
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Elif DAMGACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2016

Elif DAMGACI tarafından hazırlanan "ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Kurtuluş BORAN
Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Başkan : Prof. Dr. Mehmet Özkaymak

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Üye : Doç. Dr. Selçuk Kürşat İşleyen
Endüstri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Tez Savunma Tarihi: 14 /11 / 2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Elif DAMGACI
14 / 11 / 2016

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Elif DAMGACI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2016

ÖZET

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu ve endüstrileşme ile enerji gereksinimi de giderek artmaktadır. Enerjinin sürdürülebilir, güvenilir, temiz ve alternatif kaynaklardan temin edilebilir olması ve verimli kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle Türkiye'deki mevcut alternatif enerji kaynaklarının en iyi şekilde seçilmelidir. Enerji kaynaklarının seçimi, birden çok alternatifin (enerji kaynağının) birden çok kritere göre birden çok karar verici tarafından değerlendirilmesinden ötürü bir çok kriterli grup karar verme problemidir. Bu çalışmada, Sezgisel Bulanık Topsis Karar Verme Metodunun Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarının seçiminde güncel bilgilerin ve belirli kriterlerin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu kriterler akademisyenler tarafından birbiri ile izafi olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bilgilerle yenilenebilir enerji kaynakları için kriterlerin önem düzeyleri , ağırlıkları ve alternatiflerin sıralama değerlerini belirleyen yakınlık katsayıları hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 91441
Anahtar Kelimeler : Çok kriterli grup karar verme, Sezgisel Bulanık küme, TOPSIS Metodu, Yenilenebilir Enerji Kaynak Seçimi
Sayfa Adedi : 63
Danışman : Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

EVALUATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES BY INTUITIONISTIC FUZZY TOPSIS METHOD

(M. Sc. Thesis)

Elif DAMGACI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2016

ABSTRACT

Today, energy requirement is gradually increasing with rapidly augmenting world population and industrialization. Energy should be sustainable, safe, clean, and provided by alternative energy resources, and it should be used efficiently. Because of that reason, present alternative energy resources in Turkey should be chosen in the best way. The choice of energy resources is a multi-criteria group decision-making because of the evaluation of many alternative energy resources to many criteria by many decision-makers. In this study, it is aimed that determining some criteria and current information about choosing renewable energy resources of Topsis Intuitive Fuzzy Decision Making Method for Turkey. These criteria were compared to each other relatively by academics. The significance of the criteria, weights and determining the value of alternative proximity ranking coefficients were calculated with the information obtained for renewable energy sources.

Science Code : 91441
Key Words : Multi criteria group decision making, intuitionistic fuzzy set, TOPSIS Method, Renewable energy selection
Page Number : 63
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kurtuluş BORAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisansa başladığımdan beri hem manevi hem teknik yardımları ile hep yanımda olan Sayın danışmanım Doç. Dr. Kurtuluş Boran'a, tezimin yazım aşamasında ve metodunda bana sabır gösteren Doç. Dr. Fatih Emre Boran'a ve tez çalışmam boyunca beni destekleyen aileme gönülden teşekkürlerimi dilerim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

HARİTALARIN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR 3

3. TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ 5

3.1. Güneş Enerjisi 6

3.1.1. Güneş enerjisinin kullanım alanları 7

3.1.2. Türkiye'deki güneş enerjisinin durumu 10

3.2. Rüzgar Enerjisi 11

3.2.1. Rüzgar enerjisinin kullanım alanları 13

3.2.2. Türkiye'de rüzgar enerjisinin durumu 14

3.3. Jeotermal Enerji 15

3.3.1. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları 16

3.3.2. Türkiye'de jeotermal enerji 18

3.4. Dalga Enerjisi 19

3.4.1. Dalga enerjisinin uygulamaları 19

3.4.2. Türkiye'de dalga enerjisi 21

Sayfa

3.5. Biokütle Enerjisi 22

3.5.1. Biokütle enerjisinin kullanım alanları 23

3.5.2. Türkiye'de biokütle enerjisi 23

3.6. Hidrojen Enerjisi 24

3.6.1. Hidrojen enerjisinin kullanım alanları 25

3.6.2. Hidrojen enerjisinin Türkiye'deki durumu 25

3.7. Hidroelektrik Enerji 26

3.7.1. Hidroelektrik enerjisinin uygulama alanları 27

3.7.2. Hidroelektrik enerjisinin Türkiye'deki durumu 27

4. SEZGİSEL BULANIK KÜME 31

4.1. Sezgisel Bulanık Operatörler 36

4.1.1. Sezgisel bulanık kümede kartezyen çarpım 37

4.1.2. Sezgisel bulanık kümelerde birleştirme operatörleri 38

5. SEZGİSEL BULANIK TOPSIS METODU 41

6. SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 47

6.1. Kriterlerin Belirlenmesi 47

6.1.1. Verim 47

6.1.2. Ekserji verimi 47

6.1.3. Yatırım maliyeti 48

6.1.4. İşletme bakım maliyeti 48

6.1.5. Arazi kullanımı 48

6.1.6. Gürültü 48

6.1.7. İş imkanı 49

Sayfa

6.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS Metodu 49

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 57

7.1. Sonuçlar 57

7.2. Öneriler 58

KAYNAKLAR 59

ÖZGEÇMİŞ 63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Jeotermal enerjinin sıcaklığa göre kullanım alanları (Lindal Diyagramı) . 17

Çizelge 3.2. Biokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri ve bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulamaları 23

Çizelge 6.1. Karar vericilerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler 50

Çizelge 6.2. Karar vericilerin değerlendirilmesi 50

Çizelge 6.3. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel terimler 51

Çizelge 6.4. Adayların kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi 52

Çizelge 6.5. Birleştirilmiş karar matrisi 53

Çizelge 6.6. Kriterlerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler 53

Çizelge 6.7. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi 54

Çizelge 6.8. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi 54

Çizelge 6.9. Adayların ayrım ölçüleri ve yakınlık katsayıları 56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı 5

Şekil 3.2. Güneş kollektörü çeşitleri a) Düzlemsel güneş kolektörleri b) Vakum tüplü güneş kolektörleri c) Camsız güneş kolektörleri 8

Şekil 3.3. Sabit Pv sistemi 10

Şekil 3.4. Hareketli Pv sistemi 10

Şekil 3.5. Bir rüzgar enerjisi türbini ve parçaları 12

Şekil 3.6. Jeotermal elektrik üretimi şeması ve uygulama alanları 17

Şekil 3.7. Salınımlı su kolonu sistemi 20

Şekil 3.8. Hidroelektrik kurulu gücü 28

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita **Sayfa**

Harita 3.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası 11

Harita 3.2. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel haritası 14

Harita 3.3. Türkiyede jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası 19

Harita 3.4. Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyeli haritası 21

Harita 3.5. Türkiye'nin biokütle potansiyel haritası 24

Harita 3.6. Türkiye hidroelektrik santralleri haritası 29

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
BUM	Basic Unit-Interval Monotonic Function
EİE	Elektrik İdaresi Etüt İşleri
EJ	Eksa Joule
EPDK	Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
IEA	Uluslarası Enerji Ajansı
IFA	Sezgisel bulanık ortalama operatörü
IFG	Sezgisel bulanık geometrik ortalama operatörü
IFWA	Sezgisel bulanık ağırlıkla ortalama operatörü
IFWG	Sezgisel bulanık ağırlıklı geometrik ortalama operatörü
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
PV	Güneş Pili (Photovoltoics)
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası
SBS(IFS)	Sezgisel Bulanık Sayı (Intuitionistic fuzzy set)
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YES	Yenilenebilir Enerji Senaryosu

1. GİRİŞ

21.yüzyılda dünyadaki nüfusun ve endüstrileşmenin artışı ile enerji; ekonomik bir girdi, sürdürülebilir kalkınma dinamiği, sosyal refah seviyesini arttıran ve teknolojik gelişmelerle kendini daha ileriye taşıyan bir unsur haline gelmiştir. Bu unsur fosil kaynaklı olduğu gibi tüketilen (doğalgaz, petrol, kömür vb.) ve kendini sürekli yenileyen (güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga vb.) olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Dünyada fosil kaynaklı enerji kaynaklarının sınırlı ve eşit olmaması ülkelere enerji kullanımında kısıtlama getirirken fosil yakıtlarının kullanımı sonucu açığa çıkan sera gazı salınımları, yıllık ortalama sıcaklıklarının ve deniz seviyesinin yükselmesi, küresel iklim değişikliklerine neden olmuştur. Bu yüzden küresel iklim değişikliğine yol açmayacak şekilde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içerisinde ülkemizin de 2009'da katıldığı Kyoto Protokolü uluslararası sözleşme ve anlaşmalar ile ülkeleri fosil yakıtlı enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları ise gelecekte tükenmeden kalabilecek, temiz, çevre dostu ve kendini yenilemesinden dolayı dünyada ve ülkemizde daha popüler hale gelmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak enerji kaynaklarını planlı bir şekilde değerlendirmek ve buna alternatif olarak doğada bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının doğru ve etkin bir seçim yapmak amacıyla dünyada ve ülkemizde çalışmalar yapılmaktadır.

Türkiye için alternatif enerji kaynaklarının etkin seçimi pek çok değerlendirme kriterleri dikkate alınmasının yanında, alternatif kaynaklar birden çok karar verici tarafından değerlendirilmektedir. Dolayısıyla alternatif enerji kaynakları seçim problemi; bir çok kriterli grup karar verme problemi olarak nitelenmektedir. Bir karar kümesi içinden karar vericilerin ve karar verme durumlarına bağlı olarak en uygun enerji kaynağını seçmek amaçlanmaktadır. Fakat bazı durumlarda alternatiflerden hiç birisinin, belirlenen tüm kriterleri en iyi düzeyde sağlaması mümkün değildir. Bu seçim problemine uygun ve belirlenen gereksinimler ve kriterler temelinde ideale en yakın çözümü üretebilmek gerekmektedir. TOPSIS metodu bu ve benzeri seçim ve sıralama problemlerine kriter temelinde en uygun alternatifin belirlenebilmesi için hem pozitif çözümü hem de negatif çözümü dikkate alan bir karar destek metodudur.

Bu çalışma ile TOPSIS metodu sezgisel bulanık ortama genişletilerek yenilenebilir enerji kaynaklarının seçim problemine uygulanması ve en etkin enerji kaynağının belirlenmesi amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR

Enerji yatırım kararları doğası gereği çok amaçlıdır. Çok amaçlı karar verme yöntemleri, hükümetlere enerji sektöründeki plan ve politikaları değerlendirmek üzere yardım eder. Günümüzde, çok amaçlı karar verme yöntemleri ile ilgili birçok çalışma, enerji problemleri üzerine yoğunlaşmıştır [1].

Afgan ve Carvalho sürdürülebilirlik koşulunu karşılayan enerji sistemini değerlendirmede kullanılan enerji seviyelerinin tanımlamak üzere, parametrelerin sentez ve analizi temelinde yeni ve yenilenebilir enerji teknolojilerini değerlendirmek için seçenekler ve kriterlerin seçimini sunmuştur. Son yıllarda, enerji problemleri ile ilgili karar verme yöntemlerinin bulanık kümlelerle çeşitlilik göstermektedir [2].

Wang ve diğerleri sürdürülebilir enerji ile ilgili çok amaçlı kararları kriterler bazında objektif, sübjektif ve karma olarak değerlendirmiştir. Enerji tedarik sistem kriterlerini, teknik, ekonomik, çevre ve sosyal açıdan özetlemiştir [3].

Beccali ve diğerleri, enerji planlamada, çok amaçlı karar verme yaklaşımında karar vericilere karmaşık problemleri anlama ve seçim yapma konusunda yardımcı olmak üzere, bulanık kümeler metodolojisi ile karşılaştırarak tanıtım amaçlamıştır [4].

Haralambopoulos ve Polatidis, yenilenebilir enerji projelerini yenilenebilir enerji planlama sürecini, çok amaçlı karar verme yöntemlerinden PROMETHEE II metodu ile değerlendirmiştir [5].

Ulutaş Türkiye'nin enerji kaynakları için alternatif enerjileri değerlendirmek üzere ANP yöntemini kullanarak enerji politikası problemini analiz etmiştir [7].

Sezgisel bulanık küme, Atanasov tarafından önerildikten sonra başta çok amaçlı karar verme, örüntü tanımlama ve hastalıkların tanısı gibi alanlarda karşılaşılan problemlere uygulanmıştır. Literatürde çok amaçlı ve grup karar verme problemlerinde sezgisel bulanık kümeyle ilgili çalışmalar görülmektedir [8].

Chen ve Tan çok amaçlı karar verme probleminde alternatifleri karşılaştırmak için belirsiz kümede skor fonksiyonunu tanımlamışlardır. Yaptıkları çalışmada alternatiflerin önemini sezgisel bulanık sayılarla ifade etmiş, birleşme ve kesişim operatörlerini kullanarak alternatiflerin kriterleri ne derece sağladıklarını belirlemişlerdir. Fakat önermiş oldukları skor fonksiyonu bazı durumlarda alternatifleri sıralamada yetersiz olduğunu belirlenmiştir [9].

Hong ve Choi çok amaçlı karar verme probleminde alternatifleri karşılaştırmak için belirsiz kümede skor fonksiyonu ve doğruluk fonksiyonunu tanımlamışlardır. Yaptıkları çalışmada alternatiflerin önemini sezgisel bulanık sayılarla ifade etmişler, birleşme ve kesişim operatörlerini kullanarak alternatiflerin kriterleri ne derece sağladıklarını belirlemişlerdir. Skor fonksiyonun alternatifleri sıralamada yetersiz olduğunu göstermişler ve doğruluk fonksiyonunu tanımlamışlardır [10].

Li çok amaçlı karar vermede sezgisel bulanık kümeyi kullanmıştır. Karar probleminde alternatiflerin ve ağırlıkların önemini sezgisel bulanık sayılarla ifade etmiştir. Optimal alternatifi bulmak için ilk olarak lineer programlamayı kullanarak optimal ağırlıkları belirlemiştir. Alternatifleri sıralamak için sıralama indeksi tanımlamıştır. Bu indeks alternatifleri pozitif ideal çözüme en yakın negatif ideal çözüme en uzak olacak şekilde sıralama imkanı sunmaktadır [11].

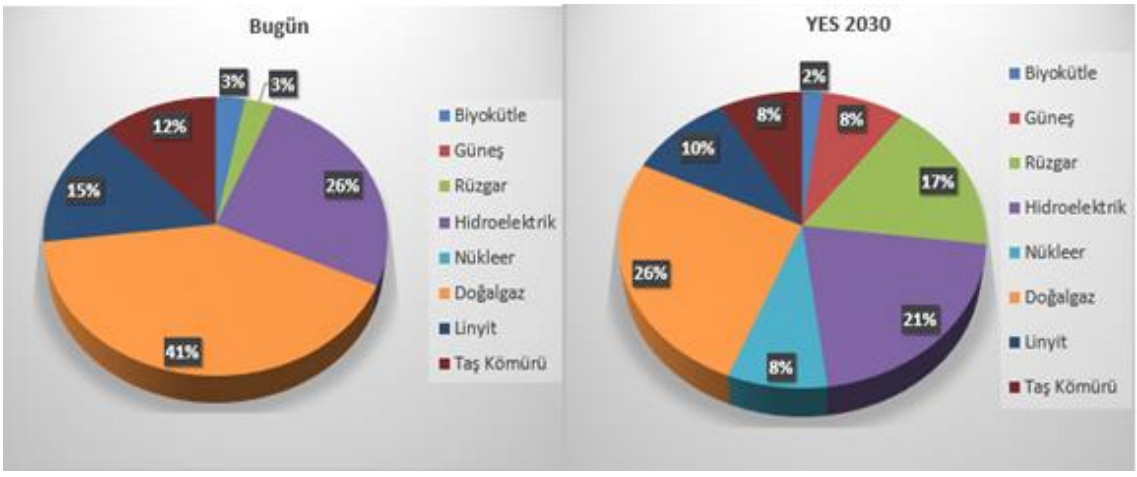
Wei çok ölçütlü karar verme probleminin çözümü içim sezgisel bulanık kümeyi kullanmıştır. Yaptığı çalışmada alternatiflerin kriterler bazındaki önemlerini sezgisel bulanık sayılarla ifade etmiştir. Kriterlerin ağırlıklarının tam olarak bilinmediği durumları ele almış ve optimal ağırlıkları bulmak için en büyük sapma yöntemini kullanmıştır. Optimal ağırlıklar bulunduktan sonra IFWA kullanarak sezgisel bulanık sayıları birleştirerek, skor fonksiyonu yardımıyla alternatifleri sıralamıştır [12].

3. TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

Yenilenebilir enerji kaynakları, yeryüzünde ve doğada çoğunlukla herhangi bir üretim sürecine ihtiyaç duymadan temin edilebilen, fosil kaynaklı (kömür, petrol ve karbon türevi) olmayan, elektrik enerjisi üretilirken CO_2 salınımı az bir seviyede gerçekleşen çevreye zararı ve etkisi geleneksel enerji kaynaklarına göre çok daha düşük olan, sürekli bir devinimle yenilenen ve kullanılmaya hazır olan enerji kaynakları olarak ifade edilir. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş ,rüzgar, jeotermal, dalga,biokütle, hidrolik ve hidrojen enerjisidir [13]. Yenilenebilir enerji kaynakları tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yeniler.

