P(\mu_{ij}, \nu_{ij})$ pisagor bulanık sayıdır.

Burada bahsedilen MCDM problemini pisagor bulanık sayılarla etkili bir şekilde çözmek için, aşağıda PFTOPSIS yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, en uygun alternatifin Pozitif İdeal Çözüm'den en kısa mesafeye ve Negatif İdeal Çözüm'den en uzak mesafeye sahip olması gerektiği ilkesine dayanmaktadır.

Bu nedenle, bu yaklaşım Pisagor Bulanık PIS ve Pisagor Bulanık NIS'in belirlenmesi ile başlar. Karar bilgilerinin pisagor bulanık sayı formunu aldığını göz önünde bulundurarak,

Pisagor Bulanık PIS ve Pisagor Bulanık NIS'i tanımlamak için skor fonksiyonu tabanlı karşılaştırma yaklaşımı kullanılır. Pisagor Bulanık PIS'i:

$$\begin{aligned} x^+ &= \{C_j, \max_i \{s(C_j(x_i))\} | j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{(C_1, P(\mu_1^+, v_1^+)), (C_2, P(\mu_2^+, v_2^+)), \dots, (C_n, P(\mu_n^+, v_n^+))\} \end{aligned} \quad (4.21)$$

ile gösterilir ve aşağıdaki formülle belirlenebilir:

$$\begin{aligned} D(x_i, x^+) &= \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^+)) \quad i = 1, 2, \dots, n \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2| \right) \end{aligned} \quad (4.22)$$

Genellikle en küçük $D(x_i, x^+)$ değeri olan en iyi alternatif x_i 'dir.

$$D_{min}(x_i, x^+) = \min_{1 \leq i \leq m} D(x_i, x^+) \quad (4.23)$$

Bununla birlikte, Pisagor Bulanık PIS'e en yakın mesafeye sahip alternatif, Pisagor Bulanık NIS'den en uzak olmayabilir. Pisagor Bulanık NIS x^- ile ifade edilir ve aşağıdaki formülle belirlenebilir:

$$\begin{aligned} x^- &= \{C_j, \min_i \{s(C_j(x_i))\} | j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{(C_1, P(\mu_1^-, v_1^-)), (C_2, P(\mu_2^-, v_2^-)), \dots, (C_n, P(\mu_n^-, v_n^-))\} \end{aligned} \quad (4.24)$$

$$\begin{aligned} D(x_i, x^-) &= \sum_{j=1}^n w_j d(C_j(x_i), C_j(x^-)) \quad i = 1, 2, \dots, n \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|(\mu_{ij})^2 - (\mu_j^-)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^-)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^-)^2| \right) \end{aligned} \quad (4.25)$$

Genellikle en büyük $D(x_i, x^-)$ değeri olan en iyi alternatif x_i 'dir.

$$D_{max}(x_i, x^-) = \max_{1 \leq i \leq m} D(x_i, x^-) \quad (4.26)$$

Klasik TOPSIS metodunda alternatif x_i 'nin göreceli yakınlığı PIS x^+ 'ya göre aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$RC(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D(x_i, x^+) + D(x_i, x^-)} \quad (4.27)$$

$RC(x_i)$ yakınlık indeksine göre, tüm alternatiflerin sıralanma sıraları ve en uygun alternatifler belirlenebilir (Zhang ve Xu, 2014).

4.2.3.2. Pisagor Bulanık Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Metodu (PFVIKOR)

VIKOR metodu Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından MCDM problemlerinde uygulanabilir bir sıralama yöntemi olarak önerilmiştir. VIKOR metodu birden çok kriterin değerlendirildiği MCDM problemlerinde alternatifler arasından uzlaşık (ortak bir kabul-ideal çözüme en yakın uygun) bir çözüme ulaşmayı hedeflemektedir. VIKOR temelinde ideal çözüme olan yakınlık ölçümüne dayanmaktadır ve her alternatifin her kriter bakımından değerlendirildiği düşünüldüğünde, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralama yapmaktadır. VIKOR metodunda, problemde yer alan bir kriter maliyeti temsil ediyorsa kriterin yönü min; faydayı temsil ediyorsa kriterin yönü max şeklinde ifade edilmektedir (Lezki, 2016). Pisagor bulanık sayıları ile geliştirilen Mohd vd. (2019) önerdiği PFVIKOR metodunun çözüm aşamaları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Alternatifler için kriter fonksiyonunun değeri B_{ij} bulunur ve en iyi B_{ij}^* ve en kötü B_{ij}^- değerleri hesaplanır.

$$B_j^* = \max[B_{ij} | i = 1, 2, \dots, n], B_j^- = \min[B_{ij} | i = 1, 2, \dots, n] \text{ fayda kriteri (benefit PIS+)}$$

$$B_j^* = \min[B_{ij} | i = 1, 2, \dots, n], B_j^- = \max[B_{ij} | i = 1, 2, \dots, n] \text{ maliyet kriteri (cost NIS-)}$$

Adım 2: Ayırma ölçüsü indeksi S_i (utility-yarar) Ortalama Grup Faydası ve R_i (maximal regret-azami pişmanlık) En Büyük Pişmanlık değerleri hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{B_j^* - B_{ij}}{B_j^* - B_j^-} \quad (4.28)$$

$$R_i = \max \left[w_j \frac{B_j^* - B_{ij}}{B_j^* - B_j^-} \right] \quad (4.29)$$

Adım 3: VIKOR indeksi $Q_i, i = 1, 2, \dots, n$ hesaplanır.

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (4.30)$$

$$S^* = \min S_i, S^- = \max S_i, R^* = \min R_i, R^- = \max R_i \quad (4.31)$$

Kriterlerin çoğunluğunun ağırlığı v (maksimum grup faydası) ve $(1-v)$ minimum pişmanlığın ağırlığıdır. Uzmanlar uzlaşma çoğunluk oyu $v > 0,5$ ise olumlu, $v = 0,5$ ise uzlaşmacı, $v < 0,5$ ise olumsuz tutum sergilemektedir.

Adım 4: S_i, R_i ve Q_i değerlerine göre alternatifler sıralanır. Minimum Q_i değeri en iyi alternatif olsa da aşağıdaki koşulları karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek gerekir.

S_i, R_i ve Q_i değerleri artan düzende sıralanır.

Koşul 1: Kabul edilebilir avantaj:

$$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ \quad (4.32)$$

$A^{(1)}$, Q 'ya göre en iyi ya da ilk sıradaki alternatifken $A^{(2)}$ ikinci sıradaki alternatifi gösterir. G toplam alternatif sayısıdır.

$$DQ = \frac{1}{G-1} \quad (4.33)$$

Koşul 2: Karar vermede kabul edilebilir istikrar. $A^{(1)}$ alternatifi aynı zamanda S ve/veya R içinde en iyi derecelendirilen olmalıdır.

İlk sıradaki en iyi olarak kabul edilen alternatiftir. Bu alternatifler bu koşulları sağlamazsa, aşağıdaki çözüm dikkate alınır.

$A^{(1)}$ ve $A^{(2)}$ alternatifleri koşul 2'yi sağlamazsa,

$A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(G)}$ koşul 1 sağlanmazsa ve $A^{(G)}$ aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Q(A^{(G)}) - Q(A^{(1)}) < DQ \quad (4.34)$$

(Mohd vd., 2019).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Türkiye'de Sürdürülebilir Enerji Planlaması

Bu çalışmada Türkiye’de sürdürülebilir enerji planlanmasında kullanılacak en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi için bir Çok Kriterli Karar Verme yöntemi olan Pisagor Bulanık Sayıları ile çözümlenen Analitik Hiyerarşi Süreci önerilmiştir. Bu yöntem yenilenebilir enerji kaynağı seçiminde ilk olarak bu çalışmada uygulanmış olup devamında da Pisagor Bulanık Sayıları ile TOPSIS ve VIKOR modellerine göre yenilenebilir enerji kaynakları sıralanmıştır. Her iki modele göre elde edilen çözümler karşılaştırılmış ve oluşturulan modellerin duyarlılık analizi yapılmıştır.

5.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecinin Çözülmesi

Ek Açıklama-A’da yer alan Etik Kurul kararının alınmasıyla birlikte 2020 yılı Ağustos ayı itibarıyla enerji alanındaki uzman kişiler ile görüşülerek süreç 4. Bölümde önerilen çok kriterli karar verme modellerinden Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi ile çözümlenmiş ve daha sonrasında PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemleriyle alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Tüm hesaplama işlemleri ve grafikler MS Excel’de yapılmıştır.

Problemin çözümlenmesi aşamasında ilk olarak ana kriterler ikili olarak karşılaştırılmış ve uzmanların değerlendirmesine göre hesaplanan ana kriterlerin Pisagor Bulanık Ağırlıkları $P(\mu_p(x), v_p(x))$ Çizelge 5.1’de ve önem ağırlıkları (importance weight) olarak ifade edilen öncelik değerleri de Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana kriterlerin pisagor bulanık ağırlıkları

Ana Kriter Ağırlıkları	$\mu_p(x)$	$v_p(x)$
W1	0,22	0,21
W2	0,15	0,13
W3	0,15	0,14
W4	0,27	0,28
W5	0,23	0,23

Çizelge 5.2. Ana kriterlerin önem ağırlıkları

Ana Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5
W	0,21	0,14	0,15	0,27	0,23

Ana kriterlerin ikili karşılaştırılmasından sonra her ana kriterin altında bulunan alt kriterler kendi aralarında ikili olarak karşılaştırılmıştır ve hesaplanan toplam alt kriterlerin ağırlıkları Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Alt kriter ağırlıkları

Alt Kriter Ağırlıkları	$\mu_p(x)$	$\nu_p(x)$	Alt Kriter Ağırlıkları	$\mu_p(x)$	$\nu_p(x)$
w11	0,04	0,03	w35	0,02	0,03
w12	0,04	0,03	w36	0,01	0,02
w13	0,02	0,02	w37	0,02	0,03
w14	0,04	0,03	w41	0,05	0,06
w15	0,04	0,03	w42	0,06	0,08
w16	0,02	0,02	w43	0,05	0,06
w17	0,04	0,03	w44	0,05	0,05
w21	0,09	0,04	w45	0,04	0,05
w22	0,06	0,03	w51	0,04	0,03
w23	0,06	0,02	w52	0,06	0,06
w31	0,03	0,03	w53	0,04	0,05
w32	0,02	0,02	w54	0,05	0,05
w33	0,01	0,02	w55	0,04	0,04
w34	0,02	0,03			

Çözümlemede alt kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan alternatifler her bir alt kritere göre ikili olarak karşılaştırılmıştır ve bulunan alt kriterlere göre alternatiflerin ağırlıkları Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Alternatiflerin ağırlıkları