Günümüzde Türkiye, gereksinimi olan enerjinin yarısından fazlasını ithal etmekte olup, 2020 yılı için öngörülen senaryolarda dışa bağımlılık oranının %76 seviyelerine çıkacağı üzerinde durulmaktadır. Ekonomik büyüme hızının yaklaşık iki katı olan enerji tüketimi artışı bu durumda 2020 yılında Türkiye'nin omuzlarına 40 milyar dolar seviyesinde bir ithalat yükleyecektir [14].

Yenilenebilir Enerji Senaryosu'na (YES) göre, 2030 yılında elektrik talebinin %47'sinin yenilenebilir enerji teknolojileriyle karşılanabilecektir. Hidroelektriğin %25 olan payı %21'e inecek, rüzgâr ve güneş enerjisinin günümüzde %3 olan toplam payı ise %25'e çıkacaktır. Bu pay oranlarının artışı aşağıdaki şekilde görülmektedir [15].



Şekil 3.1. Elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı

2002 yılında 12,277 MW olan yenilenebilir enerji kaynakları kurulu gücümüz 2015 yılı sonu itibarı ile iki buçuk kat artarak 31,244 MW'a ulaşmıştır.2015 yılı içinde rüzgar, jeotermal, hidrolik, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına (çöp, biyokütle, atık ısı, pirolitik yağ) dayalı santrallerin kurulu gücünde yaşanan artış 3,600 MW olup bunların 873,5 MW'ı rüzgar, 2.224,6 MW'ı hidrolik, 219 MW'ı jeotermal, 282,9 MW'ı çöp gazı, biyokütle, atık ısı, prolitik yağ ve güneş elektrik üretim santralleridir. 2014 yılında kurulu gücümüzde gerçekleşen 5,512 MW'lık artışın yaklaşık yüzde 45'i, 2015 yılında gerçekleşen 3,628 MW'lik artışın ise neredeyse tamamı yenilenebilir kaynaklara dayalıdır. Bu durum yenilenebilir enerji uygulamalarımızın olumlu sonuçlarının en güzel göstergelerinden biridir [16].

3.1. Güneş Enerjisi

Bilindiği üzere dünyanın en büyük enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon işlemi, yani hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan ışıma enerjisidir ve dolayısıyla güneş sürekli bir füzyon reaktörü olarak kabul edilebilir. Hidrojenin helyuma dönüşmesi esnasında ise saniyede $4x10^6$ ton kütlenin enerjiye dönüşerek yaklaşık $386x10^6$ EJ (Eksa Joule) (1 EJ = 22,7 MTEP) değerindeki enerji ışınım şeklinde uzaya yayılır.

Bu işlem milyonlarca yıl daha devam edeceğinden (yaklaşık olarak belirlenen rakamlara göre beş milyar yıl) güneş, gezegenimiz için sonsuz bir enerji kaynağıdır.Bu da güneş enerjisini, dünyadaki ve Türkiye'deki enerji ihtiyacının karşılanabileceği uzun soluklu bir enerji kaynağı yapmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, yeryüzüne 90 dakikada vuran güneş ışığı, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır. IEA, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi büyük bir oranının güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmektedir ve 2030 yılına kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık %7,6 büyüme ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynakları olacağını bildirmektedir [17].

3.1.1. Güneş enerjisinin kullanım alanları

Günümüzde güneş enerjisinden ısıl uygulamalı ve güneş enerjisinin elektrik üretimine yönelik olmak üzere iki şekilde yararlanılır.

1) Güneş enerjisinin ısıl uygulamaları olarak;

- Sıcak su üretimi,
- Buhar üretimi
- Sera ısıtma,
- Kapalı hacimlerin ısıtılması,
- Kapalı hacimlerin soğutulması,
- Yüzme havuzlarının ısıtılması,
- Saf su üretimi,
- Buz üretimi,
- Tuz üretimi

Ülkemizde güneş enerjisi konutlarda sıcak su üretimi ve sera ısıtması en yaygın uygulamalardandır.

2) Elektrik enerjisi üretilmesi olarak
- Pv sistemleri kullanarak,
- Isıl yöntemlerle

Güneş enerjisiyle su ısıtma işlemleri için kullanılan güneş kolektörleri ise yapısal özellikleri itibarıyla üç tiptir ve Şekil 3.2 de gösterilmektedir. Bunlar;
- Düzlemsel güneş kolektörleri,
- Vakum tüplü güneş kolektörleri,
- Camsız güneş kolektörleridir [18].



(a) (b) (c)

Şekil 3.2. Güneş kollektörü çeşitleri a) Düzlemsel güneş kolektörleri b) Vakum tüplü güneş kolektörleri c) Camsız güneş kolektörleri

a. Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş enerjisinin en yaygın ve en çok bilinen kullanım alanlarından biridir. Özellikle evlerde sıcak su eldesi ve ısıtma amacı ile kullanılan bu sistemler, güneş enerjisini toplayarak suya ya da ısı transferini geçekleştiren herhangi bir akışkana ısı olarak aktaran çeşitli tür ve biçimlerde imal edilirler. Düzlemsel güneş kolektörleri sistemlerinin içerisinde dolaşan akışkan 70-80^{0}C sıcaklığa kadar yükselebilir [17].

b. Vakum tüplü güneş kolektörlerinde sistem iç içe geçmiş iki cam tüpten oluşmaktadır. Bu sistemlerde, vakumlu cam borular ve de gerekirse absorban yüzeyine gelen enerjiyi artırmak için metal ya da cam yansıtıcılar kullanılır. Bunların çıkışları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için (100-120^{0}C), düzlemsel kollektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca yiyecek dondurma, bina soğutma gibi daha geniş bir alanda da kullanılabilirler [19].

c. Camsız güneş kolektörlerinin Türkiye'de güneş enerjisi ile yüzme havuzların kış ve bahar aylarında ısıtılması uygulaması çok yaygın olmasada, sınırlı sayıda uygulama mevcuttur.

Güneş enerjisi ısıl uygulaması

Ülkemizde güneş enerjisi ısıl uygulaması olarak en yaygın kullanımı evlerde sıcak su üretimi ve sera ısıtmasıdır. Güneş kollektörlü sıcak su sistemleri, güneş enerjisini toplayan düzlemsel kollektörler, ısınan suyun toplandığı depo ve bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa ve kontrol edici gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır. Bunun yanında ısıl yollardan elektrik üretimide ışınım odaklamalı ve ışınım yansıtmalı sistemler ile yapılmaktadır.

Sıcak su üretimi

Güneşten sıcak su üretimi için yukarıda belirtilen kollektörler kullanılır.Güneş kollektöründe ısınan su binalardaki kullanım suyunu ısıtmak için ve bina ısıtmasına destek olmak için kullanılır.

Isıl güneş enerjisi uygulamalarının sınıflandırılmasında bir diğer önemli nokta da elektrik üretmekte kullanılan santrallerdir. Bunlar, parabolik oluk kollektörü, parabolik çanak kollektörü ya da merkezi alıcı tipte (güneş enerjisi yoğunlaştırıcıları) sistemlerinin kullanımına dayanır. Yoğunlaştırıcı toplayıcılarda geometrisine bağlı olarak doğru üzerine yoğunlaştırmada, yani parabolik oluk kollektörde 400^0C sıcaklığa, üç boyutlu, yani çanak kollektörlerde ise 1400^0C sıcaklıklara kadar ulaşılır.

Odaklı güneş enerjisi toplayıcılarıyla yüksek sıcaklıklarda kızgın su, doymuş buhar ve kızgın buhar elde edilir. Bu şekilde elde edilen kızgın su ya da buhar enerjisi, endüstriyel tesislerde türbin yardımıyla enerji üretiminde kullanılır [17].

Güneş enerjisi elektrik üretimi

Fotovoltaik sistemler kullanılarak güneş enerjisinden elektrik üretimi yapılmaktadır. Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine ışınım geldiğinde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Pilin verdiği elektriğin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Günümüzde Pv sistemlerden üretilen elektrik enerjisi, ısıl sistemlerden üretilene göre daha ucuz olduğu için, güneş elektriğinde Pv sistemler ön plana geçmiştir. Çeşitli tip ve özelliklere sahiptir bunlardan sabit ve hareketli Pv sistemleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir [20].



Şekil 3.3. Sabit Pv sistemi

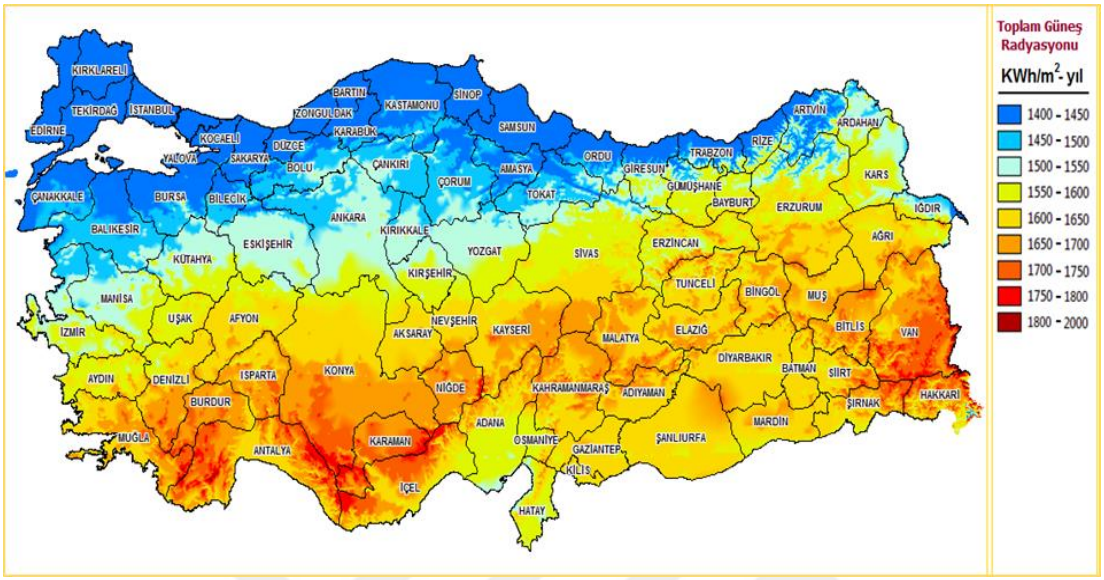


Şekil 3.4. Hareketli Pv sistemi

3.1.2. Türkiye'deki güneş enerjisinin durumu

Güneş enerjisini etkin ve verimli kullanabilmek ve enerji üretimi için değerlendirme yapmaya yönelik potansiyel belirleme çalışmalarına katkı vermek üzere kullanılan bilgilerin "GEPA (Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) Albümü" Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanıp kullanıma sunulmuştur. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük toplamı 7,5 saattir), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m².yıl, yani günlük

toplam olarak 4,2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir [17]. Aşağıda, 3.1.2. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası görülmektedir [21].



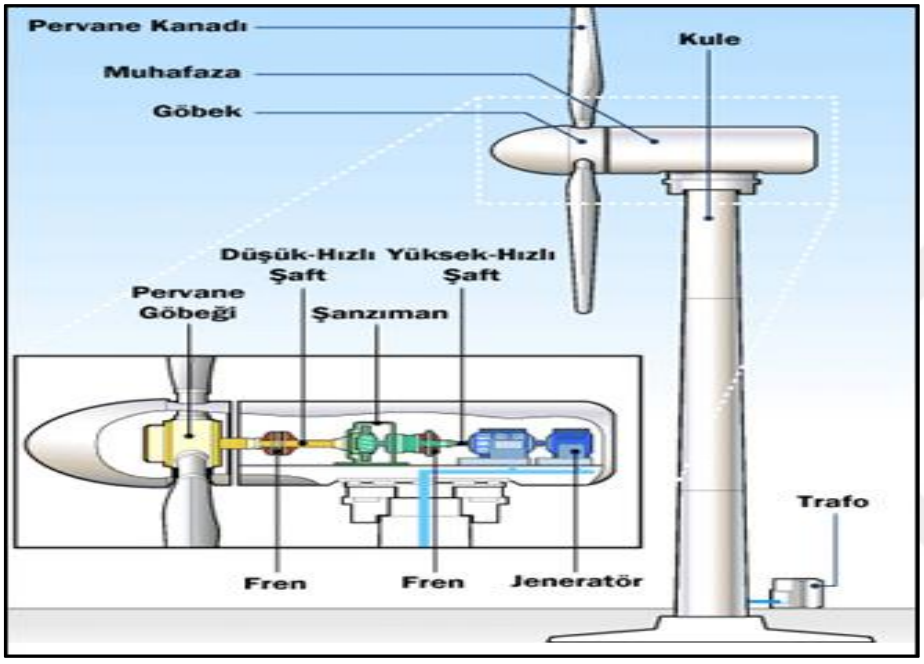
Harita 3.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası

Ülkemizde yıllık ortalama toplam güneş ışınımının en küçük ve en büyük değerleri sırası ile 1120 kWh/m^2-yıl ile Karadeniz Bölgesi'nde ve 1460 kWh/m^2-yıl ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleşmektedir. Bu ışınım şiddetleri ile Türkiye'nin, Güneydoğu ve Akdeniz bölgeleri içinde kalan ve yüzölçümünün %17'sini kapsayan bölümünde, güneşli su ısıtıcılarının yıl boyunca tam kapasiteli olarak çalıştıkları görülmektedir. Türkiye yüzölçümünün %63'ünü kapsayan bölümde ise güneşli su ısıtıcılarının yıl boyunca çalışma oranı %90 ve ülkenin %94'ünü kapsayan bir bölümdeki çalışma oranı ise %80'dir [22].

3.2. Rüzgar Enerjisi

Güneş ışınımının etkisi ve yer yüzeyinin albedosunun farklılığı sonucunda meydana gelen hava hareketleri, atmosferin sınır tabakasında bulunan moleküllerin sürekli olarak hareket etmesini sağlar. Hava kütleleri, basıncın yüksek olduğu yerden düşük olduğu yere doğru hareket eder ve bu basınç farklılığından rüzgar oluşur. Hava kütlelerinin kinetik enerjisi yatay veya düşey bir mil yardımıyla alınarak rüzgarın enerjisinden faydalanılır [23].

Rüzgardan elektrik enerjisi üretiminde Şekil 3.5'de görüldüğü üzere rüzgar türbinleri ve parçaları kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri rüzgardaki hareket enerjisini önce mekanik daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgar enerjisi üretimi, kurulu rüzgar türbinlerine gelen rüzgarın, pervaneleri döndürmesiyle oluşan hareket enerjisinin jeneratör sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşir [24].



Şekil 3.5. Bir rüzgar enerjisi türbini ve parçaları

Rüzgardan Enerji Elde Etmek için aşağıdaki adımlar gereklidir;

- Rotor Blades (Pervane kanatları): Rüzgar enerjisini dönme hareketine çevirmeye yarar.
- Shaft (Şaft): Dönme hareketini üretece iletir.
- Gear Box (Dişli Kutusu): Pervaneyle şaftın aralarındaki hızı arttırıp, üretece daha hızlı bir hareket iletilmesine yardımcı olur.
- Generator (Üreteç): Dönme hareketinden elektrik enerjisi üreten bölümdür.
- Breaks (Frenler): Aşırı yüklenme ve bir sorun olduğunda pervaneyi durdurmaya yarar.
- Tower (Kule): Pervane ve motor bölümünün yerden güvenli bir yükseklikte çalışmasını sağlar.
- Electrical Equipment (Elektrik Donanımı): Üretilen elektrik enerjisini ilgili merkezlere iletilmesini sağlar.

3.2.1. Rüzgar enerjisinin kullanım alanları

Rüzgarın türbinleri hareket ettirmesi ile oluşan enerjinin başlıca kullanım alanları;

- Bireysel amaçlı kullanımda, genellikle düşük güç gerektiren konutlarda veya çiftliklerde su pompalamada, ısınmada,
- Meteoroloji ve gözlem istasyonlarında,
- Deniz fenerlerinde ve iletişim sistemlerinde,
- Yüksek güç gerektiren kırsal kesimlerin elektrik enerjisi ihtiyacında veya ulusal şebekelerin beslenmesinde kullanılır [25].

Rüzgar enerjisinin en etkin kullanım biçimleri ise aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Mekanik uygulamalar (su pompalama sistemi)
- Elektriksel uygulamalar (şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız-stand alone sistemler)
- Isıl enerjisi uygulamaları

Mekanik uygulamalar

Mekanik uygulamalarda rüzgar enerjisi; verimli ve ekonomik olarak su pompajında kullanılabilmektedir. Rüzgar türbinlerinde kanat sayısı arttıkça, dönüş hızı azalır. Kanat sayısının fazla olduğu sistemler çoğunlukla su pompalama amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle enerji üretiminde üçten fazla kanatlı sistemler kullanılmamaktadır.