Kriterler	Alternatifler									
	A1 (Rüzgâr)		A2 (Güneş)		A3 (Su)		A4 (Jeotermal)		A5 (Biyokütle)	
	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$
C11	0,00607	0,00518	0,00488	0,00363	0,00802	0,00959	0,00923	0,00975	0,00695	0,00695
C12	0,00765	0,00474	0,00659	0,00387	0,00949	0,00602	0,01193	0,00871	0,00534	0,00341
C13	0,00604	0,00344	0,00445	0,00227	0,00522	0,00267	0,00634	0,00427	0,00408	0,00305
C14	0,00619	0,00627	0,00529	0,00424	0,00979	0,00949	0,00960	0,00927	0,00745	0,00648
C15	0,00647	0,00685	0,00432	0,00488	0,00973	0,00912	0,00789	0,00749	0,00662	0,00537
C16	0,00570	0,00251	0,00596	0,00208	0,00619	0,00223	0,00808	0,00288	0,00593	0,00214
C17	0,00953	0,00722	0,00477	0,00440	0,00621	0,00645	0,00960	0,00760	0,00671	0,00567
C21	0,01685	0,00812	0,01432	0,00891	0,02557	0,01293	0,01462	0,00948	0,01086	0,00597
C22	0,00955	0,00383	0,00832	0,00366	0,01163	0,00596	0,01537	0,00776	0,01824	0,00744
C23	0,00786	0,00363	0,00743	0,00321	0,00922	0,00469	0,01440	0,0068	0,01418	0,00527
C31	0,00373	0,00528	0,00327	0,00502	0,00714	0,01118	0,00510	0,00828	0,00424	0,00702
C32	0,00278	0,00513	0,00232	0,00327	0,00446	0,00674	0,00342	0,00534	0,00323	0,00511
C33	0,00246	0,00723	0,00198	0,00575	0,00168	0,00555	0,00237	0,00817	0,00153	0,00485
C34	0,00281	0,00766	0,00248	0,00753	0,00296	0,00691	0,00270	0,00619	0,00221	0,00501
C35	0,00279	0,00500	0,00270	0,00434	0,00314	0,00532	0,00386	0,00681	0,00334	0,00602
C36	0,00181	0,00414	0,00182	0,00363	0,00209	0,00396	0,00299	0,00598	0,00216	0,00470
C37	0,00221	0,00488	0,00249	0,00515	0,00267	0,00591	0,00400	0,00775	0,00390	0,00703
C41	0,00696	0,01051	0,00901	0,01044	0,00583	0,01051	0,01060	0,01739	0,00944	0,01458
C42	0,01103	0,01464	0,00757	0,01044	0,01097	0,01547	0,01524	0,02412	0,01264	0,01926
C43	0,00814	0,01273	0,00687	0,00980	0,00811	0,01518	0,01065	0,01710	0,00934	0,01410
C44	0,00797	0,01859	0,00744	0,01425	0,00501	0,01006	0,00659	0,01438	0,00740	0,01502
C45	0,00816	0,01364	0,00674	0,01053	0,00602	0,01071	0,00738	0,01408	0,00664	0,01080
C51	0,00494	0,00624	0,00706	0,01013	0,00594	0,00706	0,00883	0,01135	0,00740	0,00848
C52	0,01071	0,01990	0,00728	0,01387	0,00880	0,01562	0,01001	0,01650	0,00842	0,01285
C53	0,00526	0,01037	0,00649	0,01077	0,00655	0,01326	0,00762	0,01373	0,00823	0,01379
C54	0,00882	0,01294	0,00724	0,01005	0,00849	0,01155	0,00896	0,01214	0,00827	0,01097
C55	0,00350	0,00770	0,00389	0,00421	0,00513	0,00892	0,00956	0,01285	0,00688	0,01076

Alternatiflerin ağırlıkları alt kriterlere göre geometrik toplamları alınarak ana kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu değerlere göre pisagor bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Pisagor bulanık karar matrisindeki değerler durulaştırılmış değerlere göre şekilsel olarak alternatiflerin sıralaması hakkında fikir sağlamaktadır. Bu nedenle Denklem (4.14)’e göre durulaştırma işlemleri yapılmıştır. Fakat kesin olarak alternatiflerin sıralanması için PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemleri ile problemin çözümüne devam edilmektedir.

Çizelge 5.5. Pisagor bulanık karar matrisi

Pisagor Bulanık Karar Matrisi (Pythagorean Fuzzy Decision Matrix)										
Alternatifler	C1		C2		C3		C4		C5	
	Geometrik Ort.		Geometrik Ort.		Geometrik Ort.		Geometrik Ort.		Geometrik Ort.	
	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$	$\mu_P(x)$	$\nu_P(x)$
A1	0,00671	0,00488	0,01082	0,00484	0,00260	0,00549	0,00835	0,01378	0,00612	0,01051
A2	0,00513	0,00347	0,00960	0,00472	0,00240	0,00479	0,00748	0,01099	0,00623	0,00915
A3	0,00759	0,00568	0,01400	0,00713	0,00310	0,00622	0,00690	0,01216	0,00683	0,01085
A4	0,00880	0,00661	0,01480	0,00794	0,00339	0,00685	0,00965	0,01708	0,00896	0,01320
A5	0,00605	0,00437	0,01411	0,00617	0,00279	0,00560	0,00887	0,01451	0,00782	0,01121

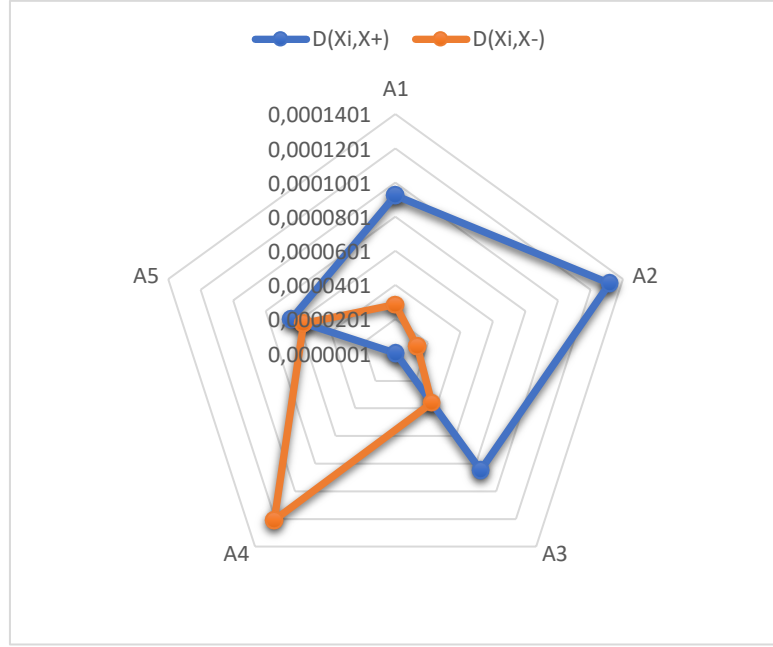
Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile elde edilen alternatiflerin kriterlere göre ağırlıkları alternatiflerin sıralanması için bulanık karar matrisine dönüştürülmüş ve devamında 4. Bölümde yer verilen PFTOPSIS yöntemi ile çözümlenmeler yapılmıştır. Çözüm aşamasında çalışmada kurulan yenilenebilir enerji kaynağının seçimi problemi bir maliyet problemi olduğundan çözümlenmeler TOPSIS yaklaşımında Negatif İdeal Çözüm'e göre yapılmış ve sıralamalar negatif ideal çözüm noktasına olan uzaklıklara göre elde edilmiştir.

PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

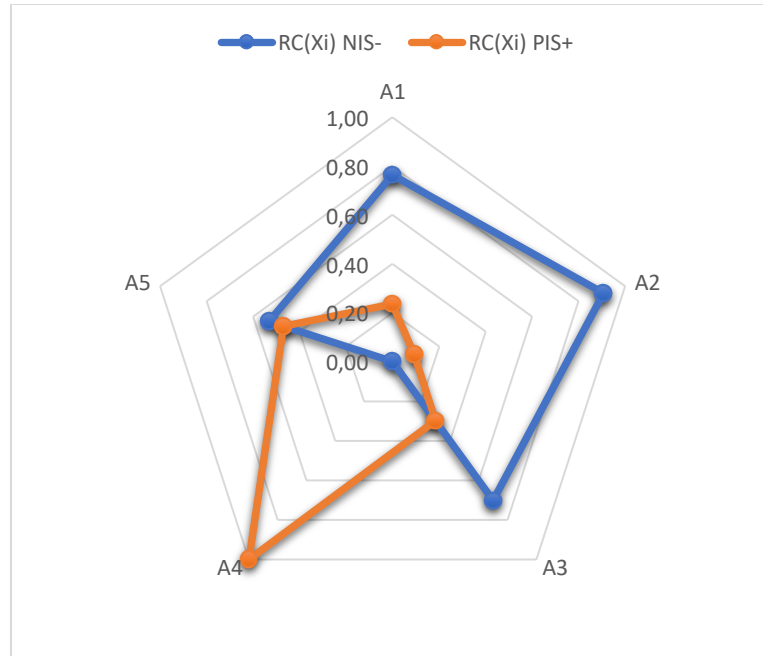
Çizelge 5.6. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

	D(Xi,X+)	D(Xi,X-)	RC(Xi) NIS-	Sıralama	RC(Xi) PIS+
A1	0,0000925	0,0000287	0,764	2	0,236
A2	0,0001321	0,0000135	0,907	1	0,093
A3	0,0000850	0,0000361	0,701	3	0,299
A4	0,0000000	0,0001212	0,000	5	1,000
A5	0,0000645	0,0000566	0,532	4	0,468

PFTOPSIS yöntemine göre A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması d uzaklıklarına göre Şekil 5.1' deki ve RC göreceli değerine göre Şekil 5.2'de radar grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması



Şekil 5.2. RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’den NIS değerlerine göre A2 alternatifi Güneş’in referans noktasına en uzak, PIS’ye göre ise en yakın nokta olduğu görülmektedir ve bu nedenle en iyi sürdürülebilir enerji kaynağı olarak ilk sırada bulunur. İkinci sırada A1 (Rüzgâr), üçüncü

sırada A3 (Su), dördüncü sırada A5 (Biyokütle) ve en son olarak da A4 (Jeotermal) enerji bulunmuştur.

Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci ile elde edilen alternatiflerin kriterlere göre ağırlıkları alternatiflerin sıralanması için bulanık karar matrisine dönüştürülmüş ve devamında 4. Bölümde yer verilen PFVIKOR yöntemi ile çözümlenmeler yapılmıştır. Çözüm aşamasında çalışmada kurulan yenilenebilir enerji kaynağının seçimi problemi bir maliyet problemi olduğundan çözümlenmeler en az maliyet kısıtına göre yapılmış ve alternatiflerin sıralaması küçükten büyüğe doğru S, R ve Q değerlerinin sıralanmasıyla elde edilmiştir.

PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir. Q_i değerleri maksimum grup faydası $v=0,5$ ve minimum pişmanlık $1-v=0,5$ değerlerine göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri

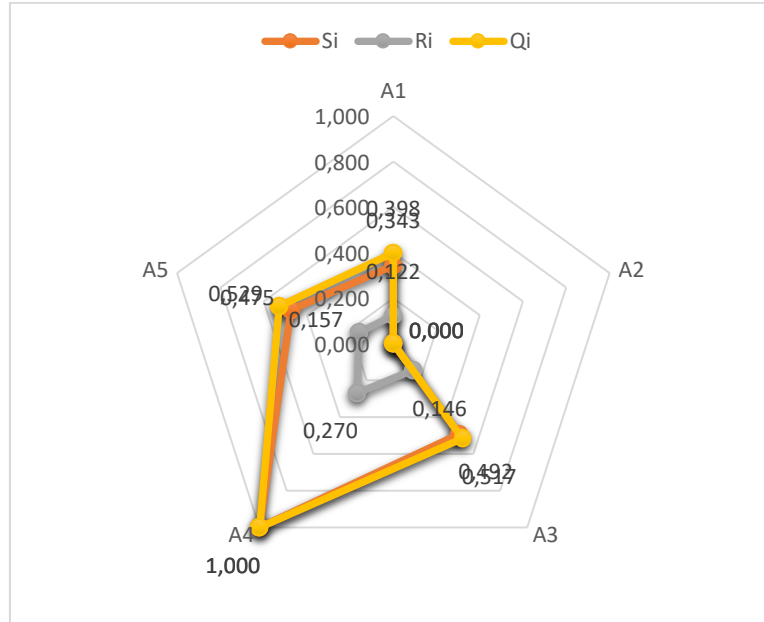
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,343	0,122	0,398
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,492	0,146	0,517
A4	1,000	0,270	1,000
A5	0,475	0,157	0,529

Bulunan değerlerin küçükten büyüğe doğru sıralaması Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. S_i , R_i ve Q_i değerlerinin küçükten büyüğe sıralaması

Alternatiflerin Sıralaması					
S_i	A2	A1	A5	A3	A4
R_i	A2	A1	A3	A5	A4
Q_i	A2	A1	A3	A5	A4

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Vikor indeksi Q_i değerine göre sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Referans noktasına olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.3' deki radar grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Referans noktasına olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması

PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Her iki yöntemle aynı sıralama elde edilmiştir. Pisagor bulanık sayılarının AHP ile PFTOPSIS ve PFVIKOR sıralama yöntemleriyle birlikte modellenmesinin hassasiyetinin test edilmesi için duyarlılık analizi yapılmıştır.