Elektriksel uygulamalar

Elektriksel uygulamalar şebekeden bağımlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere iki ayrılır;

- Şebeke Bağımlı Sistemler: Elektrik şebekesine bağlı bir ve/veya birden fazla bü yük güçlü rüzgar türbini içeren rüzgar tarlalarından (santralı) oluşan sistemlerdir.
- Şebekeden Bağımsız (Stand Alone) Sistemler: Elektrik sistemlerine bağlı olmayan kırsal kesimlerde kullanılırlar. Kendi başlarına veya bir dizel genaratör ve PV güneş paneli ile birlikte enerji üretirler. Bu uygulamada şebekeye hiç enerji vermeden bir veya bir kaç yük beslenir.

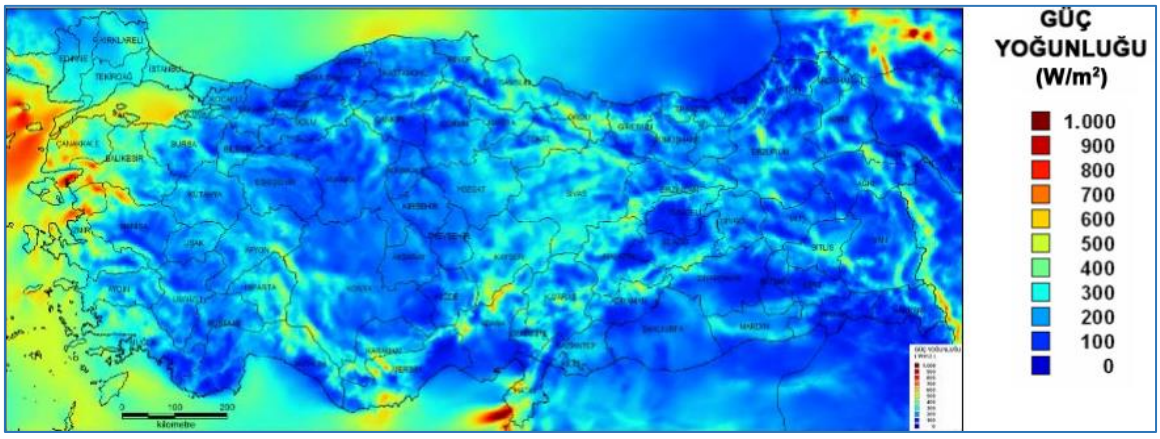
Tarımsal amaçlı su pompalama, ürünlerin kurutulması veya soğutulması, ısıtıcıların işletimi, su arıtma, havalandırma işlemleri ve küçük çapta konutların elektrik ihtiyacının karşılanması için kullanılır.

Hacim veya su ısıtılmasında kullanılan sistem

Bu sistemler uzak bölgelerde ya da rüzgar enerjisinin daha ekonomik olabildiği bölgelerde su ısıtılmasında ya da sera gibi büyük hacimlerin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Kullanılan türbin kapasitesi 5-10 kW arasındadır [26].

3.2.2. Türkiye'de rüzgar enerjisinin durumu

Türkiye rüzgar enerjisi potansiyel atlası (REPA), Türkiye rüzgar kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından 2006 yılında ortaya çıkarılmıştır. Detaylı rüzgar kaynağı haritaları ve diğer bilgileri rüzgar enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir altyapı sağlamaktadır. Yıllık ortalama değer alındığında, Türkiye'nin en iyi rüzgar kaynağı alanları, kıyı şeritleri, yüksek kesimler ve dağların tepesinde ya da açık alanların yakınında bulunmaktadır. Açık alan yakınlarındaki en şiddetli yıllık ortalama rüzgar hızları Türkiye'nin batı kıyıları boyunca, Marmara denizi çevresinde ve Antakya yakınında küçük bir bölgede meydana gelmektedir. Orta şiddetteki rüzgar hızına sahip geniş bölgeler ve rüzgar gücü yoğunluğu Türkiye'nin orta kesimleri boyunca mevcuttur. Türkiye geneli 50 m yükseklikte ortalama rüzgar hız dağılımı Harita 3.2.'de verilmiştir.



Harita 3.2. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel haritası

Ülkemizin 7,0 m/s'nin üzerindeki rüzgar hızı değerlendirildiğinde kara rüzgar potansiyeli 48000 MW iken; 6,5 m/s'nin üzerindeki rüzgâr hızı değerlendirildiğinde ise deniz rüzgar potansiyeli 17393,20 MW'dır. Türkiye'de deniz üstüne kurulmuş herhangi bir rüzgâr enerji santrali bulunmamaktadır. Ayrıca, ülkemizde kara rüzgâr potansiyeli değerlendirildikten sonra, deniz üstü rüzgar potansiyelinin dikkate alınması, enerji maliyeti açısından önemli bir husus olarak görülmektedir [27].

3.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji bilimsel olarak; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ve yeryüzündeki havzalardan beslenen sularla potansiyelini oluşturan birikmiş ısının meydana getirdiği sıcaklıkları bölgesel olarak değişen ve bünyesinde daha çok erimiş mineral tuzları ve gazları içeren su ve buhardan oluşan bir hidrotermal kütledir. Yeraltındaki bazı granit gibi sert kayaların oluşturduğu sistemler de bünyelerinde su içermemesine rağmen bir jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilir. Bu kayalar herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalardır. En geniş anlamda yerkabuğunda depolanan ısıl enerji, jeotermal enerji olarak tanımlanmaktadır [28].

Yerküredeki termal rejimler kaynak tiplerine göre sınıflandırılır. Bunlar sırasıyla aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hidrotermal enerji
- Basınçlı yer altı enerjisi
- Magma enerjisi
- Sıcak kuru kaya
- Yerküre enerjisi

Bunlar jeolojik süreçte yeraltında biri veya birkaçı tarafından yeraltının farklı bölgelerinde yerküre konsantrasyonu olarak oluşurlar. Yerküre enerjisi yerkabuğuna yakın bölgelerde oluşan bir ısıl enerjidir. Genelde bu enerji dünyanın farklı bölgelerinde mevcut olup endüstriyel ısı ihtiyaçlarımızı karşılamada, konutların ısıtılması ve soğutulması ve sıcak su ihtiyaçlarımızı karşılamada kullanılırlar [29].

3.3.1. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanları

150^0C altındaki sıcaklıklarda termal enerji direkt olarak sera, bölge ısıtma, sulu tarım, endüstriyel işlemler gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Sera ısıtması

Dünyanın çeşitli ülkelerinde seraların jeotermal enerji ile ısıtılması suretiyle turfanda sebzecilik, meyvecilik ve çiçekçilik yapılmaktadır [30].

Bölge ısıtması

İkinci bir doğrudan kullanma uygulaması bölge ısıtmasıdır. Bölge ısıtması soğuk iklim bölgelerine daha uygun bir kullanımdır. Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada, suyun ısıtılmasında 40^0C üzerindeki sıcaklıkta bulunan jeotermal akışkandan yararlanılmaktadır [31].

Endüstriyel kullanım

Jeotermal enerjinin endüstriyel alanda bir çok kullanım şekli bulunmaktadır. Bunlar arasında sebze kurutma, tahıl ve kereste kurutma, kağıt ve kağıt hamuru işleme, kimyasal madde elde etme ve atık su işlemeleri sayılabilir [30].

Tarımsal ürün kurutma

Dünya üzerinde yalnızca on ülke tarımsal ürünlerin kurutulmasında jeotermal enerjiyi kullanmaktadır [32].

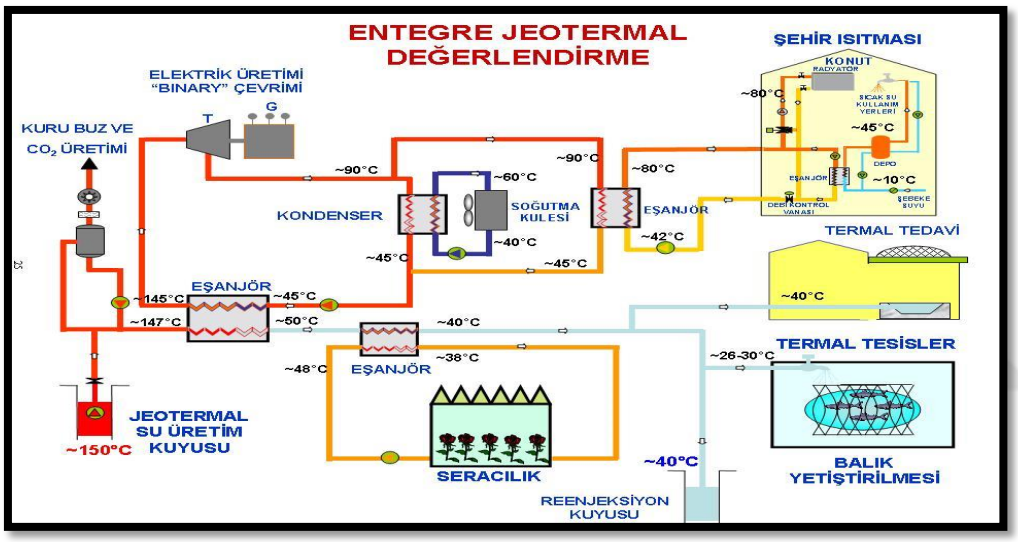
Soğuk ve kar çözme

Yol yüzeylerinde soğuk ve kar çözme projesi uygulamaları çok sınırlı bir şekilde Arjantin, İzlanda, Japonya, İsviçre ve Amerika'da görülmektedir [32].

Banyo ve yüzme (termal turizm)

Dünya üzerinde 45 ülkede termal kür merkezleri, spa merkezleri, kaplıca havuzları bulanmaktadır. Buna rağmen birçok kaynak kullanım dışı olarak beklemektedir [32].

Jeotermal enerjinin doğrudan olmayan kullanımı ise jeotermal enerji ile elektrik üretimi yoluyla gerçekleşmektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretilmesi ve jeotermal enerjinin uygulama alanlarına ilişkin Şekil 3.6'da sıcaklıklarına göre kullanım alanları da Lindal Diyagramı olan Çizelge 3.1'de belirtilmiştir [33].



Şekil 3.6. Jeotermal elektrik üretimi şeması ve uygulama alanları

Çizelge 3.1. Jeotermal enerjinin sıcaklığa göre kullanım alanları (Lindal Diyagramı)

SICAKLIK(ºC)	KULLANIM ALANLARI
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, Elektrik üretimi, amonyum absorbsiyonu ile soğutma
170	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfit eldesi
160	Kereste kurutmacılığı, balık kurutmacılığı
150	Bayer's metodu ile alüminyum eldesi
140	Konservecilik , çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması
130	Şeker endüstrisi, tuz endüstrisi,
120	Distilasyonla temiz su elde edilmesi
110	Çimento kurutmacılığı

Çizelge 3.1. (devam) Jeotermal enerjinin sıcaklığa göre kullanım alanları (lindal diyagramı)

100	Organik maddeleri kurutma (Deniz yosunu, çimen, sebze), yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma (stok balık)
80	Yer ve sera ısıtmacılığı
70	Soğutma (Alt Sıcaklık Limiti)
60	Sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı
50	Mantar yetiştirme, balneolojik hamamlar
40	Toprak ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermantasyonlar, damıtma
20	Balık çiftlikleri

3.3.2. Türkiye'de jeotermal enerji

Ülkemizde yaklaşık 1000 adet sıcak su ve mineralli su kaynağı ve buna ek olarak jeotermal kaynak kuyusu mevcuttur. Bunlardan 170 adedinin sıcaklığı 40^0C'nin üzerindeki sıcaklıklardadır. En kıymetli sayılabilecek 11 adedi ise çok yüksek sıcaklıklardaki kaynakları barındıran bölgeler olup, elektrik enerjisi üretimi için elverişli olmaları sektör açısından cazip bulunmaktadır. Bu yerler ve kaynak sıcaklık değerleri sırasıyla, yaklaşık 232^0C ve üzeri değerleriyle Aydın-Germencik, 182^0C ile Manisa Salihli Göbekli, 174^0C ile Çanakkale-Tuzla, 171^0C ile Aydın-Salavatlı, 162^0C ile Kütahya Simav, 153^0C ile İzmir Seferihisar, 150^0C ile Manisa Salihli-Caferbey, 142^0C ile Aydın-Yılmazköy, 136^0C ile İzmir-Balçova, 130^0C ile İzmir-Dikili sayılabilir [34].

Türkiye dünya ülkeleri arasında, jeotermal enerji kapasitesi olarak yapılan sıralamada on ikinci sıradadır [22]. 2012 Yılı Eylül ayı sonu itibarıyla elektrik enerjisi üretiminin, birincil enerji kaynaklarına göre dağılımda jeotermal enerji ancak %0,3'lük bir kapsamında yer almaktadır. Jeotermal enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarındaki yerinin arttırılması bakımından göz önüne alındığında, jeotermal kurulu gücü, yine 2012 Yılı Eylül ayı sonu itibarıyla, kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımında (%-MW olarak) yaklaşık %0,2 ile 114,2 MW değerine ulaşmıştır. Önümüzdeki yakın zaman diliminde de bu rakamların yükseltilmesi hedeflenmektedir [34]. Türkiye'nin jeotermal enerji kaynaklar ve alanlar haritası 3.3.2. aşağıda verilmiştir [35].



Harita 3.3. Türkiyede jeotermal kaynaklar ve volkanik alanlar haritası

3.4. Dalga Enerjisi

Deniz kökenli yenilenebilir enerjiler; deniz dalga enerjisi, gel-git (med-cezir) enerjisi, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisi olarak sıralanabilir. Çevre faktörleriyle, birlikte türbinlerin verimi de göz önüne alındığında, deniz sıcaklık gradyent enerjisi, deniz tuzluluk gradyent enerjisi, deniz akıntıları enerjisi ve deniz yüzeyi buharlaşma enerjisini günümüz teknolojik sistemleriyle ekonomik olarak elektrik enerjisine dönüştürme olanağı mümkün olmamaktadır [36].

3.4.1. Dalga enerjisinin uygulamaları

Dalga enerjisi dönüşüm sistemleri kıyı boyunca, kıyıya yakın ve kıyıdan uzak bölgelerde uygulananlar olmak üzere üç grupta toplanabilir. Dalga yüksekliği ve periyodu o bölgede elde edilecek dalga enerjisinin ana parametreleridir.

Kıyı Şeridi(Shoreline) Uygulamaları;

- Salınımlı Su Kolonu(Oscillating water column-OWC)
- Daralan Kanal Sistemi(Taperen Chanel -Tapchan)
- Pendula

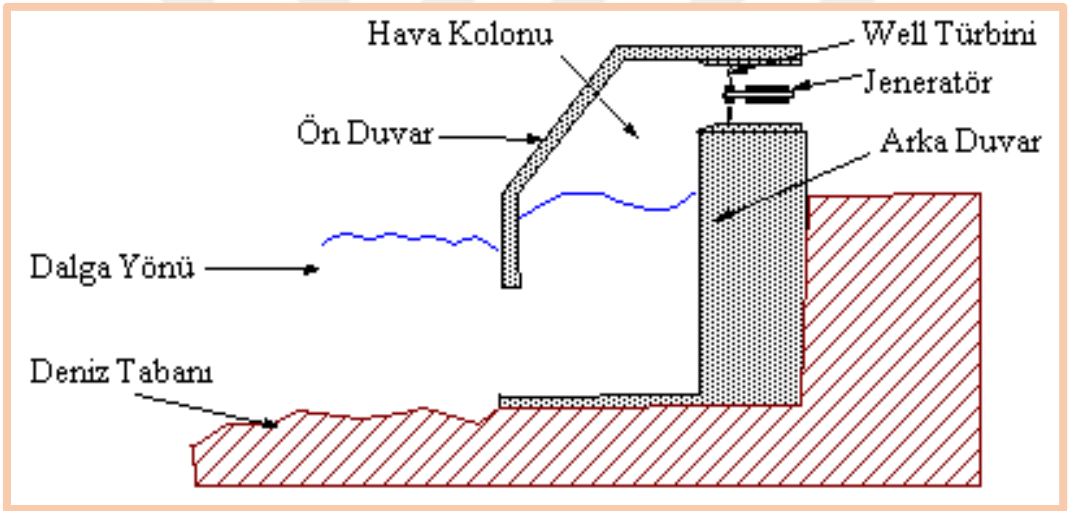
Kıyıya Yakın(Near Shore)Uygulamalar;

- Osprey
- Wosp 3500

Kıyıdan Uzak(Offshore) Uygulamalar;

- McCabe Dalga Pompası(McCabe Wave Pump)
- OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü(WEC)
- Pelamis

Bu üretim sistemlerinden Salınımlı Su Kolonu (Oscillating Water Column-OWC) dalga enerjisinden elektrik üreten uygulamanın çalışma prensibi Şekil 3.7'de gösterilmiştir [37].