5.3. Duyarlılık Analizi

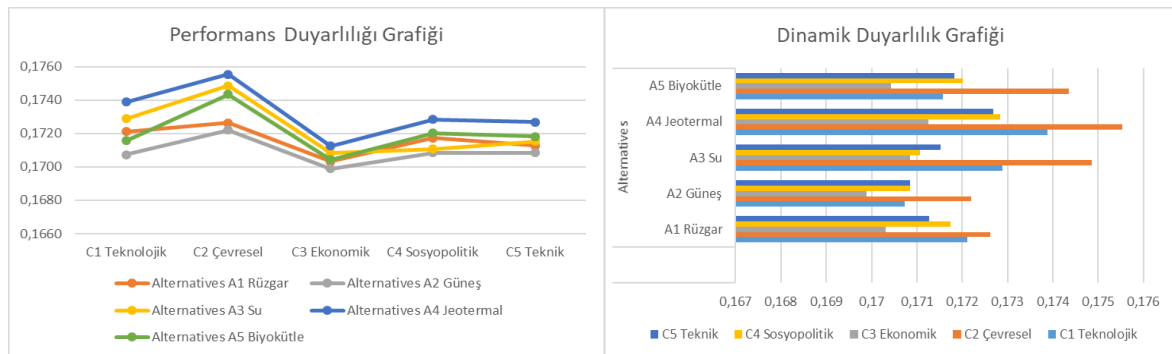
Alternatiflerin nihai öncelikleri, büyük ölçüde ana kriterlere eklenen ağırlıklara bağlıdır. Bu nedenle nispi ağırlıklardaki küçük değişiklikler, nihai sıralamada büyük değişikliklere neden olabilir. Bu ağırlıklar genellikle kişiden kişiye değişebilen oldukça öznel yargılara dayandığından, değişen ölçüt ağırlıkları altında sıralamanın kararlılığı test edilmelidir. Bu amaçla, gelecekteki alternatif gelişmeleri yansıtan senaryolara veya kriterlerin göreceli önemine ilişkin farklı görüşlere dayalı olarak duyarlılık analizi yapılabilir (Chang vd., 2007).

Bireysel kriterlerin ağırlığının artırılması veya azaltılması yoluyla, önceliklerde ortaya çıkan değişiklikler ve alternatiflerin sıralaması gözlemlenebilir. Duyarlılık analizi bu nedenle sıralamanın istikrarı hakkında bilgi sağlar. Sıralama, kriter ağırlıklarındaki küçük

değişikliklere karşı oldukça duyarlıysa, ağırlıkların dikkatli bir şekilde gözden geçirilmesi önerilir. Bu amaçla, önemli kriterlerin ağırlıkları ayrı ayrı değiştirilerek % 0 ile % 100 arasındaki ağırlıkları simüle edilir. Sürdürülebilir enerji planlamasında en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçilmesi açısından kriterlerin öneminin değiştirilmesi, çeşitli seviyelerde dilsel değerlendirme gerektirdiğinden, hassasiyet analizleri gereklidir.

Duyarlılık analizinin amacı, karar verme sürecinin nihai sonuçları üzerindeki modelleme parametrelerinin, bu çalışmadaki kriter ağırlıklarının hassasiyetini veya etkisini belirlemektir. Bu nedenle PFAHP ile PFTOPSIS ve PFVIKOR'dan elde edilen alternatiflerin sıralamalarına kriter ağırlıklarının etkisini değerlendirmek için 12 farklı senaryo oluşturularak deneyler yapılmıştır. Oluşturulan senaryolar ve çıkan sonuçlara göre alternatiflerin sıralamaları aşağıdaki gibidir.

Senaryo 1: C1 (Teknolojik) ana kriterinin önem ağırlığı en büyük, diğer ana kriterlerin önem ağırlıkları en küçük olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. C1 (Teknolojik) kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,41 olarak, diğerleri 0,19 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Senaryo 1 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.4'de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Çevresel kriterinde ağırlıklar pik yapmıştır. Şekil 5.4'de verilen dinamik duyarlılık grafiği

ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde çevresel ana kriterinin ağırlığının en yüksek, ekonomik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük (en az maliyet) olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.9’ da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Senaryo 1 S_i , R_i ve Q_i değerleri

Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,392	0,181	0,387
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,654	0,283	0,622
A4	1,169	0,413	1,000
A5	0,517	0,121	0,368

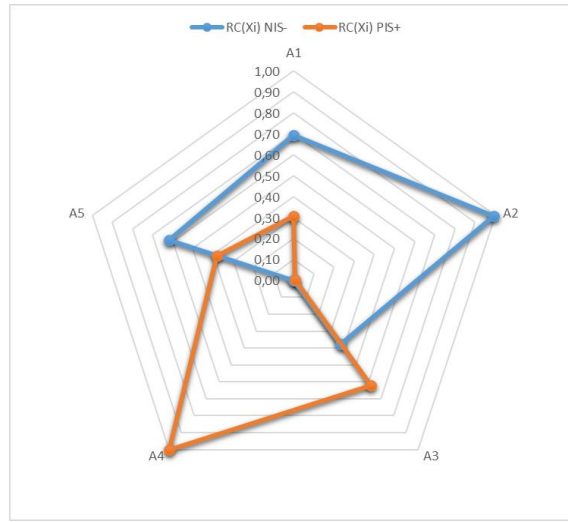
PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A5 (Biyokütle)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.10’ da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Senaryo 1 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0002390	0,0001053	0,69	2	0,31
A2	0,0003444	0,0000028	0,99	1	0,01
A3	0,0001299	0,0002144	0,38	4	0,62
A4	0,0000000	0,0003443	0,00	5	1,00
A5	0,0002124	0,0001318	0,62	3	0,38

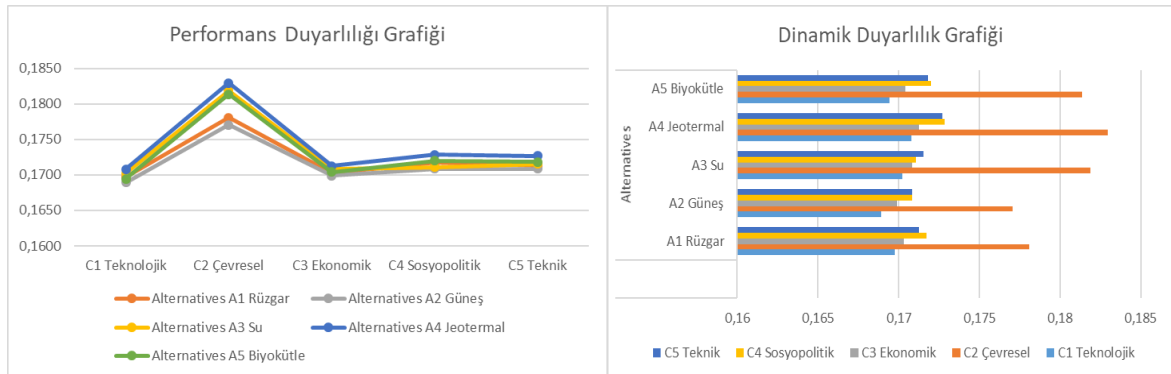
PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.5’deki radar grafik ile gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde NIS’ye göre A2 (Güneş) enerjisinin referans noktasına en uzak, PIS’ye göre A4 (Jeotermal) enerjisinin en uzak olduğu görülmektedir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sıradayken A4 (Jeotermal) enerji ise en son sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri

karşılaştırıldığında A1 (Rüzgâr) ve A5 (Biyokütle) enerjisinin sıralamasında değişiklik olduğu görülmektedir.



Şekil 5.5. Senaryo 1 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 2: C2 (Çevresel) ana kriterinin ağırlığı en büyük, diğer ana kriterlerin ağırlıkları en küçük olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. C2 (Çevresel) kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,41 olarak, diğerleri 0,19 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.6. Senaryo 2 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.6’da verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. A4 (Jeotermal) enerjinin ise en sonda olduğu görülmektedir. Çevresel kriterinde ağırlıklar

maksimum düzeydedir. Şekil 5.6'da verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde çevresel ana kriterinin ağırlığının en yüksek teknolojik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük (en az maliyet) olduğu görülmektedir. Jeotermalde ise tüm ana kriter ağırlıkları en yüksek ağırlıklardır. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Senaryo 2 S_i , R_i ve Q_i değerleri

Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,341	0,084	0,248
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,689	0,337	0,702
A4	1,169	0,413	1,000
A5	0,640	0,302	0,639

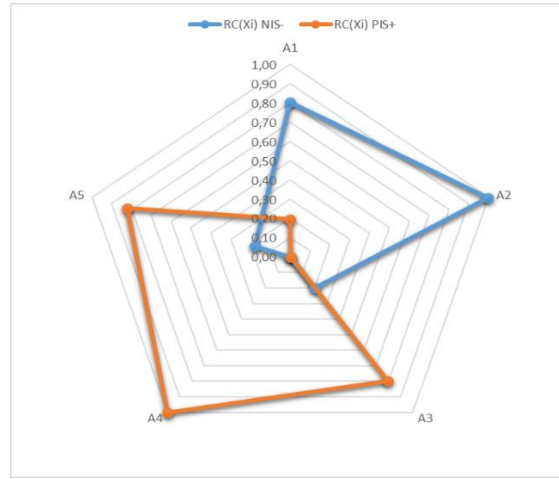
PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Senaryo 2 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0010359	0,0002534	0,80	2	0,20
A2	0,0012894	0,0000028	1,00	1	0,00
A3	0,0002582	0,0010311	0,20	3	0,80
A4	0,0000000	0,0012893	0,00	5	1,00
A5	0,0002286	0,0010607	0,18	4	0,82

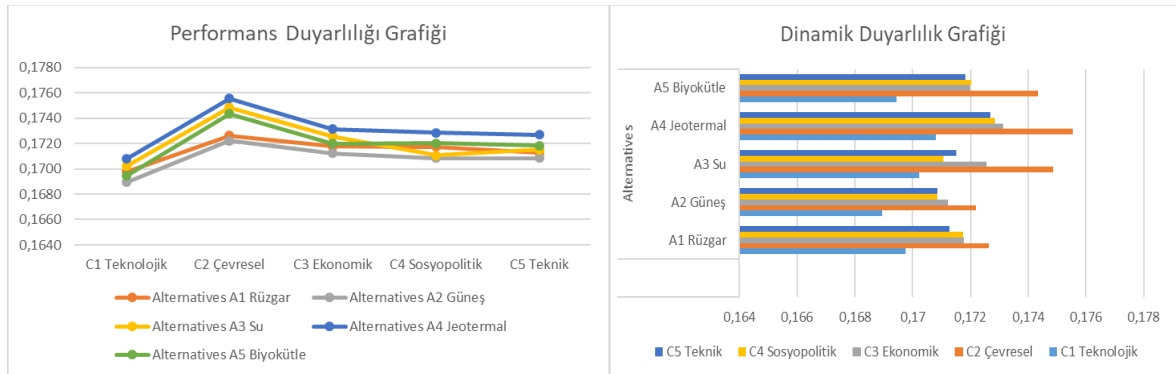
PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)>A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.7'deki radar grafik ile gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde NIS'ye göre A2 (Güneş) enerjisinin referans noktasına en uzak, PIS'ye göre A4 (Jeotermal) enerjisinin en uzak olduğu görülmektedir. Güneş enerjisi birinci sıradayken jeotermal enerji

ise en son sırada bulunmuştur. PFKIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında A3 (Su) ve A5 (Biyokütle) enerjisinin sıralamasında değişiklik olduğu görölmektedir.