Şekil 3.7. Salınımlı su kolonu sistemi

Bu sistemlerde su kolonu ve onun üzerinde bir hava kolonu vardır. En alttaki kapı suyun içeri girmesini sağlar. Su tarafından sıkıştırılan hava dar kısımdan geçerek çıkıştaki türbini hareket ettirir. Dalga geri çekilirken içerdeki havayı boşaltacak bu hareket, türbinin yeniden hareket etmesini sağlayacaktır. Bu sistemde normal bir türbin kullanılırsa su odaya girdiğinde ve odadan çıkarken türbin pervanesi farklı yönlere dönecektir. Bu durumda pervane durup çalıştığı için enerji üretimini azaltacaktır. Ancak wells türbini kullanıldığında bu türbinin özel yapısı sayesinde zaman kaybı yaşanmadan her zaman tek yöne doğru dönüş sağlanır ve daha verimli bir şekilde enerji üretilmesini sağlar [38].

3.4.2. Türkiye'de dalga enerjisi

Marmara denizi dışındaki açık deniz kıyıları 8210 km'yi bulmasına rağmen dalga rasatları ve bunlara iliskin ölçüm verileri mevcut değildir. Dalga cephesinin gücü Akdeniz kıyıları için ortalama 13 kW/m olarak verilmektedir. Türkiye dışında Akdeniz'de yapılmış ölçümler, bu gücün yıl boyunca 8,4–15,5 kW/m arasında değiştiğini göstermektedir. Bu değerler doğal olarak iç denizlerde daha da düşmektedir. Türkiye kıyılarının beşte birinden yararlanılarak sağlanabilecek dalga enerjisi teknik potansiyeli 18,5 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir [39]. Türkiyenin Dalga Enerjisi Potansiyeli Harita 3.4'te gösterilmektedir.



Harita 3.4. Türkiye'nin dalga enerjisi potansiyeli haritası

İzmir Çeşme yöresine yönelik olarak yapılan bir çalışmada dalga enerjisinin en fazla olduğu ayın Şubat ayı olduğu tespit edilmiş, Kasım - Mart aylarından oluşan 5 ayda diğer aylara nazaran daha fazla dalga elektriği üretilebileceği ortaya çıkmıştır. Ortalama dalga gücünün 7,16–39,66 kW/m arasında değiştiği ve birim genişliğe etkiyen ortalama dalga gücünün 14,84 kW/m olarak alınabileceği tespit edilmiştir [40]. Karadeniz'e ait dalga rasatları olmamakla birlikte, ortalama dalga gücünün Çeşme'den daha yüksek olacağı aşikardır.

Türkiye'nin Batı ve Kuzey kıyılarının dalga enerjisi yönünden oldukça zengin olduğu görülmekte ve bu kıyılarda özellikle Tapchan tipi ve sabit OWC sistemleri kurularak, ilgili bölgelerdeki küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerjisi gereksinimine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir [41].

3.5. Biokütle Enerjisi

Biokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan organik madde kaynaklarıdır. Ana bileşenleri, karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise, biokütle enerjisi olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle, yüzyıllık dönemden daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, besin endüstrisi ve orman ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanabilir [42].

Biyokütle, tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyoekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeni ile uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Petrol, kömür, doğalgaz gibi tükenmekte olan enerji kaynakları kısıtlı olduğu, ayrıca fosil yakıtlar çevre kirliliği oluşturduğu için biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır. Doğaları gereği biyokütle enerji kaynakları çok çeşitlidir.

Deniz ve/veya karada bulunabilen bitkisel veya hayvansal biokütle enerji kaynakları şunlardır;

- Odun (enerji ormanları, ağaç artıkları),
- Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, vb),
- Karbonhidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, vb),
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, vb)
- Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk vb)
- Şehirsel ve endüstriyel atıklar [43].

3.5.1. Biokütle enerjisinin kullanım alanları

Biyokütle materyalleri biyokütle çevirim teknikleri ile işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir. Çevrim sonunda biyodizel, biyogaz, biyoetanol, pirolitik gaz gibi ana ürün olan yakıtların yanı sıra, gübre, hidrojen gibi yan ürünler de elde edilmektedir. Biyokütleden enerjinin yanı sıra, mobilya, kağıt, yalıtım malzemesi yapımı alanlarında da yararlanılmaktadır.

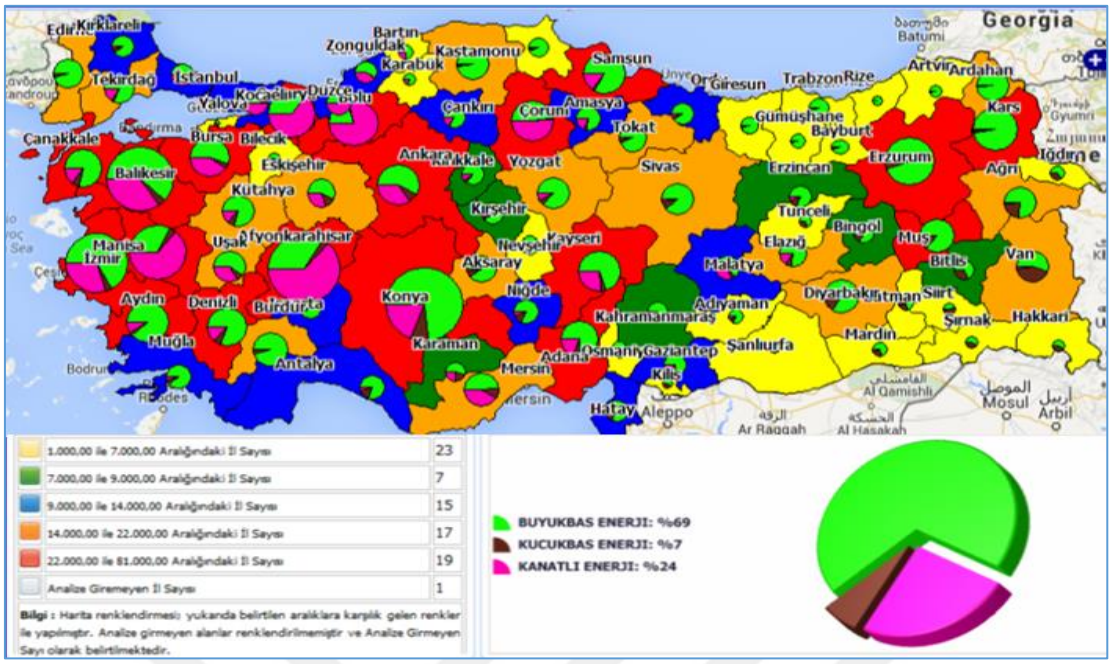
Biyokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri, bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulama alanları aşağıda Çizelge 3.2'de verilmiştir [44].

Çizelge 3.2. Biokütle kaynakları kullanılan çevrim teknikleri ve bu teknikler kullanılarak elde edilen yakıtlar ve uygulamaları

Biokütle	Çevrim Yöntemi	Yakıtlar	Uygulama Alanları
Orman Atıkları	Havasız Çürütme	Biyogaz	Elektrik üretimi,ısınma
Tarım Atıkları	Piroliz	Etanol	Isınma, ulaşım araçları
Enerji Bitkileri	Doğrudan Yakma	Hidrojen	Isınma
Hayvansal Atıklar	Fermantasyon,havasız çürütme	Metan	Isınma, ulaşım araçları
Çöpler(Atıklar)	Gazlaştırma	Metanol	Uçaklar
Algler	Hidroliz	-	Sentetik yağ, Roketler
Enerji Ormanları	Biyofotoliz	Motorin	Ürün kurutma
Bitkisel ve Hayvansal Yağlar	Esterleşme Reaksiyonu	Motorin	Isınma, ulaşım araçları, seracılık

3.5.2. Türkiye'de biokütle enerjisi

Ülkemizde var olan biokütle potansiyeline ilişkin ulaşılabilen istatistiksel verilerle Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyelinin yaklaşık 32 MTEP, toplam dönüştürülebilir biyoenerji potansiyelinin ise yaklaşık 16,92 MTEP idir [45]. Ülkemizin biokütke potansiyel Harita 3.5'te görüldüğü gibidir.



Harita 3.5. Türkiye'nin biokütle potansiyel haritası

Ülkemizde var olan biokütle potansiyeline ilişkin ulaşılabilen istatistiksel verilerle Türkiye'nin yıllık biokütle potansiyelinin yaklaşık 32 MTEP, toplam dönüştürülebilir biyoenerji potansiyelinin ise yaklaşık 16,92 MTEP olduğu söylenebilmektedir [46].

Türkiye'deki olası biokütle enerji kaynakları değerlendirildiğinde, arasında tarım endüstrisi artıkları ile odun ve odun dışı orman ürünleri artıklarının, hayvan yetiştiriciliği sonucunda ortaya çıkan hayvansal atıkların, özellikle toplu konutların yüksek oranlarda bulunduğu şehirlerdeki evsel ve şehirsel katı atıkların, biokütle kökenli tüm endüstriyel atıkların gazlaştırma, fermantasyon, anaerobik çürütme gibi uygun tekniklerle alternatif yakıtlara dönüştürülebileceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu gerçekleştiğinde, biokütle yakıtları birleşik güç, ısı ve soğutma tesislerinde değerlendirilerek yerli kaynaklardan enerji üretiminin artmasına ve dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlanacaktır [47].

3.6. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen dünyada en basit ve en çok bulunan bir elementtir. Aynı zamanda renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve zehirsiz bir gazdır. Yerel olarak da üretimi mümkün olan hidrojen enerjisi ayrıca kolay ve güvenli bir şekilde taşınması ile enerji

kaybı az olan, her alanda kullanılabilen bir enerji türüdür. Hidrojen doğada bileşikler halinde bulunmaktadır ve en çok bilinen bileşiği sudur [48].

Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir (Üst ısıl değeri 140,9 MJ/kg, alt ısıl değeri 120,7 MJ/kg). 1 kg hidrojen 2,1 kg doğal gaz veya 2,8 kg petrolun sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur [49].

3.6.1. Hidrojen enerjisinin kullanım alanları

Hidrojen enerjisinin insan ve çevre sağlığını tehdit edecek bir etkisi yoktur. Bu yüzden kömür, doğalgaz gibi fosil kaynakların yanı sıra sudan ve biyokütleden de elde edilen hidrojen, enerji kaynağından çok bir enerji taşıyıcısı olarak düşünülmektedir.

Hidrojen yerel olarak üretimi mümkün, kolayca ve güvenli olarak her yere taşınabilen, taşınması sırasında az enerji kaybı olan, ulaşım araçlarından ısınmaya, sanayiden mutfaklarımıza kadar her alanda yararlanacağımız bir enerji sistemidir [32]. Bu yüzden birçok yatırımcı ve akademisyen hidrojen enerjisini geleceğin en önemli enerjilerinden biri olarak düşünmektedir.

Türkiye genelinde sektörel olarak hidrojen enerjisinin kullanım alanları;

- Suni Gübre Sanayi
- Bitkisel Yağ(margarin) Üretimi
- Rafineriler
- Petrokimya Endüstrisi
- Hidrojen Hayvansal Yağ Üretimi
- Gaz veya Sıvı Hidrojen Üretimi

3.6.2. Hidrojen enerjisinin Türkiye'deki durumu

Ülkemiz diğer ülkelerle karşılaştırıldığında hidrojen enerjisi üretim teknolojileri de yetersiz kalmaktadır. Teknolojik verilere ve Türkiye'nin enerji-ekonomi verilerine göre 1995-2095

yılları arasında güneş-hidrojen sistemi ile yapılabilecek yakıt üretimi ve bunun fosil yakıtlarla rekabet imkanı, özel simülasyon modeli kapsamında bilgisayar çözümleri ile araştırılmıştır. Bu ulusal modelde, hidrojen üretiminin artışı için yavaş ve hızlı olmak üzere iki ayrı seçenek ele alınmıştır. Her iki seçenekte de, 2010-2015 döneminde hidrojen enerjisi maliyetinin fosil enerji maliyetinin altına düşebileceği, ancak yapılacak yerli hidrejen üretiminin 2,3 Mtep'in altında kalacağı görülmüştür.

2020-2025 döneminde ise, yerli hidrojen üretiminin 10 Mtep'in üzerine çıkabileceği, 2015 yılından sonra ise fosil yakıt ithalatını düşürücü etki yapacağı sonucuna ulaşılmıştır [50].

Türkiye'nin hidrojen enerjisi üretimine yönelik olarak yürüttüğü çalışmalar genellikle hidrojenin, saflaştırılması, taşınması ve depolanması gibi aşamaları olup, yakın tarihte hayata geçirilmesi planlanan başlıca projeler şu şekildedir;

- Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Enerji Enstitüsü tarafından yürütülen ve AB'nin de destek verdiği, VI. Çerçeve Programı'na yönelik, Hidrojen Teknolojileri Mükemmeliyet Projesi (HYPROSTORE),
- MAM, ODTÜ, İstanbul, Boğaziçi, Sabancı, İTÜ gibi üniversite ve bazı kurumlar tarafından yürütülen katı oksit yakıt pili araştırmaları projesi,
- TÜBİTAK–MAM'ın üstlendiği 1,5 KW gücünde Polimer Elektrolit Memran
- (PEM) Tipi Yakıt Pili Sistemi kurulum projesi.

3.7. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerji suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak potansiyel enerjiyi önce kinetik enerjiye sonra mekanik enerjiye daha sonra türbin rotoruna bağlı jeneratörlerde elektrik enerjisine dönüştürülerek enerji üretilmesidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin en yaygın kullanım şekli nehirler üzerinde barajlar inşa ederek suyu büyük rezervuarlarda biriktirmek ve suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmektir. Bunun için hidroelektrik santrallerden faydalanılır [33].

Hidroelektrik santralleri kapasitelerine göre büyük, küçük, mini ve mikro olarak sınıflandırılmaktadırlar. Büyük santraller ulusal şebekeleri beslemede kullanılırken, mini ve mikro ölçekli santraller ise enerjinin ulaştırılamadığı kırsal kesimlerde ve bazı çiftliklerde kullanılmaktadır.

3.7.1. Hidroelektrik enerjisinin uygulama alanları

Hidroelektrik enerjinin üretildiği hidroelektrik santraller, fosil kaynaklı enerjilerle çalışan termik santraller gibi hava kirliliğine sera gazı salınıma, reaksiyon sonucu ortaya çıkabilecek atık ürünleri ortaya çıkarmadığı için temiz çevre dostu bir enerji çeşididir.

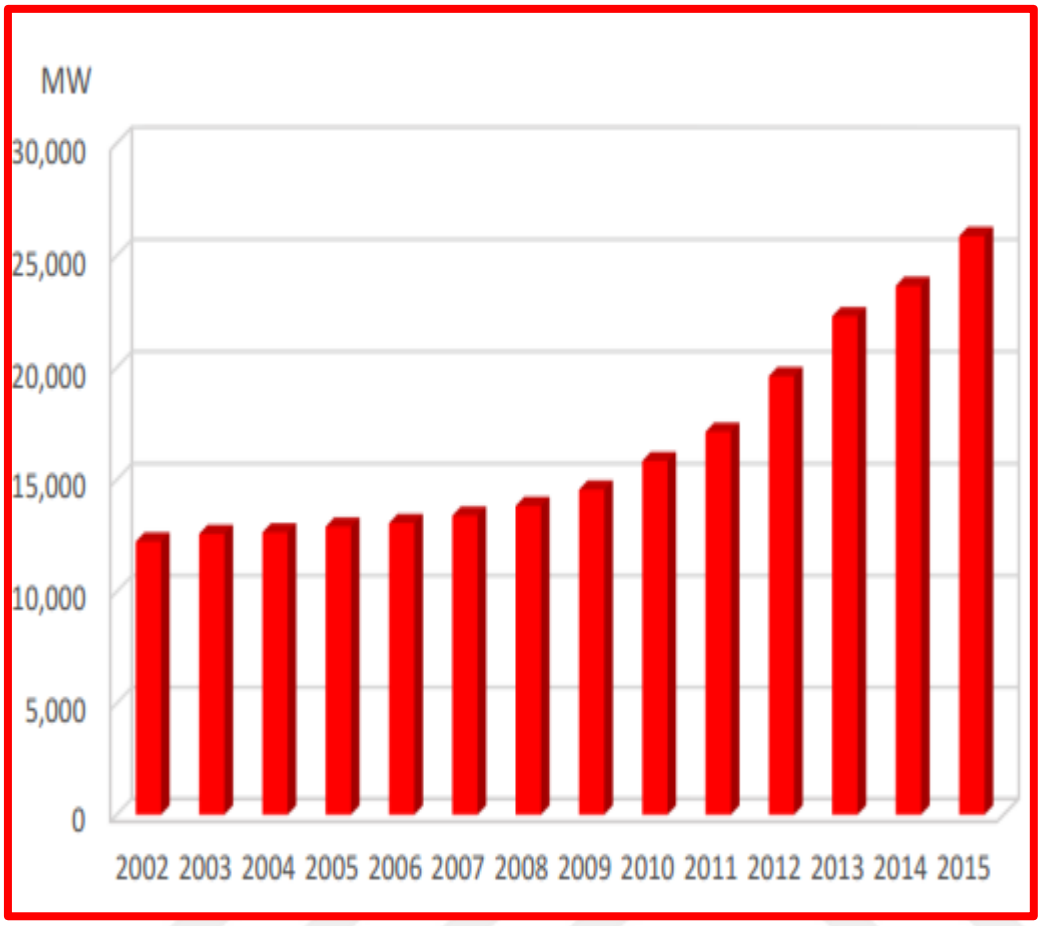
Suyun potansiyel enerjisinin kullanımını sağlamakla beraber birçok kullanım alanları vardır bunlardan bazıları ise;

- Sulama amacıyla çevre ziraatini geliştirmede,
- Aşırı yağışlı geçen yıllarda sel taşkınlarını önlemede
- Ağaçlandırmayla estetik açıdan görünüm kazandırmakta ve su kalitesini arttırmak amacıyla da yararlanılmaktadır [34].

3.7.2. Hidroelektrik enerjisinin Türkiye'deki durumu

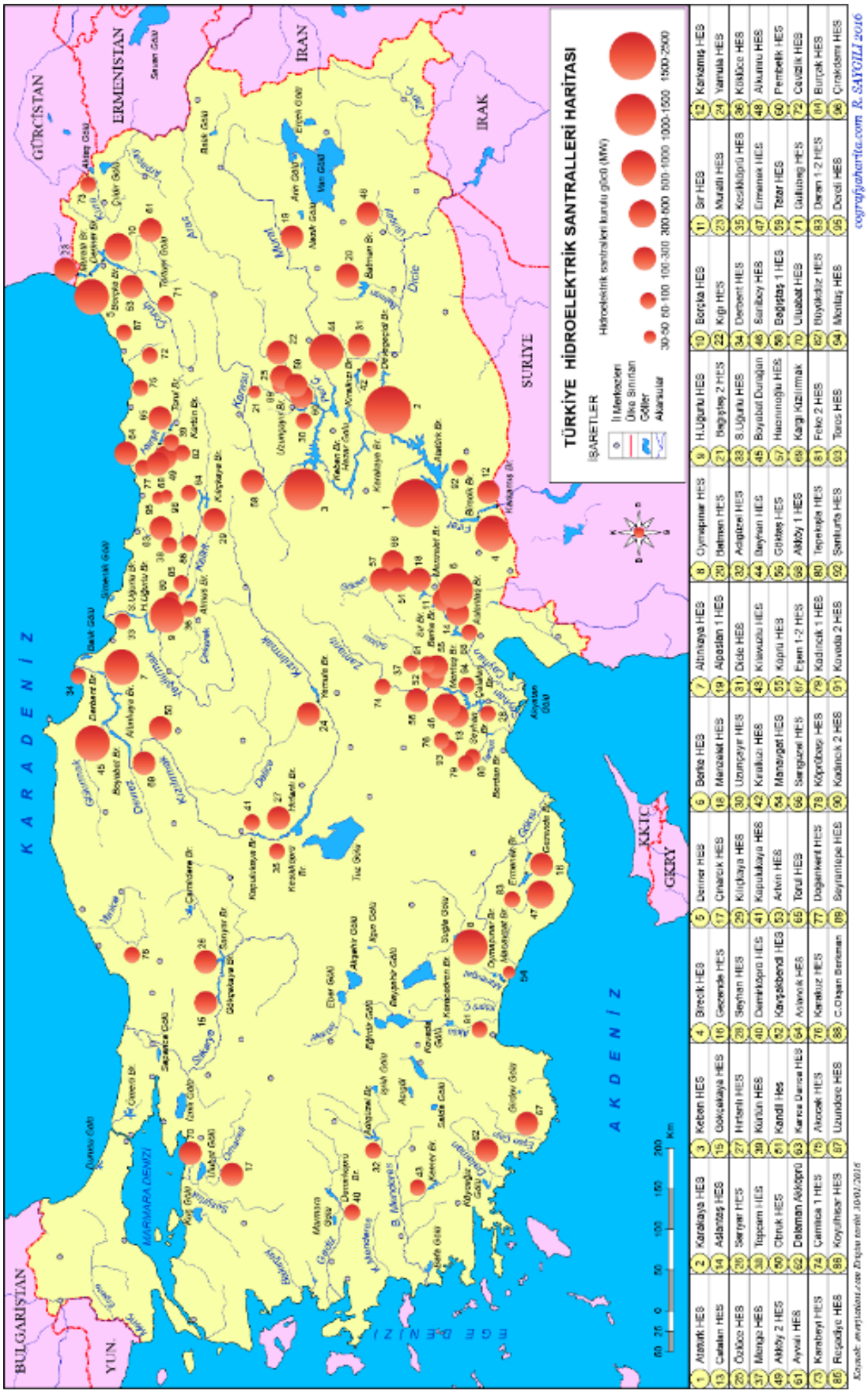
Uluslararası Enerji Ajansı'nca (IEA) 2020'de dünya enerji tüketimi içerisinde hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının payının bugüne göre %53 oranında artacağı öngörülmüş olup, bu her güçteki hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi olarak yorumlanmaktadır [35].

Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli içinde en önemli yeri tutan hidrolik kaynaklarımız incelendiğinde Türkiye'de teorik hidroelektrik potansiyelinin 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin 216 milyar kWh ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelinin ise 140 milyar kWh/yıl olduğu görülmektedir. 2002 yılında 12,241 MW olan hidrolik kurulu gücümüz %111 artışla 2015 yılı sonu itibarıyla 25,868 MW'a ulaşmıştır. 2002 yılında neredeyse yok sayılacak düzeyde (18,9 MW) olan rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2015 yılı sonu itibarıyla 4,503 MW'a ulaşmıştır.



Şekil 3.8. Hidroelektrik kurulu gücü

1902 yılında Mersi'nin Tarsus ilçesi ile küçük ölçekli hidrolektrik enerji ile başlayan Türkiye teknoloji bakımından her türlü hidroelektrik santrali kurabilecek alt yapıya sahiptir. Bakanlığımızın 2015-2019 gelecek planlamasına göre 32,000 MW'lık güce ulaşılması hedeflenmektedir [16]. Türkiye'deki geçmişten günümüze kurulan hidroelektrik santralleri haritası (Harita 3.6) [51].



Harita 3.6. Türkiye hidroelektrik santralleri haritası

4. SEZGİSEL BULANIK KÜME

Zadeh, klasik küme kavramını, gerçek dünyada karşılaşılan problemlerde, özellikle insanların yargı ve düşüncelerini içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından yola çıkarak, niteliklerin (küme elemanlarının) ikili üyelik fonksiyonuyla ifade edilen klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonlarıyla ifade edildiği bulanık kümeler tanımlamasını önermiştir [52]. Bulanık kümeler klasik küme kavramının genelleştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Klasik kümelerde [1,0] değerlerini alan üyelik fonksiyonu değerleri bulanık kümelerde [0,1] aralığında sonsuz değer alabilmektedir.

4.1. Tanım

X boş olmayan bir küme olsun. *X*' deki bir bulanık A kümesi

$$\forall x \in X \;\; için \;\; \mu_A(x) : X \to [0,1]$$

$\mu_A(x)$, x elemanının A kümesine ait olma derecesini göstermektedir. Her üyelik fonksiyonu bir klasik evrensel kümenin elemanlarını [0,1] aralığındaki bir sayıya karşılık getiren bir fonksiyondur.

Bulanık A kümesinde bir elemanın kümeye ait olma derecesi μ_A iken ait olmama derecesi ise doğal olarak $1-\mu_A$'dir. Böylece ait olma derecesi ve ait olmama derecelerinin toplamı 1'e eşittir. Fakat bu yaklaşım gerçek hayatta karşılaşılan uygulamalardaki belirsizliği ele almakta etkin bir yöntem değildir. Çünkü ait olma ve ait olmama derecelerinin toplamı birden küçük olabilmektedir. Bu nedenle Atanassov bulanık küme teorisinin genelleştirilmiş hali olan sezgisel bulanık küme teorisini önermiştir [8].

Sezgisel bulanık kümeler Atanassov tarafından önerildikten sonra Gau ve Buehrer belirsiz küme kavramını önermişlerdir [53]. Yapılan çalışmalar sonrasında aslında belirsiz kümenin sezgisel bulanık kümeye denk olduğu kanıtlanmıştır [54]. Belirsiz küme ve sezgisel bulanık küme arasında sadece gösterimsel farklılıklar vardır.

4.2. Tanım

X boş olmayan bir küme olsun. *X*' deki sezgisel bulanık A kümesi

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle x \in X\} \tag{4.1}$$

$$\mu_A(x): X \to [0,1] \qquad v_A(x): X \to [0,1]$$

Atanassov sezgisel bulanık küme teorisinde x elamanının A kümesine ait olma derecesini ($\mu_A(x)$) , ait olmama derecesini ($v_A(x)$) ve tereddüt indeksini ($\pi_A(x)$) tanımlamıştır. Sezgisel bulanık küme teorisinde ait olma derecesi ve ait olmama derecesinin toplamı 1'den küçüktür.

$$0 \le \mu_A(x) + v_A(x) \le 1 \tag{4.2}$$

Tereddüt indeksi herhangi bir x elemanının A kümesine ait olup olmamasının tereddütlük düzeyini belirtmektedir.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - v_A(x) \tag{4.3}$$

Eğer $\pi_A(x)$ değeri küçükse x elemanı hakkındaki bilgi göreceli olarak daha kesindir. Eğer $\pi_A(x)$ değeri büyükse x elemanı hakkındaki bilgi göreceli olarak daha belirsizdir. $\pi_A(x)$ değeri 0' a eşit olduğunda x elemanı hakkındaki bilgi kesindir. Bu durumda sezgisel bulanık küme bulanık küme olmaktadır.

4.3. Tanım

X boş olmayan bir küme olsun. $A,B \in IFS(X)$ kümeleri sırasıyla

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle \ x \in X\} \text{ ve } B = \{\langle x, \mu_B(x), v_B(x)\rangle \ x \in X\}$$

$$0 \le \mu_A(x) + v_A(x) \le 1$$

$0 \le \mu_B(x) + v_B(x) \le 1$

$\mu_A(x) : X \to [0,1]$ $v_A(x) : X \to [0,1]$, $\mu_B(x) : X \to [0,1]$ $v_B(x) : X \to [0,1]$ şeklinde olsun. Bu takdirde;

$$A \cup B = \{\langle x, \mu_A(x) \vee \mu_B(x), v_A(x) \wedge v_B(x)\rangle \, x \in X\}$$

$$= \{\langle x, \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \min(v_A(x), v_B(x))\rangle \; x \in X\} \tag{4.4}$$

$$A \cap B = \{\langle x, \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), v_A(x) \vee v_B(x)\rangle \; x \in X\}$$

$$= \{\langle x, \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(v_A(x), v_B(x))\rangle \; x \in X\} \tag{4.5}$$

$$(A + B) = \{\langle x, \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x).\mu_B(x), v_A(x).v_B(x)\rangle \; x \in X\} \tag{4.6}$$

$$(A.B) = \{\langle x, \mu_A(x).\mu_B(x), v_A(x) + v_B(x) - v_A(x).v_B(x)\rangle \, x \in X\} \tag{4.7}$$

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in X \text{ için } \mu_A(x) \le \mu_B(x), v_A(x) \ge v_B(x) \tag{4.8}$$

$$A = B \Leftrightarrow \forall x \in X \text{ için } \mu_A(x) = \mu_B(x), v_A(x) = v_B(x) \tag{4.9}$$

$$\bar{A} = \{\langle x, v_A(x), \mu_A(x)\rangle x \in X\} \tag{4.10}$$

4.4. Tanım

$0_- = \{\langle x, 0, 1\rangle x \in X\}$ ve $1_- = \{\langle x, 1, 0\rangle x \in X\}$ şeklinde tanımlanabilir.

4.5. Tanım

$A, B, C, D \in \mathrm{IFS}(X)$ olsun. Bu takdirde aşağıda verilen ifadeler sağlanır;

a. $A \subseteq B \text{ ve } C \subseteq D \Rightarrow A \cup C \subseteq B \cup D \text{ ve } A \cap C \subseteq B \cap D$

b. $A \subseteq B \text{ ve } A \subseteq C \Rightarrow A \subseteq B \cap C$

c. $A \subseteq C \text{ ve } B \subseteq C \Rightarrow A \cup B \subseteq C$

d. $A \subseteq B \, ve \, B \subseteq C \Rightarrow A \subseteq C$

e. $\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B}$

f. $\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B}$

g. $A \subseteq B \Rightarrow \bar{B} \subseteq \bar{A}$

h. $\overline{(\bar{A})} = A$

i. $\overline{(0_{-})} = 1_{-}$

j. $\overline{(1_{-})} = 0_{-}$

İspat

a. $A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_A(x) \leq \mu_B(x), v_A(x) \geq v_B(x)$

$C \subseteq D \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_C(x) \leq \mu_D(x), v_C(x) \geq v_D(x)$ dir.

$$A \cup C = \left\{ \left\langle x, \max\left(\mu_A(x), \mu_C(x)\right), \min\left(v_A(x), v_C(x)\right) \right\rangle \; x \in X \right\}$$

$$B \cup D = \left\{ \left\langle x, \max\left(\mu_B(x), \mu_D(x)\right), \min\left(v_B(x), v_D(x)\right) \right\rangle \; x \in X \right\}$$

$$A \cap C = \left\{ \left\langle x, \min\left(\mu_A(x), \mu_C(x)\right), \max\left(v_A(x), v_C(x)\right) \right\rangle \; x \in X \right\}$$

$$B \cap D = \left\{ \left\langle x, \min\left(\mu_B(x), \mu_D(x)\right), \max\left(v_B(x), v_D(x)\right) \right\rangle \; x \in X \right\}$$

$$\max\left(\mu_A(x), \mu_C(x)\right) \leq \max\left(\mu_B(x), \mu_D(x)\right), \min\left(v_A(x), v_C(x)\right) \geq \min\left(v_B(x), v_D(x)\right)$$

$$\min\left(\mu_A(x), \mu_C(x)\right) \leq \min\left(\mu_B(x), \mu_D(x)\right), \max\left(v_A(x), v_C(x)\right) \geq \max\left(v_B(x), v_D(x)\right)$$

ifadeleri açıkça sağlanır.

b. $A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_A(x) \leq \mu_B(x), v_A(x) \geq v_B(x)$

$A \subseteq C \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_A(x) \leq \mu_C(x), v_A(x) \geq v_C(x)$

$B \cap C = \{\langle x, \min(\mu_B(x), \mu_C(x)), \max(v_B(x), v_C(x))\rangle \ x \in X\}$

$\mu_A(x) \le \min(\mu_B(x), \mu_C(x)), v_A(x) \ge \max(v_B(x), v_C(x))$ ifadesi açıkça sağlanır.

c. $A \subseteq C \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_A(x) \le \mu_C(x), v_A(x) \ge v_C(x)$

$B \subseteq C \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_B(x) \le \mu_C(x), v_B(x) \ge v_C(x)$

$\max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \le \mu_C(x), \min(v_A(x), v_B(x)) \ge v_C(x)$ ifadesi açıkça sağlanır.

d. $A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_A(x) \le \mu_B(x), v_A(x) \ge v_B(x)$

$B \subseteq C \Leftrightarrow \forall x \in X$ *için* $\mu_B(x) \le \mu_C(x), v_B(x) \ge v_C(x)$

$\mu_A(x) \le \mu_C(x), v_A(x) \ge v_C(x)$ ifadesi açıkça sağlanmaktadır.

e. $\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B}$

$A \cup B = \{\langle x, \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \min(v_A(x), v_B(x))\rangle \ x \in X\}$

$\overline{(A \cup B)} = \{\langle x, \min(v_A(x), v_B(x), \max(\mu_A(x), \mu_B(x)))\rangle \ x \in X\}$

$A = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle \ x \in X\} \Rightarrow \bar{A} = \{\langle x, v_A(x), \mu_A(x)\rangle x \in X\}$

$B = \{\langle x, \mu_B(x), v_B(x)\rangle x \in X\} \Rightarrow \bar{B} = \{\langle x, v_B(x), \mu_B(x)\rangle x \in X\}$

$\bar{A} \cap \bar{B} = \{\langle x, \min(v_A(x), v_B(x), \max(\mu_A(x), \mu_B(x)))\rangle \ x \in X\}$ ifadesi açıkça sağlanır.

f. $(A \cap B) = \{\langle x, \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(v_A(x), v_B(x))\rangle \ x \in X\}$

$\overline{(A \cap B)} = \{\langle x, \max(v_A(x), v_B(x)), \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\rangle \ x \in X\}$

$A = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle \ x \in X\} \Rightarrow \bar{A} = \{\langle x, v_A(x), \mu_A(x)\rangle x \in X\}$

$B = \{\langle x, \mu_B(x), v_B(x)\rangle x \in X\} \Rightarrow \bar{B} = \{\langle x, v_B(x), \mu_B(x)\rangle x \in X\}$

$\bar{A} \cup \bar{B} = \{\langle x, \max(v_A(x), v_B(x)), \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\rangle \ x \in X\}$ ifadesi açıkça sağlanmaktadır.

g. $A \subseteq B \Leftrightarrow \forall x \in X \text{ için } \mu_A(x) \leq \mu_B(x), v_A(x) \geq v_B(x) \quad A = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle \ x \in X\}$

$\Rightarrow \bar{A} = \{\langle x, v_A(x), \mu_A(x)\rangle x \in X\}$

$B = \{\langle x, \mu_B(x), v_B(x)\rangle \ x \in X\} \Rightarrow \bar{B} = \{\langle x, v_B(x), \mu_B(x)\rangle x \in X\}$

$v_B(x) \leq v_A(x), \mu_B(x) \geq \mu_A(x)$ ifadesi açıkça sağlanmaktadır.

h. $A = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle \ x \in X\} \Rightarrow \bar{A} = \{\langle x, v_A(x), \mu_A(x)\rangle x \in X\}$

$\overline{(\bar{A})} = \{\langle x, \mu_A(x), v_A(x)\rangle \ x \in X\}$ ifadesi açıkça sağlanmaktadır.

i. $0_- = \{\langle x, 0, 1\rangle x \in X\}$ ve $1_- = \{\langle x, 1, 0\rangle x \in X\} \Rightarrow \overline{(0_-)} = 1_-$ dir.

j. $0_- = \{\langle x, 0, 1\rangle x \in X\}$ ve $1_- = \{\langle x, 1, 0\rangle x \in X\} \Rightarrow \overline{(1_-)} = 0_-$ dir.