Şekil 5.7. Senaryo 2 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 3: C3 (Ekonomik) ana kriterinin ağırlığı en büyük, diğer ana kriterlerin ağırlıkları en küçük olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. C3 (Ekonomik) kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,41 olarak, diğerleri 0,19 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8. Senaryo 3 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.8’de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görölmektedir. Sosyopolitik kriterine göre alternatiflerin sıralamalarında değişiklikler olduğu

görülmektedir. Şekil 5.8’de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde çevresel ana kriterinin ağırlığının en yüksek, teknolojik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük (en az maliyet) olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.13’de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Senaryo 3 S_i , R_i ve Q_i değerleri

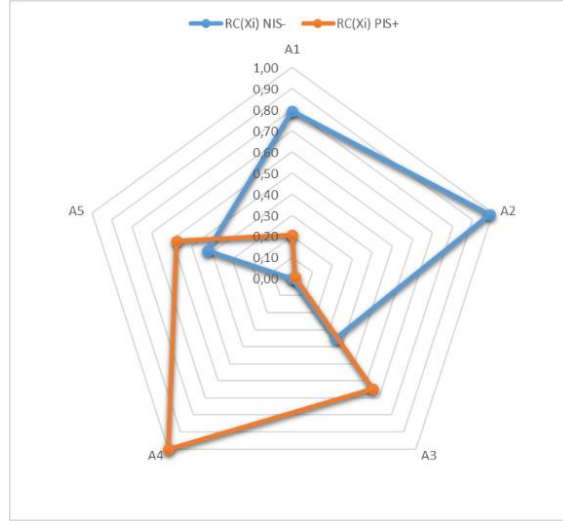
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,355	0,119	0,296
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,660	0,290	0,633
A4	1,169	0,413	1,000
A5	0,547	0,163	0,431

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Senaryo 3 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

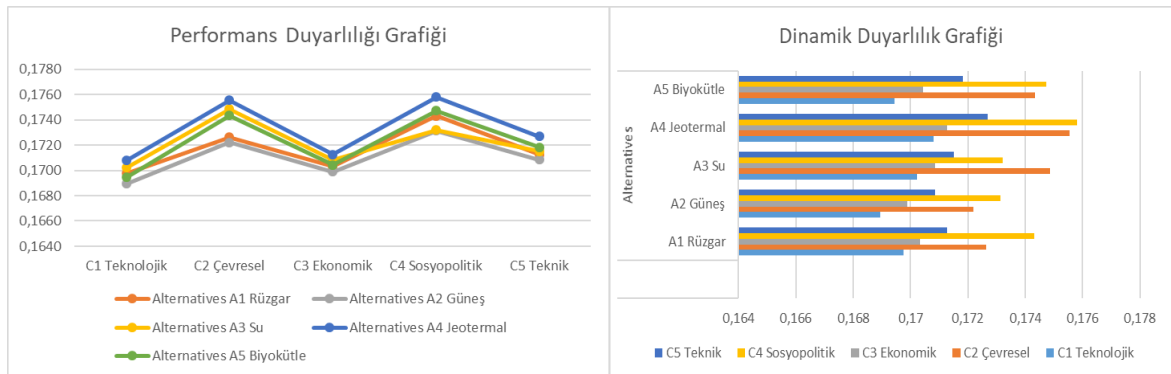
	$D(X_i, X^+)$	$D(X_i, X^-)$	$RC(X_i) NIS^-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS^+$
A1	0,0001471	0,0000381	0,79	2	0,21
A2	0,0001853	0,0000028	0,98	1	0,02
A3	0,0000650	0,0001201	0,35	4	0,65
A4	0,0000000	0,0001852	0,00	5	1,00
A5	0,0000780	0,0001072	0,42	3	0,58

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.9’daki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sıradayken A4 (Jeotermal) enerji ise en son sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.9. Senaryo 3 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 4: C4 (Sosyopolitik) ana kriterinin ağırlığı en büyük, diğer ana kriterlerin ağırlıkları en küçük olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. C4 (Sosyopolitik) kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,41 olarak, diğerleri 0,19 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Senaryo 4 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.10'da verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Çevresel ve sosyopolitik kriterlerinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.10'da verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde sosyopolitik ana kriterinin

ağırlığının en yüksek, teknolojik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük (en az maliyet) olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15. Senaryo 4 S_i , R_i ve Q_i değerleri

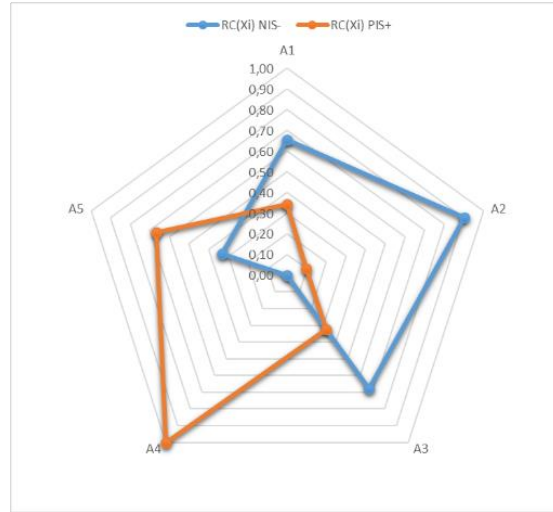
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,391	0,181	0,386
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,494	0,150	0,393
A4	1,169	0,413	1,000
A5	0,595	0,248	0,554

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16. Senaryo 4 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

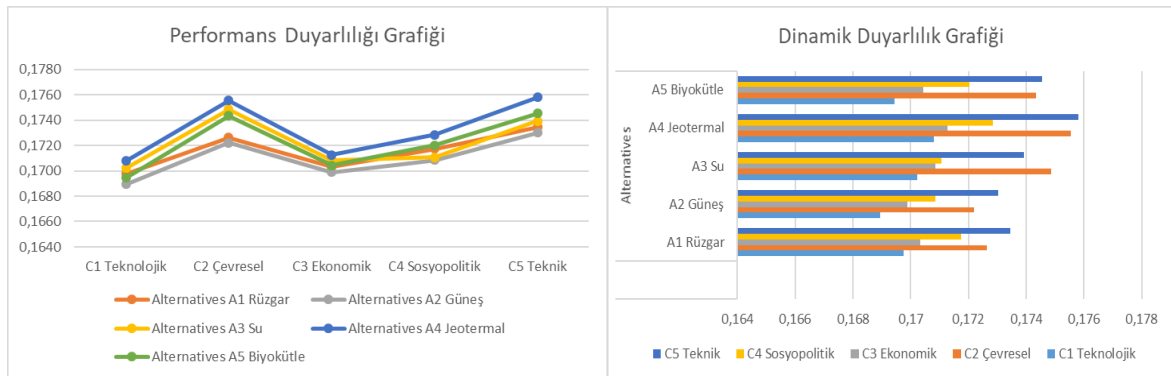
	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0001742	0,0000913	0,66	3	0,34
A2	0,0002438	0,0000259	0,90	1	0,10
A3	0,0001799	0,0000857	0,68	2	0,32
A4	0,0000000	0,0002655	0,00	5	1,00
A5	0,0000883	0,0001772	0,33	4	0,67

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A3 (Su)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.11’deki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sıradayken A3 (Su) ise ikinci sırada ve A4 (Jeotermal) enerji ise en son sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında A1 (Rüzgâr) ve A3 (Su) enerjisinin sıralamasında değişiklik olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11. Senaryo 4 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 5: C5 (Teknik) ana kriterinin ağırlığı en büyük, diğer ana kriterlerin ağırlıkları en küçük olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. C5 (Teknik) kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,41 olarak, diğerleri 0,19 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Senaryo 5 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.12’de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Çevresel ve teknik kriterlerinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.12’de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde teknik ana kriterinin ağırlığının en yüksek, teknolojik ana kriterinin

ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük (en az maliyet) olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Senaryo 5 S_i , R_i ve Q_i değerleri

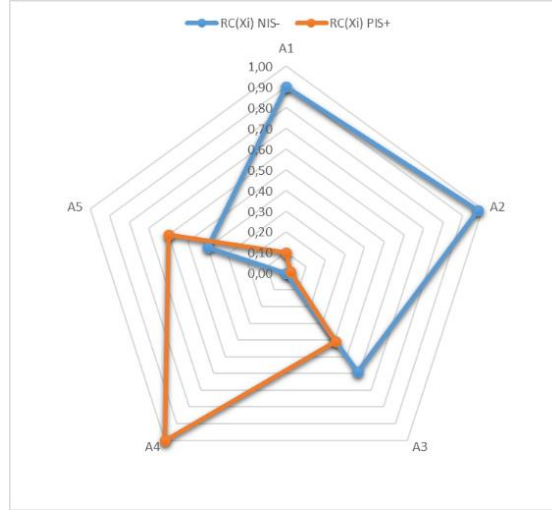
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,314	0,084	0,237
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,567	0,150	0,424
A4	1,169	0,413	1,000
A5	0,584	0,225	0,522

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18. Senaryo 5 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

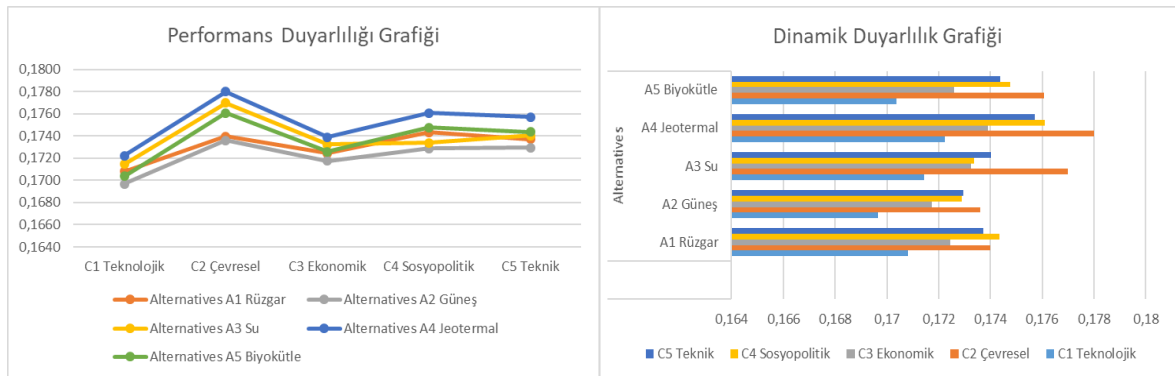
	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0002631	0,0000286	0,90	2	0,10
A2	0,0002886	0,0000069	0,98	1	0,02
A3	0,0001723	0,0001193	0,59	3	0,41
A4	0,0000000	0,0002916	0,00	5	1,00
A5	0,0001167	0,0001749	0,40	4	0,60

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.13’deki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.13. Senaryo 5 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 6: Tüm ana kriterlerin ağırlıkları eşit ve ağırlıkların toplamı 1 olacak şekilde ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. Tüm ana kriterlerinin önem derecesi ağırlığı 0,20 ve toplamları 1 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.14. Senaryo 6 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.14’de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Çevresel kriterinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.14’de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde çevresel ana kriterinin ağırlığının en yüksek, teknolojik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı

görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük (en az maliyet) olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.19’da verilmiştir. PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.19. Senaryo 6 S_i , R_i ve Q_i değerleri

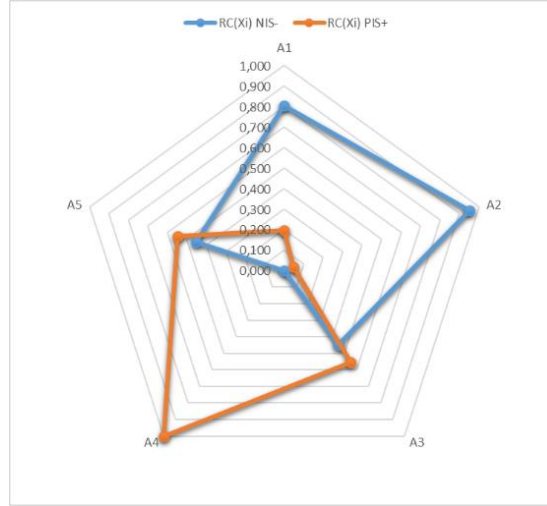
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,320	0,091	0,386
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,543	0,155	0,659
A4	1,000	0,200	1,000
A5	0,468	0,117	0,525

PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Senaryo 6 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

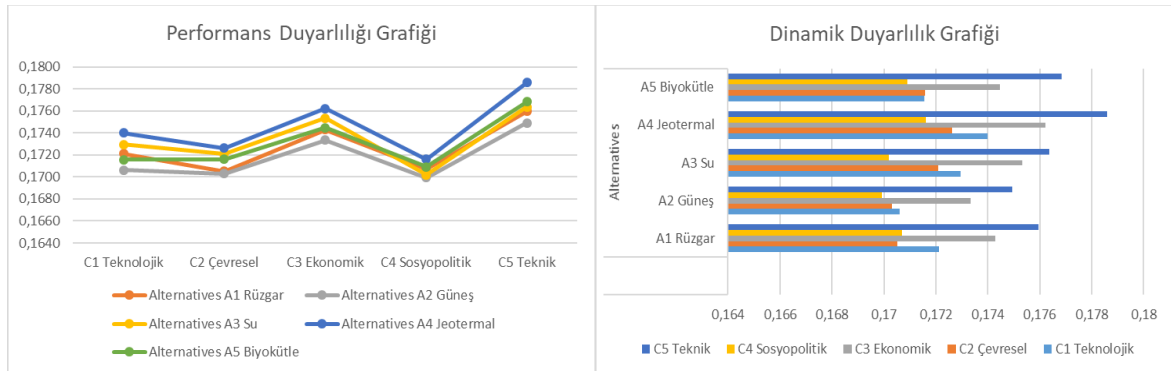
	$D(X_i, X^+)$	$D(X_i, X^-)$	$RC(X_i) NIS^-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS^+$
A1	0,0001034	0,0000253	0,80	2	0,20
A2	0,0001346	0,0000070	0,95	1	0,05
A3	0,0000576	0,0000712	0,45	4	0,55
A4	0,0000000	0,0001287	0,00	5	1,00
A5	0,0000583	0,0000704	0,45	3	0,55