4.1. Sezgisel Bulanık Operatörler

Sezgisel bulanık kümeler üzerinde çeşitli operatörler tanımlanarak sezgisel bulanık küme ile bulanık küme arasındaki ilişkiler gösterilmiştir. Bunlardan iki tanesi bir sezgisel bulanık kümeyi bulanık kümeye dönüştüren operatörlerdir. Eş.4.11 ve Eş.4.12'de verilen bu operatörler bazı mantıksal modellerde tanımlanan "gereklilik" ve "olabilirlilik" operatörlerine benzemektedir [8].

$$A = \{\langle x, \mu_A(x)\rangle | x \in X\} = \{\langle x, \mu_A(x), 1 - \mu_A(x)\rangle | x \in X\} \tag{4.11}$$

$$\Diamond A = \{\langle x, 1 - v_A(x)\rangle | x \in X\} = \{\langle x, 1 - v_A(x), v_A(x)\rangle | x \in X\} \tag{4.12}$$

Atanassov, sezgisel bulanık kümeyi bulanık kümeye dönüştüren operatörler tanımlamıştır [55]. Bu operatörler $\alpha \in [0,1]$ değeriyle sezgisel bulanık kümeyi bulanık kümeye dönüştürmektedir.

$\alpha \in [0,1]$ sabit sayı olmak üzere $D_\alpha(A)$ operatörü Eş. 4.13'de tanımlanmıştır;

$$D_\alpha(A) = \{\langle x, \mu_A(x) + \alpha.\pi_A(x), \nu_A(x) + (1-\alpha).\pi_A(x)\rangle | x \in X\} \quad (4.13)$$

$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x)$ olduğu için $D_\alpha(A)$ bir bulanık kümedir, çünkü Eş.4.14 sağlanmıştır.

$$\mu_A(x) + \alpha.\pi_A(x) + \nu_A(x) + (1-\alpha).\pi_A(x) = \mu_A(x) + \nu_A(x) + \pi_A(x) = 1 \quad (4.14)$$

Atanassov, sezgisel bulanık kümeyi bulanık kümeye dönüştüren farklı bir operatörler daha tanımlamıştır [55]. Bu operatörde $\alpha \in [0,1]$ ve $\beta \in [0,1]$ değerleriyle sezgisel bulanık kümeyi bulanık kümeye dönüştürmektedir.

$\alpha \in [0,1]$ ve $\beta \in [0,1]$ sabit sayılar olmak üzere $F_{\alpha,\beta}(A)$ operatörü Eş.4.15 tanımlanmıştır;

$$F_{\alpha,\beta}(A) = \{\langle x, \mu_A(x) + \alpha.\pi_A(x), \nu_A(x) + \beta.\pi_A(x)\rangle | x \in X\} \quad (4.15)$$

4.1.1. Sezgisel bulanık kümede kartezyen çarpım

Atanassov, sezgisel bulanık kümeler üzerinde kartezyen çarpımı tanımlamıştır [8].

E_1 ve E_2 iki evrensel küme, $A = \{\langle x_1, \mu_A(x_1), \nu_A(x_1)\rangle \ x_1 \in E_1\}$ ve $B = \{\langle x_2, \mu_B(x_2), \nu_B(x_2)\rangle \ x_2 \in E_2\}$ iki sezgisel bulanık kümelerdir. Bu iki kümenin sezgisel bulanık kümedeki kartezyen çarpımı;

$$A \times B = \{\langle x_1, x_2\rangle, \mu_A(x_1).\mu_B(x_2), \nu_A(x_1).\nu_B(x_1) \ | x_1 \in E_1, x_2 \in E_2\} \quad (4.16)$$

$A \times B$, $E_1 \times E_2$ evrensel uzayında bir sezgisel bulanık kümedir, çünkü $0 \le \mu_A(x_1).\mu_B(x_2) + \nu_A(x_1).\nu_B(x_2) \le \mu_A(x_1) + \nu_A(x_1) \le 1$ eşitliği sağlanmaktadır.

4.1.2. Sezgisel bulanık kümelerde birleştirme operatörleri

Birleştirme operatörü, bir sayı kümesini tek bir temsilciye veya anlamlı bir sayıya indirgeyen bir fonksiyondur. Birleştirme operatörü, bileşenleri belli kümeden alınan n boyutlu bir vektörü, bu kümeden bir elemana götürür. Böylelikle birçok kaynaktan alınan bilgi parçaları aynı anda kullanılmış olur [56].

Xu ve Yager, geometrik ortalama operatörünü sezgisel bulanık kümelere genişleterek sezgisel bulanık ağırlıklı geometrik ortalama, sezgisel bulanık sıralı ağırlıklı geometrik ortalama ve sezgisel bulanık hibrit ortalama operatörlerini tanımlamışlardır [57]. Xu, yaptığı çalışmada sezgisel bulanık kümelerde ağırlıklı ortalama, sıralı ağırlıklı ortamla ve hibrit ortalama operatörlerini tanımlamışlardır [58].

Bu operatörlerden sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama ve sezgisel bulanık geometrik ortalama operatörleri tanımlarda verilmiştir.

4.7. Tanım

$\tilde{a}_j = (\mu_j, v_j)\ (j = 1,2,\ldots,n)$ sezgisel bulanık sayılar olmak üzere, IFWA Eş.4.17'de tanımlanmıştır.

$\mathrm{IFWA}: \Omega^n \to \Omega$, eğer

$$\mathrm{IFWA}_w(\tilde{a}_1,\tilde{a}_2,\tilde{a}_3,\ldots,\tilde{a}_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j \tilde{a}_j$$
$$= \left[1 - \prod_{j=1}^{n}(1-\mu_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^{n}(v_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^{n}(1-\mu_j)^{w_j} - \prod_{j=1}^{n}(v_j)^{w_j}\right] \quad (4.17)$$

$w = (w_1, w_2, \ldots, w_n)^T$ ağırlık vektörü olup , $w_j \geq 0$, $j = 1,2,\ldots,n$, ve $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$.

Eğer verilen sayıların ağırlıklarının eşit olması durumunda $w = (1/n, 1/n, 1/n, \ldots, 1/n)^T$, IFWA IFA dönüşmektedir.

$$\mathrm{IFA}(\tilde{a}_1,\tilde{a}_2,\tilde{a}_3,\ldots,\tilde{a}_n) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} \tilde{a}_j$$

$$= \left[1 - \prod_{j=1}^{n} (1-\mu_j)^{1/n}, \prod_{j=1}^{n} (v_j)^{1/n}, 1 - \prod_{j=1}^{n} (1-\mu_j)^{1/n} - \prod_{j=1}^{n} (v_j)^{1/n} \right] \quad (4.18)$$

4.8. Tanım

$\tilde{a}_j = (\mu_j, v_j)$ $(j = 1,2,\ldots,n)$ sezgisel bulanık sayılar olmak üzere, IFWG Eş. 4.19 tanımlanmıştır.

$\text{IFWG}: \Omega^n \to \Omega$, eğer

$$\text{IFWG}_\omega(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n) = \alpha_1^{\omega_1} \otimes \alpha_2^{\omega_2} \otimes \ldots \otimes \alpha_n^{\omega_n}$$

$$= \left[\prod_{j=1}^{n} \mu_j^{\omega_j}, \prod_{j=1}^{n} v_j^{\omega_j}, 1 - \prod_{j=1}^{n} \mu_j^{\omega_j} - \prod_{j=1}^{n} v_j^{\omega_j} \right] \quad (4.19)$$

$w = (w_1, w_2, \ldots, w_n)^T$ ağırlık vektörü olup , $w_j \geq 0$, $j = 1,2,\ldots,n$, ve $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$

Eğer verilen sayıların ağırlıklarının eşit olması durumunda $w = (1/n, 1/n, 1/n, \ldots, 1/n)^T$, IFGA IFG dönüşmektedir:

$$\text{IFG}_\omega(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n) = (\alpha_1 \otimes \alpha_2 \otimes \ldots \otimes \alpha_n)^{1/n}$$

$$= \left[\left(\prod_{j=1}^{n} \mu_j \right)^{1/n}, \left(\prod_{j=1}^{n} v_j \right)^{1/n}, 1 - \left(\prod_{j=1}^{n} \mu_j \right)^{1/n} - \left(\prod_{j=1}^{n} v_j \right)^{1/n} \right] \quad .. \quad (4.20)$$

5. SEZGİSEL BULANIK TOPSIS METODU

Bu çalışmada TOPSIS metodu sezgisel bulanık ortama genişletilmiştir. $A=\{A_1,A_2,...,A_m\}$ alternatiflerin kümesi ve $C=\{C_1,C_2,...,C_n\}$ kriterler kümesidir. Karar verme grubu özdeş olmayıp *l* tane farklı karar vericiden oluşmaktadır. Özdeş olmayan karar verme gruplarında karar vericilerin göreceli önem dereceleri birbirinden farklıdır. Bazı karar vericiler farklı tecrübe ve bilgi birikimleri nedeniyle önem dereceleri diğer karar vericilerden ya daha az yada daha fazla olabilmektedir. $\lambda=\{\lambda_1,\lambda_2,...,\lambda_l\}$ karar vericilerin ağırlık vektörü olup $\lambda_k\geq 0,\ k=1,2,...,l$, ve $\sum_{k=1}^{l}\lambda_k=1$ dir.

$R^{(k)}=(r_{ij}^{(k)})_{mxn}$ *k.* karar vericinin karar matrisi olup $r_{ij}^{(k)}=(\mu_{ij}^{(k)},v_{ij}^{(k)},\pi_{ij}^{(k)})$ k. karar verici tarafından verilen i.alternatifin j. kriterden aldığı sezgisel bulanık değerdir. $\mu_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre i.alternatifin j. kriteri sağlama derecesi, $v_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre i.alternatifin j. kriteri sağlamama derecesi ve $\pi_{ij}^{(k)}$ k. karar vericiye göre belirsizlik düzeyini göstermektedir.

Verilen tanımlara bağlı olarak, Boran ve ark. tarafından önerilen sezgisel bulanık TOPSIS metodu, aşağıda verilen adımlardan oluşmaktadır [59].

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

$D_k=(\mu_k,\nu_k,\pi_k)$ k. karar vericinin önem derecesini gösteren bir sezgisel bulanık sayı olsun. k. karar vericinin ağırlığı Eş.5.1'de hesaplanmıştır.

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k\left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)}{\sum_{k=1}^{l}\left(\mu_k + \pi_k\left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)} \tag{5.1}$$

$\lambda_k \geq 0,\ k = 1,2,...,l$ ve $\sum_{k=1}^{l} \lambda_k = 1$

Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Xu tarafından önerilen IFWA kullanılmıştır [58].

$$\begin{aligned} r_{ij} &= IFWA_\lambda(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, ..., r_{ij}^{(l)}) = r_{ij}^{(1)}\lambda_1 \oplus r_{ij}^{(2)}\lambda_2 \oplus ... \oplus r_{ij}^{(l)}\lambda_l \\ &= \left[1 - \prod_{k=1}^{l}\left(1 - \mu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^{l}\left(\nu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^{l}\left(1 - \mu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^{l}\left(\nu_{ij}^{(k)}\right)^{\lambda_k}\right] \end{aligned} \tag{5.2}$$

$r_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij}, \pi_{ij})$ $(i = 1,2...,m; j = 1,2,...,n)$, R birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

$$R = \begin{bmatrix} (\mu_{11},\nu_{11},\pi_{11}) & (\mu_{12},\nu_{12},\pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n},\nu_{1n},\pi_{1n}) \\ (\mu_{21},\nu_{21},\pi_{21}) & (\mu_{22},\nu_{22},\pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n},\nu_{2n},\pi_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{m1},\nu_{m1},\pi_{m1}) & (\mu_{m2},\nu_{m2},\pi_{m2}) & \dots & (\mu_{mn},\nu_{mn},\pi_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir.

$w_j^{(k)} = \left(\mu_j^{(k)}, \nu_j^{(k)}, \pi_j^{(k)}\right)$ k. karar vericinin j. kriter için verdiği sezgisel bulanık sayı olup, kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak Eş.5.3'de hesaplanmıştır.

$$w_j = IFWA_\lambda(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, ..., w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \lambda_3 w_j^{(3)} \oplus ... \oplus \lambda_l w_j^{(l)}$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^{l} \left(1 - \mu_j^{(k)}\right)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^{l} \left(\nu_j^{(k)}\right)^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^{l} \left(1 - \mu_j^{(k)}\right)^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^{l} \left(\nu_j^{(k)}\right)^{\lambda_k} \right] \quad (5.3)$$

$W = \{w_1, w_2, w_3, ..., w_j\}$ kriterlerin ağırlıkları olup $w_j = (\mu_j, \nu_j, \pi_j)$ $(j = 1,2,...,n)$ dir.

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi elde edilir.

$$R' = R \otimes W = \left(\mu'_{ij}, \nu'_{ij}\right) = \left\{ \langle x, \mu_{ij}.\mu_j, \nu_{ij} + \nu_j - \nu_{ij}.\nu_j \rangle \mid x \in X \right\} \quad (5.4)$$

$$\pi'_{ij} = 1 - \nu_{ij} - \nu_j - \mu_{ij}.\mu_j + \nu_{ij}.\nu_j \quad (5.5)$$

Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi;

$$R' = \begin{bmatrix} (\mu'_{11}, \nu'_{11}, \pi'_{11}) & (\mu'_{12}, \nu'_{12}, \pi'_{12}) & \dots & (\mu'_{1n}, \nu'_{1n}, \pi'_{1n}) \\ (\mu'_{21}, \nu'_{21}, \pi'_{21}) & (\mu'_{22}, \nu'_{22}, \pi'_{22}) & \dots & (\mu'_{2n}, \nu'_{2n}, \pi'_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu'_{m1}, \nu'_{m1}, \pi'_{m1}) & (\mu'_{m2}, \nu'_{m2}, \pi'_{m2}) & \dots & (\mu'_{mn}, \nu'_{mn}, \pi'_{mn}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & \dots & r'_{1n} \\ r'_{21} & r'_{22} & \dots & r'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r'_{m1} & r'_{m2} & \dots & r'_{mn} \end{bmatrix}$$

olup $r'_{ij} = (\mu'_{ij}, \nu'_{ij}, \pi'_{ij})$ $(i = 1,2...,m; j = 1,2,...,n)$ ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin elemanıdır.

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi

J_1 fayda kriterlerinin seti, J_2 maliyet kriterlerinin seti olmak üzere, A^* pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve A^- negatif sezgisel bulanık ideal çözüm olup, A^* ve A^- aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A^{*}=\left(r_1'^{*},r_2'^{*},\ldots,r_n'^{*}\right),\ \ r_j'^{*}=\left(\mu_j'^{*},v_j'^{*},\pi_j'^{*}\right),\quad j=1,2,\ldots,n \tag{5.6}$$

$$A^{-}=\left(r_1'^{-},r_2'^{-},\ldots,r_n'^{-}\right),\ \ r_j'^{-}=\left(\mu_j'^{-},v_j'^{-},\pi_j'^{-}\right),\ \ j=1,2,\ldots,n \tag{5.7}$$

$$\mu_j'^{*}=\left\{\left(\max_i\left\{\mu_{ij}'\right\}\middle|j\in J_1\right),\left(\min_i\left\{\mu_{ij}'\right\}\middle|j\in J_2\right)\right\} \tag{5.8}$$

$$v_j'^{*}=\left\{\left(\min_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_1\right),\left(\max_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_2\right)\right\} \tag{5.9}$$

$$\pi_j'^{*}=\left\{\left(1-\max_i\left\{\mu_{ij}'\right\}-\min_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_1\right),\left(1-\min_i\left\{\mu_{ij}'\right\}-\max_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_2\right)\right\} \tag{5.10}$$

$$\mu_j'^{-}=\left\{\left(\min_i\left\{\mu_{ij}'\right\}\middle|j\in J_1\right),\left(\max_i\left\{\mu_{ij}'\right\}\middle|j\in J_2\right)\right\} \tag{5.11}$$

$$v_j'^{-}=\left\{\left(\max_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_1\right),\left(\min_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_2\right)\right\} \tag{5.12}$$

$$\pi_j'^{-}=\left\{\left(1-\min_i\left\{\mu_{ij}'\right\}-\max_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_1\right),\left(1-\max_i\left\{\mu_{ij}'\right\}-\min_i\left\{v_{ij}'\right\}\middle|j\in J_2\right)\right\} \tag{5.13}$$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayrım ölçümlerinin hesaplanması

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayrımın ölçülmesi için, Hamming uzaklık ölçümü, Euclidean uzaklık ölçümü ve bu uzaklık ölçümlerinin normalize edilmiş uzaklık ölçümleri kullanılabilir. Bu çalışmada, Hamming uzaklık ölçümü kullanılmıştır. Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayrım ölçümleri (S_i^{*} ve S_i^{-}) Eş.5.14 ve Eş.5.15'de hesaplanmıştır.

$$S_i^{*}=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\left[\left|\mu_{ij}'-\mu_j'^{*}\right|+\left|v_{ij}'-v_j'^{*}\right|+\left|\pi_{ij}'-\pi_j'^{*}\right|\right],\ \ i=1,2,\ldots,m \tag{5.14}$$

$$S_i^{-}=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\left[\left|\mu_{ij}'-\mu_j'^{-}\right|+\left|v_{ij}'-v_j'^{-}\right|+\left|\pi_{ij}'-\pi_j'^{-}\right|\right],\ i=1,2,\ldots,m \tag{5.15}$$

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre A_i için yakınlık katsayısı Eş.5.16'deki gibi hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, \quad 0 \le C_i^* \le 1, \quad i = 1,2,...,m \tag{5.16}$$

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması

Alternatifler, yakınlık katsayılarının büyüklüklerine göre sıralanırlar.

6. SEZGİSEL BULANIK TOPSİS YÖNTEMİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Alternatif enerji kaynaklarına güneş (A_1), rüzgar (A_2),jeotermal (A_3),dalga (A_4), biokütle (A_5),hidrojen (A_6) ve hidroelektrik (A_7) olmak üzere yedi enerji kaynağına aşağıdaki kriterler uygulanarak Türkiye'deki enerji kaynaklarına olası yatırımda en uygun enerji kaynağı değerlendirilecektir.

6.1. Kriterlerin Belirlenmesi

Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını sezgisel bulanık TOPSIS metodunu kullanarak değerlendirebilmek için değerlendirme kriterleri tespit edilmiştir. Bu kriterlerin seçiminde öncelik sırasında güncel bilgiler ve akademisyenlerin uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Verim(C_1),ekserji verimi(C_2),yatırım maliyeti(C_3), işletme bakım maliyeti (C_4), arazi kullanımı(C_5) gürültü(C_6) ve iş imkanı(C_7) olmak üzere 7 adet değerlendirme kriteri belirlenmiştir.

6.1.1. Verim

Elde edilen ürünü, hizmeti veya enerjiyi ve bunları elde etmek için harcanan iş arasındaki oran verimi tanımlamaktadır. Verimli enerji kullanımı ile enerji talebindeki artış yavaşlar. Verim enerji sistemlerinin değerlendirilmesinde en önemli teknik kriterlerden biridir [60].Buna ek olarak enerji güvenliği stratejisinde ve planlamasında enerjide verimliliğin vurgulanması, yatırım akışının sağlanması, doğru bilgilendirme ve veri sağlama ve Ar-Ge, teknolojik ilerleme ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi önde gelmelidir.

6.1.2. Ekserji verimi

Dinçer'e göre, bir enerji şeklinin ya da maddenin ekserjisi, onun çevresi üzerinde değişim yapabilme potansiyeli, kalitesi ya da kullanışlılığının bir ölçüsüdür. Ekserji verimi ise; Bir tesisin, mekanizmanın veya sistemin oluşturduğu ve faydalı iş için gereken toplam

ekserjilerin, yine aynı sistemdeki kütle akışı veya enerji kaynaklarının potansiyel ekserjilerinin toplamına oranını ifade eder.

6.1.3. Yatırım maliyeti

Yatırım maliyetlerinin bileşenleri; mekanik ekipman alımı, teknolojik kurulumlar, yolların inşaatı, ulusal web bağlantıları, mühendislik hizmetleri, sondaj ve isteğe bağlı inşaat işleridir. Yatırımcılar, yatırım maliyetlerini ve faydalarını göz önüne almalıdır. Yatırım maliyeti enerji sistemlerini değerlendirmek için en önemli ekonomik kriterdir.

6.1.4. İşletme bakım maliyeti

İşletme bakım maliyetleri santral kurulumu sonrası santralden enerji üretmek için yapılması gereken harcamalardır. İşletme maliyetleri, sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit işletme maliyeti çalışanların maaşları ve primler, santral genel ve idari harcamaları, santral destek ekipmanları, planlanmış bakımlar gibi maliyetlerdir. Değişken işletme maliyetleri ise santralde kullanılan yakıtlar, enerji, su, kimyasallar, katalizörler, gazlar, yağlayıcılar, tükenebilir malzeme ve kaynaklar ile atıkların neden olduğu maliyetlerdir.

6.1.5. Arazi kullanımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde arazi kullanımının doğrudan etkisi vardır. Arazi genel kullanış biçimleri, başlıca bölge tipleri, bölgelerin gelecekte iki nüfus yoğunlukları, çeşitli yerleşme alanlarının gelişme yön ve büyüklükleri ile ilkelerini, ulaşım sistemleri göz önüne alınmalıdır.

6.1.6. Gürültü

İstenmeyen rahatsız edici ses olarak tanımlanan gürültü çevre üzerinde fiziksel,insan üzerinde ise fizyolojik ve psikolojik etki oluşturur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının bazılarının gürültü etkisini incelersek;

- Güneş enerjisi sistemlerinde mekanik bir parça olmadığı için gürültü seviyesinin sadece inşaa halinde oluşmaktadır.

- Rüzgar enerjisi sistemlerinde ise tasarıma bağlı olarak gürültü oluşmaktadır.
- Jeotermal enerji sistemlerinde sondaj işlemleri sırasında yüksek seviyede gürültü olduğunu görürüz.

6.1.7. İş imkanı

Yerel yönetimler ve karar verme sürecinde enerji sistemlerinde istihdam vazgeçilmez olarak kabul edilir ve katkılarını değerlendirmek için kriter olarak seçilir [61].

Ülkemizde çevre dostu politikaların geliştirilmesi temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılması, istihdamın arttırılması ve işgücü kalitesinin iyileştirilmesi için önemli bir fırsattır.

Selen Arlı Yılmaz da planlama uzmanlığı tezindeki çalışmasında ülkemizde yenilenebilir enerji uygulamalarının yarattığı yenilenebilir enerji kaynaklı istihdam için 2013-2030 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklı işler için gelecek yıllardaki potansiyeli imalat, inşaat ve işletme bakımının toplam 1,6 milyon ile 2,5 milyon iş-yıl istihdam yaratılacağı tahmininde bulunmuştur.

6.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS Metodu

Kriterlerin belirlenmesinden sonra yedi tane alternatif belirlenmiştir.Bu alternatifler kaynaklarına güneş (A_1), rüzgar (A_2),jeotermal (A_3),dalga (A_4),biokütle (A_5) ,hidrojen (A_6) ve (A_7)hidroliktir. Bu yedi kriter dört karar verici tarafından sezgisel bulanık TOPSIS sayılarla değerlendirilir ve alternatiflerin sıralanması ile en uygun alternatif enerji kaynağı bulunacaktır.

Alternatif enerji kaynakların seçimi için önerilen Sezgisel Bulanık TOPSIS metodu aşağıda verilen adımları kapsamaktadır;

Adım 1. Karar vericilerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar vericilerin önem dereceleri dilsel değişkenler olarak düşünülmüştür. Karar vericilerin ağırlıklarını belirlemek için dilsel terimler sezgisel bulanık sayılarla ifade edilmiştir. Bu sayılar Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Karar vericilerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	SBS
Oldukça Önemli	(0,80 ; 0,10)
Önemli	(0,50 ; 0,20)
Orta	(0,50 ; 0,50)
Önemsiz	(0,30 ; 0,50)
Oldukça Önemsiz	(0,20 ; 0,70)

Karar vericilerin önem düzeyleri ve ağırlıkları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Karar vericilerin değerlendirilmesi

	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4
Dilsel Terimler	Oldukça önemli	Önemli	Orta	Orta
Ağırlık	0,345	0,267	0,194	0,194

$$\lambda_{KV_1} = \frac{\left(0,80 + 0,10\frac{0,80}{0,90}\right)}{\left(0,80 + 0,10\frac{0,80}{0,90}\right) + \left(0,50 + 0,30\frac{0,50}{0,80}\right) + 0,5 + 0,5} = 0,345 \tag{6.1}$$

$$\lambda_{KV_2} = \frac{\left(0,50 + 0,30\frac{0,50}{0,80}\right)}{\left(0,80 + 0,10\frac{0,80}{0,90}\right) + \left(0,50 + 0,30\frac{0,50}{0,80}\right) + 0,5 + 0,5} = 0,267 \tag{6.2}$$

$$\lambda_{KV_3} = \frac{0,5}{\left(0,80 + 0,10\frac{0,80}{0,90}\right) + \left(0,50 + 0,30\frac{0,50}{0,80}\right) + 0,5 + 0,5} = 0,194 \tag{6.3}$$

$$\lambda_{KV_4} = \frac{0,5}{\left(0,80 + 0,10\frac{0,80}{0,90}\right) + \left(0,50 + 0,30\frac{0,50}{0,80}\right) + 0,5 + 0,5} = 0,194 \quad (6.4)$$

Adım 2. Karar vericilerin alternatiflere yönelik yapmış oldukları değerlendirmelerin birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi

Çizelge 6.3. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	SBS
Çok Yüksek (ÇY)	[0,90 ; 0,05; 0,05]
Yüksek(Y)	[0,80 ; 0,10 ;0,10]
Biraz Yüksek (BY)	[0,70 ; 0,20 ; 0,10]
Epey (E)	[0,50 ; 0,50 ; 0,00]
Biraz Düşük (BD)	[0,40 ; 0,50 ; 0,10]
Düşük (D)	[0,30 ; 0,60 ; 0,10]
Çok Düşük(ÇD)	[0,10 ; 0,85 ; 0,05]

Dört karar verici tarafından alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesi için dilsel terimler Çizelge 6.3'de tanımlanmıştır. Alternatiflerin dört karar verici tarafından kriterler bazında aldıkları skorlar Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Adayların kriterlere göre karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

ALTERNATİFLER	KRİTERLER	KV-1	KV-2	KV-3	KV-4
A_1	C_1	BD	BD	E	E
	C_2	D	ÇD	D	D
	C_3	E	BY	E	E
	C_4	D	D	E	ÇD
	C_5	BD	D	E	D
	C_6	ÇY	Y	ÇY	Y
	C_7	Y	Y	BY	Y
A_2	C_1	D	ÇD	D	D
	C_2	D	BD	D	D
	C_3	Y	Y	Y	ÇY
	C_4	ÇD	D	ÇY	ÇD
	C_5	Y	BY	Y	Y
	C_6	E	BY	E	E
	C_7	BD	E	D	E
A_3	C_1	ÇY	Y	ÇY	ÇY
	C_2	Y	BY	Y	Y
	C_3	BD	BD	D	BY
	C_4	BY	Y	E	BY
	C_5	BD	E	E	BY
	C_6	ÇY	ÇY	ÇY	ÇY
	C_7	E	E	Y	E
A_4	C_1	D	ÇD	ÇY	ÇY
	C_2	D	D	E	BD
	C_3	BD	D	E	E
	C_4	BD	D	D	E
	C_5	BD	E	D	D
	C_6	E	E	Y	BY
	C_7	D	BD	D	D
A_5	C_1	D	BY	Y	Y
	C_2	D	BY	Y	BY
	C_3	BD	D	E	D
	C_4	BD	D	ÇY	D
	C_5	BD	E	E	D
	C_6	E	D	D	D
	C_7	D	D	E	E
A_6	C_1	ÇD	ÇD	D	ÇD
	C_2	Y	BY	ÇY	BY
	C_3	BD	E	BY	BD
	C_4	D	D	ÇD	D
	C_5	D	D	D	D
	C_6	BD	E	D	E
	C_7	BY	Y	BY	Y
A_7	C_1	ÇD	ÇD	D	ÇD
	C_2	D	D	ÇD	ÇD
	C_3	BD	E	ÇD	D
	C_4	D	D	E	D
	C_5	BD	E	BY	BY
	C_6	BD	BY	BY	E
	C_7	E	BY	BY	E

Grup karar verme sürecinde, birleştirilmiş karar matrisinin elde edilmesi için tüm karar vericilerin düşüncelerinin bir bilgi kaybı olmadan grup düşüncesi olarak birleştirilmesi

gerekmektedir. IFWA kullanılarak dört karar verici tarafından verilen skorlar birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 6.5'de elde edilmiştir.

Çizelge 6.5. Birleştirilmiş karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[0.468 ;0.500]	[0.300;0.600]	[0.900;0.500]	[0.300;0.600]	[0.800;0.100]	[0.198;0.724]	[0.198; 0. 724]
A_2	[0.336; 0.563]	[0.300;0.600]	[0.800;0.100]	[0.418;0.532]	[0.751;0.145]	[0.843;0.083]	[0.175; 0. 754]
A_3	[0.500;0.500]	[0.825;0.087]	[0.437;0.455]	[0.468;0.500]	[0.432;0.518]	[0.564;0.328]	[0.255; 0. 622]
A_4	[0.371;0.590]	[0.673;0.230]	[0.620;0.305]	[0.378;0.544]	[0.715;0.191]	[0.214;0.705]	[0.401;0. 552]
A_5	[0.432; 0.518]	[0.800;0.100]	[0.518;0.419]	[0.336;0.563]	[0.432;0.518]	[0.300;0.600]	[0. 619 ;0.724]
A_6	[0.886; 0.057]	[0.500;0.500]	[0.900;0.050]	[0.703;0.199]	[0.300;0.600]	[0.378;0.544]	[0.579; 0.328]
A_7	[0. 759;0.138]	[0,378;0.544]	[0.672;0.238]	[0.300;0.600]	[0.468;0.500]	[0.723;0.175]	[0. 605; 0.328]

Adım 3. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

Karar probleminde her bir kriterin ağırlığı birbirine eşit değildir. Kriterlerin önem dereceleri her bir karar verici için farklı düzeylerde olmaktadır. Bu nedenle her bir karar verici tarafından kriterlere verilen sezgisel bulanık değerlerin birleştirilmesi gerekmektedir. Dört karar verici tarafından kriterlerin önem derecelerinin değerlendirilmesi için dilsel terimler Çizelge 6.6'da tanımlanmıştır. Kriterlerin dört karar verici tarafından verilen skorlar Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.6. Kriterlerin önem derecelerini belirlemede kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	SBS
Çok İyi(Çİ)	(0,90 ;0,05)
İyi(İ)	(0,80 ; 0,10)
Biraz İyi(Bİ)	(0,70 ; 0,20)
Epeyce(E)	(0,50 ; 0,50)
Biraz Kötü(BK)	(0,40 ; 0,50)
Kötü(K)	(0,30 ; 0,50)
Çok Kötü(ÇK)	(0,20 ; 0,70)

Kriterlerin ağırlıkları IFWA kullanılarak hesaplanmıştır. Kriterler ağırlıkları;

$$w = \begin{Bmatrix} [0,843,0,0830],[0,760,0,152],[0,715,0,174],[0,649,0,240] \\ [0,649,0,240],[0,518,0,419],[0,289,0,562] \end{Bmatrix} \quad (6.8)$$

Çizelge 6.7. Kriterlerin karar vericiler tarafından değerlendirilmesi

	KV_1	KV_2	KV_3	KV_4
C_1	İyi	Çok İyi	Epeyce	Biraz İyi
C_2	Epeyce	İyi	Biraz İyi	Çok İyi
C_3	Biraz İyi	İyi	Epeyce	Biraz Kötü
C_4	Biraz İyi	Epeyce	Kötü	İyi
C_5	Epeyce	Biraz İyi	İyi	İyi
C_6	Biraz Kötü	Epeyce	Çok Kötü	Biraz İyi
C_7	Çok Kötü	Kötü	Epeyce	Biraz Kötü

Adım 4. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması

Kriterlerin ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi oluşturulduktan sonra sezgisel bulanık kümelerde tanımlanan çarpım operatörü kullanılarak ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi Çizelge 6.8'de elde edilmiştir.