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.15’deki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.15. Senaryo 6 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 7: En büyük öncelik ağırlığına ($w_i=0,27$) sahip olan C4 (Sosyopolitik) ve en küçük öncelik ağırlığına ($w_i=0,14$) sahip olan C2 (Çevresel) kriterlerine en az ağırlık verilerek ve diğer kriterlere eşit ağırlıklar verilerek ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. Çevresel ve sosyopolitik ana kriterlerinin önem derecesi ağırlığı 0,10 ve diğerleri 0,26 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Senaryo 7 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.16'da verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Ekonomik ve teknik kriterlerinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.16'da verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana

kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde teknik ana kriterinin ağırlığının en yüksek, sosyopolitik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Senaryo 7 S_i , R_i ve Q_i değerleri

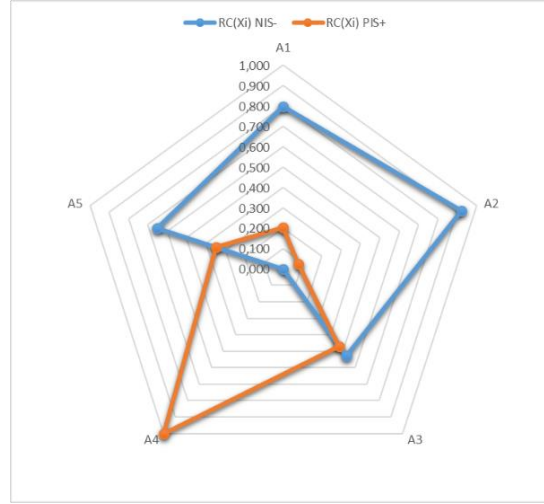
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,335	0,117	0,390
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,568	0,184	0,633
A4	1,000	0,263	1,000
A5	0,435	0,137	0,477

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22. Senaryo 7 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

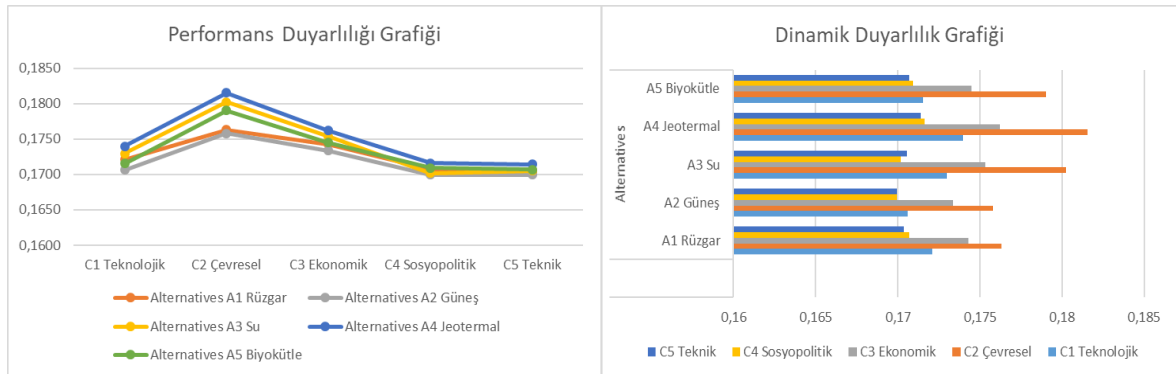
	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0000874	0,0000221	0,80	2	0,20
A2	0,0001188	0,0000100	0,92	1	0,08
A3	0,0000580	0,0000515	0,53	4	0,47
A4	0,0000000	0,0001095	0,00	5	1,00
A5	0,0000713	0,0000381	0,65	3	0,35

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.17’deki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.17. Senaryo 7 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 8: En büyük öncelik ağırlığına sahip olan C4 (Sosyopolitik) ($w_i=0,27$) ve C5 (Teknik) ($w_i=0,23$) kriterlerine en az ağırlık verilerek ve diğer kriterlere eşit ağırlıklar verilerek ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. Teknik ve sosyopolitik ana kriterlerinin önem derecesi ağırlığı 0,10 ve diğerleri 0,26 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Senaryo 8 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.18’de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Çevresel kriterinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.18’de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde çevresel

ana kriterinin ağırlığının en yüksek, teknik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.23’de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Senaryo 8 S_i , R_i ve Q_i değerleri

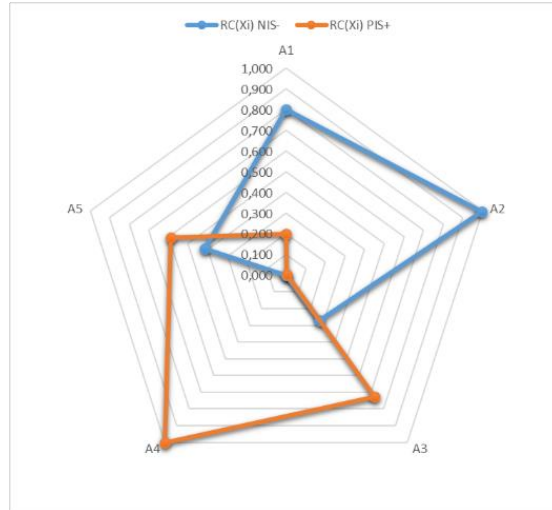
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,304	0,117	0,374
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,629	0,204	0,701
A4	1,000	0,263	1,000
A5	0,441	0,148	0,501

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.24’de verilmiştir.

Çizelge 5.24. Senaryo 8 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

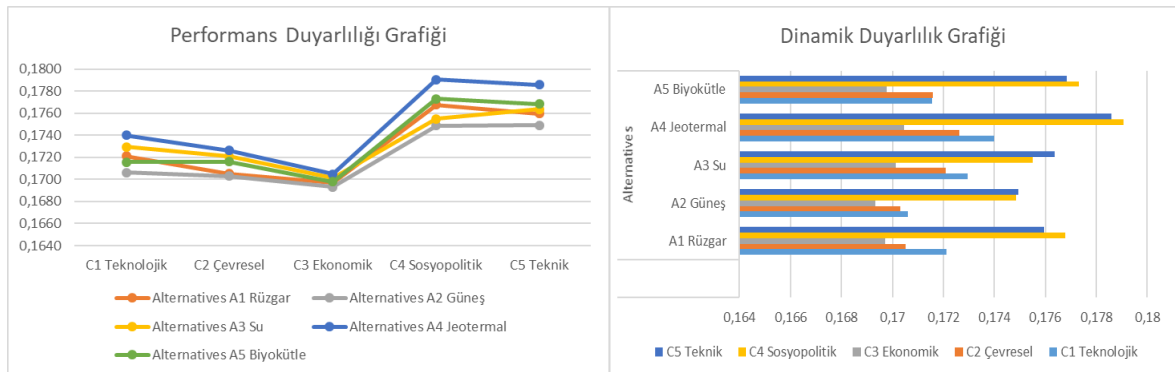
	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0001729	0,0000431	0,80	2	0,20
A2	0,0002168	0,0000010	0,99	1	0,01
A3	0,0000588	0,0001572	0,27	4	0,73
A4	0,0000000	0,0002160	0,00	5	1,00
A5	0,0000892	0,0001267	0,41	3	0,59

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.19’daki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.19. Senaryo 8 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 9: En küçük öncelik ağırlığına sahip olan C2 (Çevresel) ($w_i=0,14$) ve C3 (Ekonomik) ($w_i=0,15$) kriterlerine en az ağırlık verilerek ve diğer kriterlere eşit ağırlıklar verilerek ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. Çevresel ve ekonomik ana kriterlerinin önem derecesi ağırlığı 0,10 ve diğerleri 0,26 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. Senaryo 9 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.20’de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Sosyopolitik kriterinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.20’de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm

alternatiflerde sosyopolitik ana kriterinin ağırlığının en yüksek, ekonomik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.25’de verilmiştir.

Çizelge 5.25. Senaryo 9 S_i , R_i ve Q_i değerleri

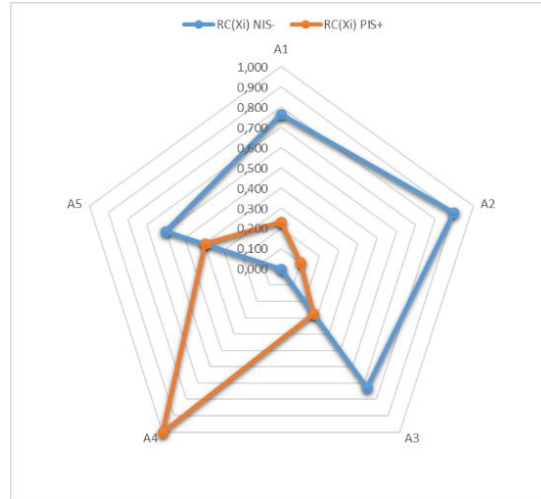
Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,355	0,119	0,404
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,482	0,184	0,590
A4	1,000	0,263	1,000
A5	0,464	0,153	0,524

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.26’da verilmiştir.

Çizelge 5.26. Senaryo 9 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

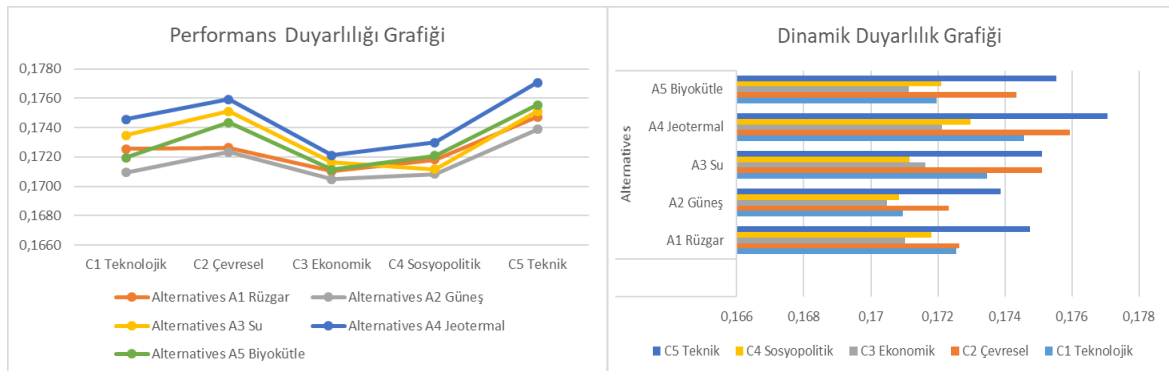
	$D(X_i, X_+)$	$D(X_i, X_-)$	$RC(X_i) NIS-$	Sıralama	$RC(X_i) PIS+$
A1	0,0000978	0,0000297	0,77	2	0,23
A2	0,0001410	0,0000160	0,90	1	0,10
A3	0,0000927	0,0000349	0,73	3	0,27
A4	0,0000000	0,0001276	0,00	5	1,00
A5	0,0000768	0,0000508	0,60	4	0,40

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.21’deki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında A3 (Su) ve A5 (Biyokütle) enerjisinin sıralamasında değişiklik olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21. Senaryo 9 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 10: Ana kriterlere rasgele sayılar verilerek ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek çözüm yapılmıştır. Toplam kriter öncelik ağırlıkları 1'e eşittir. Teknolojik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,30, çevresel ana kriterlerinin önem derecesi ağırlığı 0,16, ekonomik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,15, sosyopolitik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,14 ve teknik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,26 olarak hesaplanmıştır. PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.22. Senaryo 10 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Şekil 5.22'de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Çevresel ve teknik kriterlerinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.22'de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin

ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde teknik ana kriterinin ağırlığının en yüksek, ekonomik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan Si, Ri ve Qi değerleri Çizelge 5.27’de verilmiştir.