Çizelge 6.8. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	[0.394; 0.542]	[0.228;0.661]	[0.644; 0.215]	[0.195;0.707]	[0.535;0.316]	[0.103; 0.839]	[0.0570;0.879]
A_2	[0.283; 0.600]	[0.228;0.661]	[0.572;0.256]	[0.271;0.657]	[0.503;0.350]	[0.436;0.467]	[0.0500;0.892]
A_3	[0.421; 0.542]	[0.627;0.226]	[0.313; 0.550]	[0.303; 0.633]	[0.289;0.634]	[0.292;0.609]	[0.0740;0.852]
A_4	[0.312; 0.624]	[0.512;0.347]	[0.444; 0.426]	[0.245;0.666]	[0.478;0.385]	[0.111;0.828]	[0.116;0.803]
A_5	[0.364,;0.558]	[0.608;0.237]	[0.370; 0.519]	[0.218; 0.680]	[0.289;0.634]	[0.155;0.767]	[0.179;0.682]
A_6	[0.746; 0.136]	[0.380;0.576]	[0.644; 0.215]	[0.456; 0.413]	[0.201;0.696]	[0.196; 0.735]	[0.167; 0.705]
A_7	[0.640; 0.209]	[0.287;0.613]	[0.481; 0.370]	[0.195;0.707]	[0.313;0.620]	[0.374; 0.520]	[0.175; 0.705]

Adım 5. Pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümün belirlenmesi

Problemde ele alınan tüm kriterler fayda kriteridir. A^* pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve A^- negatif sezgisel bulanık ideal çözüm Eş.6.9-6.16'da elde edilmiştir.

$$A^* = \left(r_1'^*, r_2'^*, \ldots, r_7'^*\right), \; r_j'^* = \left(\mu_j'^*, v_j'^*, \pi_j'^*\right), \quad j = 1,2,\ldots,7 \tag{6.9}$$

$$A^- = \left(r_1'^-, r_2'^-, \ldots, r_7'^-\right), \; r_j'^- = \left(\mu_j'^-, v_j'^-, \pi_j'^-\right), \; j = 1,2,\ldots,7 \tag{6.10}$$

$$\mu_1'^* = \{\max(0,511;0,461;0,385;0,404;0,333;0,338)\} = 0,511 \tag{6.11}$$

$$v_1'^* = \{\min(0,292;0,347;0,498;0,446;0,594;0,594)\} = 0,292 \tag{6.12}$$

$$\pi_1'^* = 1 - 0,511 - 0,292 = 0,197 \tag{6.13}$$

$r_1'^* = (0.746;0.136)$ $r_2'^* = (0.627;0.226)$

$r_3'^* = (0,313;0.550)$ $r_4'^* = (0.195;0.707)$

$r_5'^* = (0.201;0.696)$ $r_6'^* = (0.103;0.839)$

$r_7'^* = (0.179;0.682)$

$$\mu_1'^* = \{\min(0,511;0,461;0,385;0,404;0,333;0,338)\} = 0,333 \tag{6.14}$$

$$v_1'^* = \{\max(0,292;0,347;0,498;0,446;0,594;0,594)\} = 0,594 \tag{6.15}$$

$$\pi_1'^* = 1 - 0,333 - 0,594 = 0,073 \tag{6.16}$$

$r_1'^- = (0.283;0.624)$ $r_2'^- = (0.228;0.661)$

$r_3'^- = (0.644;0.215)$ $r_4'^- = (0.456;0.413)$

$r_5'^- = (0.535;0.316)$ $r_6'^- = (0.436;0.467)$

$r_7'^- = (0.0500;0.892)$

Adım 6. Pozitif ve negatif ayrım ölçümlerinin hesaplanması

Alternatifler ve pozitif sezgisel bulanık ideal çözümün ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm arasındaki ayrım ölçümleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Adım 7. Her bir alternatif için yakınlık katsayısının hesaplanması

Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme göre alternatiflerin yakınlık katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Adayların ayrım ölçüleri ve yakınlık katsayıları

Alternatifler	S_i^*	S_i^-	C_i^*
A_1 (güneş)	0,2504	0,1129	0,3107
A_2 (rüzgar)	0,3139	0,0535	0,1457
A_3 (jeotermal)	0,1433	0,2329	0,6191
A_4 (dalga)	0,1765	0,1893	0,5174
A_5 (biokütle)	0,0981	0,2720	0,7350
A_6 (hidrojen)	0,1581	0,2108	0,5714
A_7 (hidrolik)	0,1611	0,2120	0,5682

Adım 8. Alternatiflerin sıralanması

Enerji kaynaklarının skorları anlamına da gelen yakınlık katsayıları Eş.5.16 kullanılarak hesaplanmıştır. En yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif en yüksek değeri alarak Türkiye için en verimli enerji kaynağı olup, en düşük yakınlık katsayısına sahip olan alternatif ise en düşük değeri alarak Türkiye için en verimsiz enerji kaynağı olduğu anlamına gelir. Alternatifler

$$A_5(biokütle) \succ A_3(jeotermal) \succ A_6(hidrojen) \succ A_7(hidroelektrik) \succ A_4(dalga) \succ A_1(güneş) \succ A_2(rüzgar),$$

yakınlık katsayılarının büyüklüğüne şeklinde sıralanmıştır.Biokütle enerjisi olan A_5 alternatifi, en uygun yenilenebilir enerji kaynağı olarak alternatifler arasından seçilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sezgisel bulanık yöntemi kullanılarak Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilmesi sonucu ve önerileri bu bölümde verilmiştir.

7.1. Sonuçlar

Nüfus ve endüstrileşmedeki hızlı artış enerji için dışa bağımlı olan ülkemizde bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorun enerji ve enerjiyi elde etmek için kullanılan kaynakları disiplinlerarası bir niteliğe taşımaktadır. Bu nitelik; enerji yöneticileri ve uzmanları için enerji teknolojilerindeki güncel gelişmeler,iken, siyaset bilimleri ve iktisat alanları için ulusal ve uluslararası enerji politikaları, maliyet analizlerini veya temel bilimciler ve çevreciler için çevreye zarar verebilecek zararlı gazları, küresel ısınmayı, enerjinin sürdürülebilirliği gibi konuları ön planda tutmaktadır. Mühendislik alanı ise; enerjinin teknik, ekonomik, çevre ve sosyal yapıya etkisini inceler. Yani enerji kaynağı seçimi geniş kapsamlı ele alınacak bir karardır ve etkin karar verme yaklaşımını belirlemek önem arzetmektedir.

Türkiye'de bu çalışmalardan bazıları; yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, enerji verimliliğinin arttırılması, enerji tüketiminin iklim değişikliği üzerindeki etkisinin azaltılması üzerinedir. Öte yandan çevre bilincini arttırmaya yönelik ; çevre ve enerji hukuku uzmanlığı, karbon satış uzmanlığı, ekolojik tasarım uzmanlığı ve enerjinin yeterli, kaliteli, sürdürülebilir, çevreye uyumlu bir şekilde üretilmesi ve tüketilmesini sağlayan Enerji Sistemleri Mühendisliği gibi gelecekte de talep edilecek meslek gruplarının oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada enerjinin hangi enerji kaynağından elde edileceği konusu teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan ; verim, ekserji verimi, yatırım, maliyeti, işletme bakım maliyeti, arazi kullanımı, gürültü ve iş imkanı kriterleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Karar vericiler ile karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve çalışmada kullanılan enerji kaynaklarının önem kriterleri dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Türkiye için yedi enerji kaynağı dört karar verici tarafından Sezgisel Bulanık Topsis yöntemi kullanılarak yenilenebilir enerji kaynaklarından yakınlık katsayısına göre sıralaması yüksekten düşüğe olarak sıralanmıştır. Buna göre en yüksek (0,7350) ile biokütle olurken, en düşük (0,1457)

ile rüzgar enerjisi olarak belirlenmiştir. Böylece Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının Sezgisel

Bulanık Topsis yöntemi ilk kez belirlenmiş ve bu yöntemle yatırım yapılabilecek en verimli enerji kaynağının A_5 (Biyokütle) olduğu tespit edilmiştir.

7.2. Öneriler

Gelecekte hayatımıza yön vermeye devam edecek olan yenilenebilir enerji kaynaklarını en verimli şekilde değerlendirmek gerekmektedir.Bu yüzden yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili geçmişte araştırmalar ve çalışmalar yapılmış ve bazı sonuçlara varılmıştır.Ancak küresel iklim değişimi ile doğaya bağlı enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik oranının değişmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgarın hızı, güneşin yıllık güneş ışınım miktarı,dalganın periyodu ve yüksekliği , jeotermal kaynak sıcaklığı gibi mutlak parametreler değiştirecektir.Bu durumda, enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik miktarlarının kesin bir ifadeden öte yaklaşım yaparak tespit edilmesi gerektiğini gösterir.Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarına bugünün verileri ile Sezgisel Bulanık Yaklaşım yapılmıştır.Bu metot ile gelecekte de yenilenebilir enerji kaynakları için;güneş ve rüzgar santrallerinin kurulacağı arazi seçiminde,fotovoltaik sistemlerin hücre seçiminde, rüzgar enerjisinin modellenmesinde, dalga enerjisi modellemesi için dalga periyodu ve yüksekliği için parametre seçiminde kullanılabilir bir yaklaşım metodu uygulanmalıdır

KAYNAKLAR

1. Kahraman, C., I. Kaya, ve S. Cebi (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34(10), 1603-1616.

2. Afgan, N.H. and M.G. Carvalho(2002).Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*, 27(8), 739-755.

3. Wang, J.-J., et al. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.

4. Beccali, M., M. Cellura, ve D. Ardente (1998). Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology. *Energy Conversion and Management*, 39(16), 1869-1881.

5. Haralambopoulos, D. ve H. Polatidis (2003). Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable energy*, 28(6), 961-973.

6. Pohekar, S. and M. Ramachandran (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365-381.

7. Ulutaş, B.H. (2005). Determination of the appropriate energy policy for Turkey. *Energy*, 30(7), 1146-1161.

8. Atanassov, K.T. (1986). *Intuitionistic Fuzzy-Sets.* Fuzzy Sets and Systems, 20(1), 87-96.

9. Chen, S.M. and J.M. Tan, Handling Multicriteria Fuzzy Decision-Making Problems Based on Vague Set-Theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994. 67(2),163-172.

10. Hong, D.H. and C.H. Choi (2000). Multicriteria fuzzy decision-making problems based on vague set theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 103-113.

11. Li, D.F. (2005). Multiattribute decision making models and methods using intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Computer and System Sciences*, 70(1), 73-85.

12. Wei, C.W., Maximizing deviation method for multiple attribute decision making in intuitionistic fuzzy setting. *Knowledge-Based Systems*, 2008. 21(8), 833-836.

13. E, Ü., *Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Yenilenebilir Enerji Piyasaları, Uzmanlık Tezi*. 2006: Epdk,Ankara.

14. ÖNAL, G., *Enerjide Öz Kaynakların Kullanımı ve Önemi.* Stratejik Araştırmalar Dergisi, 2003. 1(1), 34

15. (WWF-Türkiye), M.Ö.B., *Türkiye'nin Politika Önerileri*, B.D. (WWF-Türkiye) and A.M.B.N.E. Finance), Editors. 2014, 11-12.

16. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı(*2016) Bütçe Sunumu*. 2016, 19.

17. Kılıç, F.Ç.(2015). Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve ÜretimTeknolojileri. *Mühendis ve Makina,* 56(671),28-40.

18. Altuntop, N. and D. Erderiır (2013). Dünyada ve Türkiyede Güneş Enerjisi ile ilgili Gelişmeler. *Engineer & the Machinery Magazine*, 69-77.

19. Bozkurt, İ., A. Ayhan, ve M. Karakılçık (2014). *Vakum Tüplü Kollektörlerin Güneş Havuzu Performansı Üzerine Etkisi.* Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(6), 1-10.

20. Zhang, X., et al. (2013). A Potential Perylene Diimide Dimer-Based Acceptor Material for Highly Efficient Solution-Processed Non-Fullerene Organic Solar Cells with 4.03% Efficiency. *Advanced materials*, 25(40), 5791-5797.

21. Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi,* 2012. 4(2), 33-54.

22. Kiliç, F.Ç. (2011). Türkiye'deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum ve Teşviklerindeki Son Gelişmeler. *Mühendis ve Makina,* 52(614), 103-115.

23. Herbert, G.J., et al. (2007). A review of wind energy technologies. *Renewable and sustainable energy Reviews*, 11(6), 1117-1145.

24. Adıyaman, Ç. (2012). *Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları*,Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Niğde, 57.

25. Basics, W.E., A Guide to Small and Micro Wind Systems. 1999: 43-61.

26. Müdürlüğü, Y.E.G. *Rüzgar Enerjisi Çalışmaları*. 2016; Erişim adresi: http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_en_hak.html.

27. Şenel, M.C. and E. Koç (2015). Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Durumu Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina,* 56(663), 46-56.

28. Etemoğlu, A.B., M. Can, and M. Kılıç (2004), Ülkemiz Jeotermal Kaynaklarının İkinci Kanun Verim Değerlerine Bağlı Sınıflandırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 9(1), 93-101.

29. Arslan, E. (2006). *Jeotermal Enerjiden Yararlanılarak Kuyu İçi Eşarjörü Yardımıyla Konut Isıtılması ve Sıcak Su İhtiyacının Karşılanması*,Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 19.

30. Demirel, M. (1998). *Jeotermal Enerjinin Yerleşim Alanlarına Ekonomik Etkisi, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi ,* Dumlupınar Üniversitesi *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kütahya.

31. Yiğit, Ü.(1994). *Jeotermal Enerjinin Uygulama Alanları, Yayımlanmamış Yüksek lisans Tezi,* Akdeniz Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*,Antalya.

32. Lund, J.W. and D.H. Freeston, World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Geothermics,* 2001. 30(1): 29-68.

33. Gudmundsson, J.-S. (1988). The elements of direct uses. *Geothermics,* 1988. 17(1): 119-136.

34. Kılıç, F.Ç. and M.K. Kılıç (2013). Jeotermal Enerji ve Türkiye. *Mühendis ve Makina,* 2013. 54(639): 45-56.

35. *Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası*. (2016) 04.10.2016; Erişim adresi : http://www.mta.gov.tr/.

36. Ozdamar, A., et al., Investigation of the potential of wind–waves as a renewable energy resource: by the example of Cesme—Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2004. 8(6): 581-592.

37. Thorpe, T. (2001) *Current Status and Developments in Wave Energy*. in *Proc. Int. Conf. on Marine Renewable Energies*.

38. Clément, A., et al. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and sustainable energy reviews,* 6(5): 405-431.

39. Sağlam, M., T.S. Uyar, and İ. Göztepe (2005). *Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli.* Elektrik Mühendisleri Odası.

40. Özdamar, A. (2000). *Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Eldesi Üzerine Bir Araştırma: Çeşme Örneği.* EÜ Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Dergisi, 17(1-2), 201-213.

41. Gürkan Örer, T.G., Aydoğan Özdamar,Necdet Özbalta. *Dalga Enerjisi Tesislerine Genel Bakış*. 2016; Erişim adresi: cagaenerji.com.

42. İlleez, B. (2004). *Güneş Enerjisi Destekli Sürekli Beslemeli Tip Biyogaz Üreticinin Oluşturulması, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,İzmir.

43. Karaosmanoğlu, F. (2006), *Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları.* İstanbul, İTÜ Matbaası, 110-125.

44. Demirbas, A. (2009) Biohydrogen. *Fuels from Biomass*,Springer, 43-59.

45. *Türkiye'nin Biyokütle Potansiyel Haritası* 2016; Erişim Adresi: http://bepa.yegm.gov.tr/.

46. Balat, M. (2005). Use of biomass sources for energy in Turkey and a view to biomass potential. *Biomass and Bioenergy*, 29(1), 32-41.

47. Kapluhan, E.(2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu *Journal of International Social Research,* 7(31).

48. Turan, S. (2006). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları.* Araştırma Raporları, Konya Ticaret Odası Yayınları, Konya.

49. *Hidrojen Enerjisi* 2016; Erişim Adresi http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/hidrojen/index_hidrojen.html.

50. Külekçi, Ö.C. (2009).Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 1(2): s. 083-091.

51. *Türkiye Hidroelektrik Santralleri Haritası*. 2016 04.10.2016; Available from: http://www.cografyaharita.com/turkiye_enerji_haritalari.html.

52. Zadeh, L.A.(1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965. **8**(0): 338-353.

53. Gau, W.L. and D.J. Buehrer, (1993). Vague Sets. *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics,* 23(2), 610-614.

54. Bustince, H. and P. Burillo, (1996). Vague sets are intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems,* 79(3), 403-405.

55. Atanassov, K.T. (1989). More on Intuitionistic Fuzzy-Sets. *Fuzzy Sets and Systems,* 33(1), 37-45.

56. Detyniecki, M.(2001). Fundamentals on Aggregation Operators. Doctoral thesis-research report 2001.

57. Xu, Z.S. and Yager R.R. (2006) Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of General Systems,* 35(4), 417-433.

58. Xu, Z.H.(2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *Ieee Transactions on Fuzzy Systems,* 15(6), 1179-1187.

59. Boran, F.E., et al. (2009). A Multi Criteria Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method. *Expert Systems with Applications,* 36(8): 11363–11368.

60. Si, J., et al. (2016). Assessment of building-integrated green technologies: A review and case study on applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method. *Sustainable Cities and Society,* 27, 106-115.

61. Wang, Y.-M. and Elhag T.M. (2006). Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert systems with applications,* 31(2), 309-319.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı	: DAMGACI, Elif
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 01.01.1990, Konya
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 (384) 228 10 00
Faks	: 0 5547850307
e-mail	: elifdamgaci@nevsehir.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi /Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Sistemleri Mühendisliği Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi /Enerji	2013
Lise	Karatay Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce



GAZİ GELECEKTİR...