Çizelge 5.27. Senaryo 10 Si, Ri ve Qi değerleri

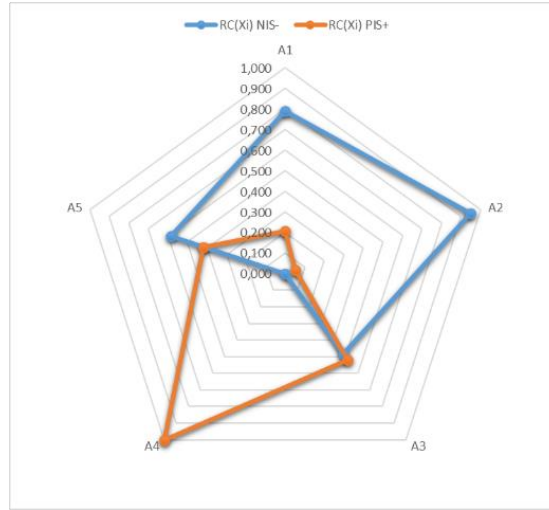
Alternatifler	Si	Ri	Qi
A1	0,326	0,131	0,385
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,554	0,206	0,625
A4	1,002	0,296	1,000
A5	0,447	0,134	0,449

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Qi değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.28’de verilmiştir.

Çizelge 5.28. Senaryo 10 PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan PIS ve NIS değerleri

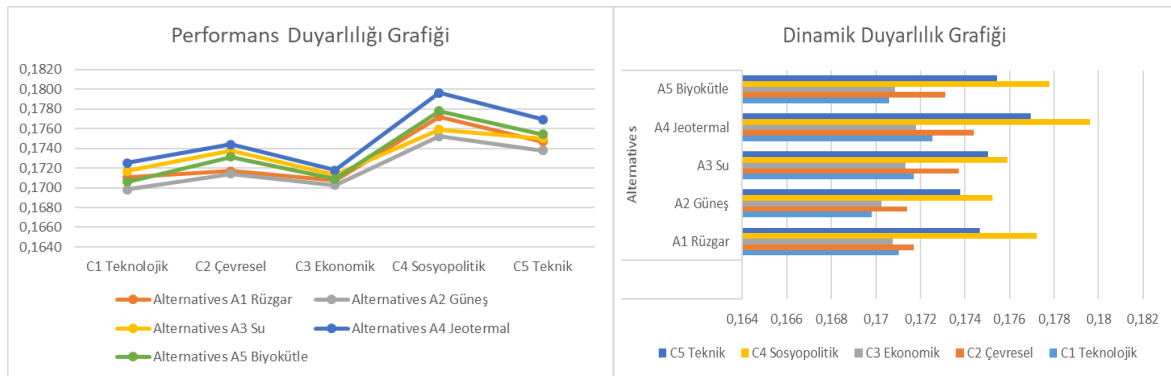
	D(Xi,X+)	D(Xi,X-)	RC(Xi) NIS-	Sıralama	RC(Xi) PIS+
A1	0,0001006	0,0000264	0,79	2	0,21
A2	0,0001335	0,0000073	0,95	1	0,05
A3	0,0000612	0,0000659	0,48	4	0,52
A4	0,0000000	0,0001271	0,00	5	1,00
A5	0,0000741	0,0000530	0,58	3	0,42

PFTOPSIS yöntemine göre NIS değerlerinin büyükten küçüğe (PIS değerlerinin küçükten büyüğe) doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklara göre alternatiflerin sıralaması Şekil 5.23’deki radar grafik ile gösterilmiştir. A2 (Güneş) enerjisi birinci sırada bulunmuştur. PFVIKOR ve PFTOPSIS yöntemleri karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.23. Senaryo 10 RC göreceli değerine göre alternatiflerin sıralaması

Senaryo 11: Ana kriterlere karar vericilerin değerlendirmeleri verilerek ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek ve PFVIKOR için maksimum grup faydası $v=0,1$ ve minimum pişmanlık $1-v=0,9$ değerleri verilerek çözüm yapılmıştır. Veto ile ifade edilen $v<0,5$ seçilmesi Q_i sıralamasında çoğunluğun olumsuz tutuma sahip olduğunu gösterir. Bölüm 5.2’de çözümlenen PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği Şekil 5.24’de verilmiştir.



Şekil 5.24. Senaryo 11 performans duyarlılığı ve dinamik duyarlılık grafiği

Teknolojik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,21, çevresel ana kriterlerinin önem derecesi ağırlığı 0,14, ekonomik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,15, sosyopolitik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,27 ve teknik ana kriterinin önem derecesi ağırlığı 0,23 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.24’de verilen performans duyarlılığı grafiğinde tüm ana kriterlere göre alternatiflerin gösterdiği değişimler hemen hemen benzerdir. Sosyopolitik

kriterinde alternatif ağırlıkları pik yapmıştır ve önem derecesi daha yüksektir. A2 (Güneş) enerjisinin negatif ideal çözüm (en az maliyet) problemine göre birinci sırada olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 5.24’de verilen dinamik duyarlılık grafiği ile ana kriterlerin ağırlıklarına göre alternatiflerin durumu gösterilmiştir ve bu grafik incelendiğinde tüm alternatiflerde sosyopolitik ana kriterinin ağırlığının en yüksek, teknolojik ve ekonomik ana kriterinin ağırlığının ise en düşük çıktığı görülmektedir. Güneş enerjisi alternatifinin tüm ana kriter ağırlıklarının en düşük olduğu görülmektedir. PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.29’da verilmiştir. Q_i değerleri maksimum grup faydası $v=0,1$ ve minimum pişmanlık $1-v=0,9$ değerleri ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5.29. Senaryo 11 S_i , R_i ve Q_i değerleri

Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,344	0,123	0,442
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,492	0,149	0,543
A4	1,000	0,271	1,000
A5	0,474	0,158	0,572

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur.

Bölüm 5.2’de çözümlenen PFAHP probleminde PFTOPSIS yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin d uzaklıkları ve negatif ve pozitif ideal çözüme olan göreceli yakınlıkları Çizelge 5.6’da verilmiştir. PFTOPSIS yöntemine göre A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. İki yöntem karşılaştırıldığında alternatiflerin sıralamasında değişiklik olmadığı görülmektedir.

Senaryo 12: Ana kriterlere karar vericilerin değerlendirmeleri verilerek ikili karşılaştırma matrisleri düzenlenerek ve PFVIKOR için maksimum grup faydası $v=0,9$ ve minimum pişmanlık $1-v=0,1$ değerleri verilerek çözüm yapılmıştır. Çoğunluk oyu ile ifade edilen $v>0,5$ seçilmesi Q_i sıralamasında çoğunluğun olumlu tutuma sahip olduğunu gösterir.

Bölüm 5.2’de çözümlenen PFAHP yöntemine göre hesaplanan alternatiflerin ağırlıklarına göre oluşturulan performans ve dinamik duyarlılık grafikleri Senaryo 11’dekiyle aynıdır ve Şekil 5.24’de verilmiştir.

PFVIKOR yöntemine göre hesaplanan S_i , R_i ve Q_i değerleri Çizelge 5.30’da verilmiştir. Q_i değerleri maksimum grup faydası $v=0,9$ ve minimum pişmanlık $1-v=0,1$ değerleri ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5.30. Senaryo 12 S_i , R_i ve Q_i değerleri

Alternatifler	S_i	R_i	Q_i
A1	0,344	0,123	0,395
A2	0,000	0,000	0,000
A3	0,492	0,149	0,497
A4	1,000	0,271	1,000
A5	0,474	0,158	0,485

PFVIKOR yöntemine göre alternatiflerin Q_i değerine göre küçükten büyüğe doğru sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur.

Bölüm 5.2’de çözümlenen PFAHP probleminde PFTOPSIS yöntemine göre A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur.

İki yöntem karşılaştırıldığında A3 (Su) ve A5 (Biyokütle) alternatiflerinin sıralamasında değişiklik olduğu görülmektedir.

Yapılan duyarlılık analizleri sonuçlarına göre alternatiflerin sıralaması toplulaştırılarak Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Duyarlılık analizi sonuçları

Deney	Pisagor Bulanık VIKOR	Pisagor Bulanık TOPSIS
Senaryo 1	A2 (Güneş)> A5 (Biyokütle)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 2	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)>A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 3	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 4	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A3 (Su)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 5	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 6	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 7	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 8	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 9	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 10	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 11	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)
Senaryo 12	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A5 (Biyokütle)> A3 (Su)> A4 (Jeotermal)	A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal)

Duyarlılık analizi için oluşturulan senaryolara göre, A2 (Güneş) enerjisi bütün denemelerde birinci sıradadır. A1 (Rüzgâr) enerjisi çoğu denemede ikinci sırada olmakla birlikte A3 (Su) ve A5 (Biyokütle) enerjisinin yerleri denemeden denemeye yer değiştirerek üçüncü ve dördüncü sıralarda çıkmıştır. Önerilen modelde Çizelge 5.2’de verilen PFAHP yöntemiyle en yüksek ağırlıklara sahip çıkan Sosyopolitik ve Teknik ana kriterlerinin, oluşturulan senaryolara bağlı olarak önem ağırlıklarındaki artışların ve azalışların, A3 (Su) ve A5 (Biyokütle) alternatiflerinin PFTOPSIS ve PFVIKOR ile sıralamalarında değişimlere neden olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle Senaryo 4 ve Senaryo 5’de Sosyopolitik ve Teknik kriterlerine en yüksek ağırlıklar verildiği için A3 (Su) enerjisi daha önemli hale gelmekte, diğer senaryolar incelendiğinde ise bu kriterlerin ağırlıkları küçük olduğu için A5 (Biyokütle) enerjisi daha önemli hale gelmektedir. Buradan A3 (Su) enerjisinin Sosyopolitik ve Teknik ana kriterindeki ağırlık değişimiyle oldukça ilişkili olduğu görülmektedir. Son olarak da A4 (Jeotermal) enerji tüm denemelerde en sonuncu sırada yer almaktadır. Buradan anlaşılmaktadır ki pisagor bulanık sayılar ile AHP ve PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemlerinin birlikte modellenmesi oldukça benzer sonuçlar vermektedir ve modeller

tutarlılık göstermektedirler. Literatürde verilen kesin sayılar, tip-1 bulanık sayılar, tip-2 bulanık sayılar vb. ile kurulmuş AHP ve sıralama modellerinde karşılaşılan değerlendirmelere göre dilsel değerlendirmelerin pisagor bulanık sayılar ile yapılmasının duyarlılık analizlerine olan etkisi açıkça görülmektedir. Yapılan deneylerdeki sıralamalardaki tutarlılık bunun en önemli kanıtıdır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi gibi çok kriterli karar verme problemlerinde pisagor bulanık sayıları ile bu tip hibrit modellemeler yapılmasının diğer sayılar ile uygulamalara göre daha iyi ve etkin yöntemler olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada enerji tüketimi hızla artmakta ve bu nedenle enerjinin üretilmesinde çoğunlukla kullanılan petrol ve doğal gazın talep de artmaktadır. Fakat enerji üretiminde doğaya verilen CO₂ emisyonu ve benzer kirleticiler dünyamızı olumsuz yönde etkilemekte ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Enerji kaynaklarına olan ihtiyacın günden güne daha önemli hale gelmesiyle birlikte ülkeler farklı alternatif enerji kaynaklarının arayışı içine girmişler ve 1973’de gerçekleşen petrol krizi ile yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hızla artmaya başlamıştır. Doğada sürekli var olan ve kendini yenileyebilen, çevreye zararı neredeyse olmayan yenilenebilir enerji, teknolojinin gelişmesiyle günümüzde ve gelecekte vazgeçilemez hatta tek enerji kaynağı durumuna gelecektir.

Enerji planlaması temelde birçok kısıt ve faktöre dayalı olan girdi ve çıktı değerlerini değişkenler olarak ifade eden arz ve talep dengelerinden oluşur. Enerjiye bağımlı olan gündelik yaşamın sürdürülmesi için dünya üzerinde coğrafi olarak dengesiz dağılmış olan enerji kaynaklarının ihtiyaç noktalarına ulaştırılması gerekmektedir. 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 (Karakul, 2020).

Bu çalışmada Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi yöntemiyle Türkiye için en uygun sürdürülebilir enerji kaynağının seçimi planlanmıştır. Kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarını belirlemek için Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (PFAHP) kullanılmıştır. Çalışmanın devamında ağırlıkları hesaplanan alternatiflerin sıralanması için referans noktasına yakınlık derecesinin farklı uzaklık hesaplanması mantığına dayanan iki toplam yöntemi olan PFTOPSIS ve PFVIKOR yöntemleri kullanılarak çözümlenmiş ve her iki yöntemle göre de sıralama aynı bulunmuştur. Literatürde yer alan çalışmalar dikkate alındığında pisagor bulanık sayılarının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna ek olarak çalışmada kullanılan çözüm yöntemleri ve sıralama yöntemleri de literatüre yeni girmiş yöntemler olmakla birlikte hesaplamalardaki duyarlılıkları oldukça iyi sonuçlar

vermektedir. Türkiye’deki sürdürülebilir enerji alternatifi seçimi için yapılan bu çalışma da bu sonuçları destekler niteliktedir.

Bu tez çalışmasının bulgular ve tartışma kısmında önerilen hibrit model ile Türkiye’de yenilenebilir enerji seçimi için bir uygulama yapılmış ve bulunan sonuçlar ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Öncelikle uzmanlar ile görüşülerek değerlendirmeye alınacak kriterler ve alternatifler kararlaştırılmış daha sonrasında bu görüşler çerçevesinde PFAHP metoduna uygun bir ikili karşılaştırmaların yer aldığı excel tablosu oluşturulmuştur. Bu tablo yardımıyla belirlenen dört uzman kişiden veriler toplanmış ve çözümlenmeler MS Excel’de yapılmıştır. İlk olarak PFAHP ile kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Ana kriterlerin önem ağırlıkları Sosyopolitik> Teknik> Teknolojik> Ekonomik> Çevresel şeklinde bulunmuştur. Burada uzmanların yenilenebilir enerji seçiminde ana kriterlerden sosyopolitik durumun diğerlerine göre daha önemli olduğu görüşü hâkimdir. Gerçekten de düşünülecek olursa bir yenilenebilir enerji santrali kurulumunda ilk önce değerlendirilmesi gereken kaynağın protokollere uygunluğu, toplumsal faydası ve istihdama olan etkisidir. Bu görüşlere dayanarak bir enerji santralinin kurulumunun gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceği kararı verilebilir. Devamında ikinci önem derecesine sahip teknik kriteri değerlendirilecek olursa bir santral kurulduktan sonra bu santralden ne kadar verimlilikte enerji üretileceğinin cevabı ile karşılaşılabılır. Bu nedenle de teknik olarak yeterli değerlendirmelerin yapılması yatırımların değerini göstermektedir. Üçüncü önem derecesine sahip olan teknolojik kriteri değerlendirilecek olursa bir enerji santralinin kurulum aşamasının başlangıcından sonuna kadar olan tüm teknolojik süreçlerin önemli olduğu görülmektedir. Bu da teknoloji olmazsa yenilenebilir enerjinin kullanımının mümkün olmadığı savını kanıtlar niteliktedir. Dördüncü önem derecesine sahip ekonomik değeri düşünüldüğünde bir enerji yatırımının ekonomik olarak kurulmasından işletilmesine kadar olan tüm maliyet süreçlerini kapsar. Yenilenebilir enerji yatırımları ilk kurulumda biraz pahalı olabilir. Fakat işletilmesi ve bakım masrafları açısından uzun vadede kolaylık sağladığından tercih edilebilir. Değerlendirmede çevresel kriterinin önemi en düşük çıkmıştır. Bu durum uzmanların yenilenebilir enerji kaynağı seçiminde çevresel etkilerin az olduğu görüşünü vurgulamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin doğaya neredeyse yok denecek kadar az etkileri olduğu açıktır.

Bulgular ve tartışma bölümünün devamında ana kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlıkları PFAHP metodu ile hesaplanarak bir karar matrisi oluşturulmuştur. Bu karar matrisi ile alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Sıralama için ilk olarak PFTOPSIS metodu çözümlenmiş ve bu yöntemle göre alternatiflerin sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. İkinci olarak PFVIKOR metodu çözümlenmiş ve yöntemle göre alternatiflerin Vikor indeksi Qi değerine göre sıralaması A2 (Güneş)> A1 (Rüzgâr)> A3 (Su)> A5 (Biyokütle)> A4 (Jeotermal) olarak bulunmuştur. Her iki kullanılan yöntemle de sıralamanın aynı olduğu görülmüştür. Elde edilen sıralama sonuçlarına göre A2 (Güneş) enerjisi Türkiye’de enerji planlamasında kullanılabilir yenilenebilir enerji kaynaklarından ilk sırada çıkmıştır. Bu durum Türkiye’nin coğrafi konumu itibarıyla yıllık güneşlenme süresinin oldukça fazla olmasıyla ve güneş enerjisi sistemlerinin bugün neredeyse her yere (binaların çatılarına, yüzey alanlarına, boş arazilerine, vb.) kurulabilmesiyle açıklanabilir. Günümüzde gelişen teknolojiler sayesinde de güneş enerjisini depolayan sistemlerin maliyetleri de daha uygun hale gelmektedir. Ayrıca güneş enerjisi sistemlerinin doğaya neredeyse hiçbir zararı olmamaktadır. A1 (Rüzgâr) enerjisinin ikinci sırada çıkması ise Türkiye’de güneş enerjisi sistemlerinin aksine sadece rüzgâr alan alanlara kurulabilmesi ile açıklanabilir. Rüzgâr türbünleri oldukça büyüktürler ve rüzgâr alan açık tepelik alanlara konumlandırılmaktadırlar. Yine de rüzgâr enerjisi de gelişen teknolojiler sayesinde rüzgârın olduğu alanlarda enerji üretmek için kullanılan en temiz yenilenebilir enerji kaynağıdır. Çevreye ise hiçbir atığı bulunmamakla birlikte sadece kuşların uçuş yollarına zararlı etkileri olabilmektedir. Üçüncü sırada olan A3 (Su) enerjisi Türkiye’de bugüne kadar en çok enerji üretilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Fakat ülkemizde kurulabilecek toplam HES’lerin çoğu neredeyse tamamlanmıştır ve bu kaynaklardan elde edilebilecek olan enerjide bu nedenle gelecekte sınırlı olacaktır. Dördüncü sırada bulunan A5 (Biyokütle) enerjisi ise hammadde olanakları açısından diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha sınırlıdır. Sonuncu sırada çıkan A4 (Jeotermal) enerji ise kaynağa yakın olmayı gerektirmesi nedeniyle ülkemizde sadece kaynakların olduğu yerlerde kullanılabilir. Güneş sonsuz bir enerji kaynağıdır ve her yerde var olan en temiz yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Çalışmada her iki yöntemle de sıralamanın aynı bulunması dilsel değerlendirmelerin pisagor bulanık sayılarla yapılmış olmasının etkisini açıkça göstermektedir. Tam bu noktada modelin kararlılığını test etmek amacıyla 12 senaryo oluşturulmuş ve duyarlılık analizi

yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre ana kriter ağırlıkları değişse bile alternatiflerin sıralamasında çok büyük değişiklikler olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada önerilen bu hibrit modelin kararlı ve etkin bir model olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmanın literatüre temel katkısı; dilsel değerlendirmenin gelişiminde oldukça önemli olan Pisagor Bulanık Sayıları ile PFAHP, PFTOPSIS ve PFVIKOR metodları yardımıyla kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarını ve sıralamalarını bulmak için yeni bir modelleme yaklaşımı geliştirmek olmuştur. Pisagor bulanık sayıları ile sürdürülebilir enerji planlamasında yenilenebilir enerji kaynağı seçimi problemi için bu yöntemlerin birlikte kullanılmasının oldukça etkili ve verimli sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Pisagor bulanık sayıları ile Çok Kriterli Karar Verme Metodları, araştırmacıların karar problemi çözümlerinde ileriye dönük kararlar almasında etkili yöntemler olarak değerlendirilebilmektedir. Gelecekte dilsel değişkenlerin pisagor bulanık sayıları ile değerlendirildiği diğer çok kriterli karar verme modelleriyle de çözümlenmeler yapılabilir, pisagor bulanık sayıların daha büyük örnek uzayına sahip olan versiyonları da bu tür hibrit modellemeler yapılmasına imkân sağlayabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdullah, L., Zulkifli, N., 2015, Integration of fuzzy AHP and interval type-2 fuzzy DEMATEL: An application to human resource management, *Expert Systems with Applications*, 42, 9, 4397–4409.
- Abdullah, L., Najib, L., 2016, Sustainable energy planning decision using the intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process: choosing energy technology in Malaysia, *International Journal of Sustainable Energy*, 35, 4, 360-377.
- Adar, E., Karatop, B., Ince, M., 2016, Comparison of methods for sustainable energy management with sewage sludge in Turkey based on SWOT-FAHP analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 429-440.
- Al-Mofleh, A., Taib, S., Mujeebu, M. A., Salah, W., 2009, Analysis of sectoral energy conservation in Malaysia, *Energy*, 34, 6, 733-739.
- Atanassov, K.T., 1986, Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets Systems*, 20, 1, 87-96 .
- Baykal, N., Beyan, T., 2004, *Bulanık Mantık İlke ve Temelleri, Bıçaklar Kitabevi*, Ankara.
- Boender, C. G. E., De Graan, J. G., Lootsma, F. A., 1989, Multicriteria decision analysis with fuzzy pairwise comparisons, *Fuzzy Sets and Systems*, 29, 133-143.
- Bozbura, F.T., Beskese, A., Kahraman, C., 2007, Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications*, 32, 4, 1100-1112.
- Buchholz, T., Luzadis, V., Volk, T.A., 2009, Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey, *Journal of Cleaner Production*, 17, 1, 86-98.
- Buckley, J. J., 1985, Fuzzy hierarchical analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 3, 233–247.
- Büyüközkan, G., Güteryüz, S., 2014, A new GDM based AHP framework with linguistic interval fuzzy preference relations for renewable energy planning, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 27, 6, 3181-3195.
- Büyüközkan, G., Güteryüz, S., 2016 a, Fuzzy multi criteria decision making approach for evaluating sustainable energy technology alternatives, *International Journal of Renewable Energy Sources*, 1, 2367-9123.
- Büyüközkan, G., Güteryüz, S., 2016 b, An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey, *International Journal of Production Economics*, 182, 435-448.
- Büyüközkan, G., Karabulut, Y., Mukul, S., 2018, A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals, *Energy*, 165, 290-302.
- Cezim C., 2013, *Fotovoltaik Sistemler ve Uygulamaları*, Elektrik Mühendisleri Odası Eğitim ve Seminerleri, <http://www.solar-academy.com/menus/Fotovoltaik-Sistemler-ve-Uygulamaları.122101.pdf>, erişim tarihi:11.11.2019.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chang, C.W., Wu, C.R., Lin, C.T., Chen, H.C., 2007, An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine, *Computer and Industrial Engineering*, 52, 296-307.
- Chang, D.Y., 1996, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95, 649–655.
- Chen, S.M., Lee, L.W., 2010, Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the ranking values and the arithmetic operations of interval type-2 fuzzy sets, *Expert Systems with Applications*, 37, 1, 824–833.
- Das, S., Dutta, B., Ghuha, D., 2014, Weight computation of criteria in a decision making problem by knowledge measure, *International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence (ISCMI)*, 88-93.
- De, S. K., Biswas, R., Roy, A. R., 2001, An application of intuitionistic fuzzy sets in medical diagnosis, *Fuzzy Sets Systems*, 117, 2, 209-213.
- Deloitte, 2014, Biyokütlenin Altın Çağı, <https://www2.deloitte.com/tr/tr/pages/energy-and-resources/articles/golden-age-of-biomass-article.html>, erişim tarihi: 12. 11. 2019.
- Deng, Y., Xu, J., Liu, Y., 2014, Biogas as a sustainable energy source in China: Regional development strategy application and decision making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 294-303.
- Dick, S., Yager, R.R., Yazdanbakhsh, O., 2016, On Pythagorean and Complex Fuzzy Set Operations, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 24, 5, 1009–1021.
- Doukas, H. C., Botsikas, M. A., Psarras, J. E., 2007, Multi-criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic variables, *European Journal of Operational Research*, 182, 2, 844-855.
- EMO, 2017, Mehmet Oktay Eldem Güneş Enerjisi TMMOB Emo Ankara Şubesi Haber Bülteni, 2017/5, http://www.emo.org.tr/ekler/1076c3237c38c7f_ek.pdf?dergi=1123, erişim tarihi: 11. 11. 2019.
- Enerji Beş, 2019, <https://www.enerjibes.com/gelgit-enerjisi-nedir/>, erişim tarihi: 11.11.2019.
- Enerji Portalı, 2019, <https://www.enerjiportali.com/yenilenebilir-enerji-kaynaklari-nelerdir/>, erişim tarihi: 01.10.2019.
- Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2019, <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/dalga-enerjisi.html>, erişim tarihi: 10.11.2019.
- Erdoğan, M., Kaya, I., 2015, An integrated multi-criteria decision making methodology based on type-2 fuzzy sets for selection among energy alternatives in Turkey, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 12, 1, 1-25.
- Ertuğrul, İ., Özçil, A., 2014, Çok kriterli karar vermede TOPSIS ve VIKOR yöntemleriyle klima seçimi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4, 1, 267-282.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- ETKB, 2021, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr>, erişim tarihi: 01.05.2021.
- Freris, L., Infield, D., 2008, Renewable Energy in Power Systems, John Wiley & Sons Book, UK.
- Garg, H., 2016, A novel accuracy function under interval-valued Pythagorean fuzzy environment for solving multicriteria decision making problem, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 31, 1, 529–540.
- GEKA, 2011, Güney Ege Bölgesi (Aydın, Denizli, Muğla) Yenilenebilir Enerji Raporu.
- Gilman, R., 1992, Sustainability, By Robert Gilman from the 1992 UIA/AIA, Call for sustainable community solutions, <https://www.context.org/about/definitions/#sustainability>, erişim tarihi:10.10.2020.
- Hart, M., 1999, Guide to Sustainable Community Indicators, Hart Environmental Data, 2nd edition, North Andover, MA.
- Huang, C. W., Lin, K. P., Wu, M. C., Hung, K. C., Liu, G. S., Jen, C. H., 2015, Intuitionistic fuzzy c-means clustering algorithm with neighborhood attraction in segmenting medical image, Soft Computing, 19, 2, 459-470.
- Hwang, C. L., Yoon, K., 1981, Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York.
- İrkçıçatal, B., İrkçıçatal, O., 2011, EPDK, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji, H. S. Seydioğulları (Der.), Elektrik Piyasası Daire Başkanlığı.
- Kader M. A., Dugdale, D., 2001, Evaluating investments in advanced manufacturing technology: a fuzzy set theory approach, The British Accounting Review, 33, 4, 455-489.
- Kahraman, C., Kaya, İ., 2010, A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives, Expert Systems with Applications, 37, 6270-6281.
- Kaptanoğlu D., Özok A. F., 2006, Akademik performans değerlendirilmesi için bir bulanık model, İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 5, 1, 2, 193-204.
- Karakul, A.K., 2020, Bulanık AHP yöntemi ile yenilenebilir enerji kaynağı seçimi, Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10, 19, 127-149.
- Karaköse, M., Akın, E., 2004, Tip-1 bulanık sistemlerde tip-2 bulanık girişler, ELECO (Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı) Bildiriler Kitabı, 8-10.
- Karaman, B., Çerçioğlu, H., 2015, 0-1 Hedef programlama destekli bütünleşik AHP-VIKOR yöntemi: hastane yatırım projeleri seçimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30, 4, 567-576.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kargın, M., 2010, Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve ideal çözüme yakınlığa göre sıralama yapma yöntemleri ile tekstil sektöründe finansal performans ölçümü, Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8, 1, 195-216.
- Karnik, N. N., Mendel, J.M., Liang, Q., 1999, Type-2 Fuzzy Logic Systems, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 7, 6, 643-658.
- Kaya T., Kahraman C., 2011, Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology, Expert Systems with Applications, 38, 6, 6577-6585.
- Khaleie, S., Fasanghari, M., 2012, An intuitionistic fuzzy group decision making method using entropy and association coefficient, Soft Computing, 16, 1197-1211.
- Kıncay, O., 2019, Prof. Dr. Olcay Kıncay Güneş Enerjisi Ders Notları, <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gun-bir.pdf>, erişim tarihi:12.11.2019.
- Lezki, Ş., 2016, İşletmelerde Karar Verme Teknikleri, AÖF Ders Kitabı, Anadolu Üniversitesi Basımevi, Eskişehir.
- Liou, T.S., Wang, M.J., 1992, Ranking fuzzy numbers with integral value, Fuzzy Sets and Systems, 50, 3, 247-255.
- Liu, W., Chang, J., He, X., 2016, Generalized Pythagorean fuzzy aggregation operators and applications in decision making, Control and Decision, 31, 12, 2280–2286.
- Mendel, J.M., 2001, Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., Vahdani, B., 2017, Enhancing decision-making flexibility by introducing a new last aggregation evaluating approach based on multi-criteria group decision making and Pythagorean fuzzy sets, Applied Soft Computing, 61, 527-535.
- Mohd, W.R.W., Abdullah, L., 2017, Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to multi criteria decision making, AIP Conference Proceedings, 1905.
- Mohd, W.R.W., Abdullah, L., Yusoff, B., Taib, C. M. I. C., Mergio, J. M., 2019, An integrated MCDM model based on pythagorean fuzzy sets for green supplier development program, Malaysian Journal of Mathematical Sciences 13(S), 23-37.
- Opricovic, S., Tzeng, G. H., 2004, Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, European Journal of Operational Research 156, 445-455.
- Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A., Olgun, B., 2012, Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği: Teorik Bilgiler ve Enerji İstatistikleri, TESAB Yayınevi, İstanbul.
- Özmehmet, E., 2008, Dünyada ve Türkiyede sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları, Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji, H. S. Seydioğulları (Der.), Yaşar Üniversitesi Dergisi, İzmir, 12, 3, 1853-1876.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öztürk H., 2013, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Papakostas, G. A., Hatzimichailidis, A. G., Kaburlasos, V. G., 2013, Distance and similarity measures between intuitionistic fuzzy sets: A comparative analysis from a pattern recognition point of view, *Pattern Recognition Letters*, 34, 14, 1609-1622.
- Pekkaya, M., Aktogan, M., 2014, Dizüstü bilgisayar seçimi: DEA, TOPSIS ve VIKOR ile karşılaştırmalı bir analiz, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10, 1, 107-125.
- Peng, X., Yang, Y., 2015, Some results for pythagorean fuzzy sets, *International Journal of Intelligent Systems*, 30, 11, 1133– 1160.
- Pohekar, S. D., Ramachandran, M., 2004, Multi-criteria evaluation of cooking energy alternatives for promoting parabolic solar cooker in India, *Renewable Energy*, 29, 9, 1449-1460.
- Ren, P., Xu, Z., Gou, X., 2016, Pythagorean fuzzy TODIM approach to multi-criteria decision making, *Applied Soft Computing*, 42, 246–259.
- Ruckelshaus, W. D., 1989, Toward a sustainable World, *Scientific American*, 261, 3, 166-175.
- Saaty, T., 1990, How to make a decision: The analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, 48, 9–26.
- Shen, Y.C., Lin, G. T. R., Li, K.P., 2010, An assessment of exploiting renewable energy sources with concerns of policy and technology, *Energy Policy*, 38, 8, 4604-4616.
- Solangi, Y.A., Tan, Q., Mirjat, N.H., Valasai, G.D., Khan, M.W.A., Ikram, M., 2019, An integrated Delphi-AHP and fuzzy TOPSIS approach toward ranking and selection of renewable energy resources in Pakistan, *Processes*, 7, 118, 1-31.
- Şener, H., 2021, Kyoto Protokolü Nedir?, *Sürdürülebilir Yaşam Derneği*, <https://suyader.org.tr/taniyalim-kyoto-protokolu-nedir/>, erişim tarihi:01.05.2021.
- Tan, C., 2011, Generalized intuitionistic fuzzy geometric aggregation operator and its application to multi-criteria group decision making, *Soft Computing*, 15, 5, 867-876.
- TEİAŞ, 2020, Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü, www.teias.gov.tr, erişim tarihi:01.04.2021.
- Tıraş, H.H., 2012, Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: Teorik bir inceleme, *Sürdürülebilir Kalkınma için Yenilenebilir Enerji*, H. S. Seydioğulları (Der.), Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2, 2, 57-73.
- UNDP (United Nations Development Programme), 2006, *Achieving Industrial Energy Efficiency in Malaysia*, ISBN 983-40995-7-6.
- VanLaarhoven, P. J. M., Pedrycz, W., 1983, A fuzzy extension of Saaty’s priority theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 1–3, 229–241.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., Zhao, J.H., 2009, Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263-2278.
- Wikipedia, 2021, Bulanık Mantık, https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulanık_mantık, erişim tarihi:01.04.2021.
- Yager, R. R., 2014, Pythagorean Membership Grades in Multicriteria Decision Making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22, 4, 958-965.
- Yager, R.R., 2013, Pythagorean fuzzy subsets, *Proceedings of Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting, Edmonton, Canada*, 57–61.
- Yager, R.R., 2016, Properties and applications of pythagorean fuzzy sets, In: Angelov, P., Sotirov, S. (Eds.) *Imprecision and Uncertainty in Information Representation and Processing. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Springer, 332, p. 119–136.
- YEGM, 2019, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, www.yegm.gov.tr, erişim tarihi:01.10.2019.
- Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338–353.
- Zadeh, L.A, 1975, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Information Science*, 8, 43-80.
- Zeng, S., Chen, J., Li, X., 2016, A hybrid method for pythagorean fuzzy multiple-criteria decision making, *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 15, 2, 403-422.
- Zhang, X., 2016, Multicriteria Pythagorean fuzzy decision analysis: a hierarchical QUALIFLEX approach with the closeness index-based ranking methods, *Information Science*, 330, 104–124.
- Zhang, X., Xu, Z., 2014, Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets, *International Journal of Intelligent Systems*, 29, 1061–1078.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Etik Kurul Onay Raporu

Ek Açıklama-A: Etik Kurul Onay Raporu



T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ
Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği

Sayı : E-53893652-050.01.01-74923

07.08.2020

Konu : 2020.05.01.Karar.

Sayın Prof. Dr. Zeynep FİLİZ

Sorumlu Araştırmacı olduğunuz **“Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci: Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Planlaması”** başlıklı çalışma hakkında alınan karar ekte sunulmuştur.

Bilgilerinizi ve gereğini saygı ile rica ederim.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : a36c878d-fd07-438a-ae48-a2e233ea59cf

Belge Doğrulama Adresi : <https://ebysnetm.ogu.edu.tr/Home>

Adres : Meşelik Kampüsü 26040 Odunpazarı
Telefon : 0222 2393750 Faks: 0222 2291418
İnternet Adresi : www.ogu.edu.tr
KEP adresi : esk.osmangaziunirek@hs01.kep.tr

Bilgi için :
Telefon :
E-posta :



T.C.
ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİĞİ KURULU
ESKİŞEHİR

Toplantı Tarihi : 29.07.2020

Toplantı No : 2020-05

GÜNDEM :

1. Başvuru Sahibi : Prof.Dr.Zeynep FİLİZ. **Konu :** “Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci: Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Planlaması” konulu anket ve içeriğinin, Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’na etik açıdan uygunluğunun görüşülmesi.

KARAR :

1. Prof.Dr.Zeynep FİLİZ’in “Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci : Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Planlaması” konulu araştırmasının, veri toplama araçlarını uygulamak için gerekli yerlerden yasal izinleri almak şartıyla Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’na uygun olduğuna, oy birliği ile karar verildi.

**ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ BİLİMSEL
ARAŞTIRMA VE YAYIN ETİK KURULU DEĞERLENDİRME FORMU**

Araştırma No : 01	
Araştırma Başlığı : Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci : Türkiye’de Sürdürülebilir Enerji Planlaması	
Sorumlu Araştırmacı : Prof.Dr.Zeynep FİLİZ	
Başvuru Tarihi : 01.07.2020	
<input checked="" type="checkbox"/> Kabul	
<input type="checkbox"/> Düzeltme Gereklidir	Gerekçe : 1. 2. 3.
<input type="checkbox"/> Red	Gerekçe: 1. 2. 3.
Başkan	
Adı Soyadı	Tarih
	29.07.2020
	İmza