



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ENERJİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ İÇİN
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ
BWM YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sezi BİLGİÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sezi BİLGİÇ tarafından hazırlanan “Enerji Sürdürülebilirliği İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Bwm Yöntemi İle Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 20/8/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Saadettin Erhan KESEN


Danışman

Prof. Dr. Turan PAKSOY

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Sezi BİLGİÇ

Tarih:20.08.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ İÇİN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ BWM YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sezi BİLGİÇ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2019, 70 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Turan PAKSOY
Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ALAYKIRAN**

Dünyadaki enerji gereksiniminin giderek artmasıyla, mevcut durumdaki kaynakların önümüzdeki yıllarda tükenmesi öngörüldüğünden enerji sürdürülebilirliğinin sağlanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi giderek artmaya başlamıştır. Artan enerji talebinin hangi kaynaklardan karşılanacağı, çevresel ekonomik ve sosyal etkileri ile bundan 20 yıl sonraki Türkiye'yi oluşturacağından oldukça önemlidir. Enerji arz güvenliği sağlanarak, güvenli ve yeterli enerji hedefine doğru yaklaşırken, daha az maliyetle, daha temiz kaynaklar ile çevresel sürdürülebilirliği sağlamak oldukça önemlidir. Bu amaçla çalışmada enerji sürdürülebilirliğinin öneminden bahsedilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynağının çevreye uyumu ve enerji devamlılığını etkileyen kriterler araştırılarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden Best Worst Method (BWM) ile yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışan karar vericilere destek olacak bir uygulama olmasının yanı sıra farklı yeni bir çözüm yöntemi (BWM) kullanılarak çözülmesiyle de literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Prosesi, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi, Enerji Kaynakları, En İyi En Kötü Yöntem (BWM), Sürdürülebilir Enerji, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

MS THESIS

**ASSESSMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR ENERGY
SUSTAINABILITY WITH BWM**

Öğrencinin Sezi BİLGİÇ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Industrial Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Turan PAKSOY

2019, 70 Pages

Jury

Prof. Dr. Turan PAKSOY

Doç. Dr. Saadettin Erhan KESEN

Asst. Prof. Dr. Kemal ALAYKIRAN

In order to ensure the sustainability of energy, the importance of renewable energy sources has started to increase as the energy requirement in the world is increasing, as existing resources are projected to be depleted in the coming years. It is very important that the increasing demand for energy will be met from which sources, with its environmental economic and social effects, and Turkey 20 years from now. As energy supply security approaches a safe and adequate energy target, it is very important to ensure environmental sustainability with cleaner resources at less cost. For this purpose, the importance of energy sustainability was mentioned in the study. Renewable energy sources were evaluated by Best Worst method (BWM), one of the most critical decision-making methods by investigating the criteria that affect the adaptation of the renewable energy resource to the environment and the continuity of the energy. In addition to being an application to support decision makers working on renewable energy resources in our country, it is aimed to contribute to the literature by dissolving it using a different new solution method (BWM).

Keywords: Analytical Hierarchy Process, Best Worst Method, Energy Resources, Multi-Criteria Decision Making Method, Renewable Energy, Sustainable Energy

ÖNSÖZ

Enerji ihtiyacına artan taleple birlikte enerji kaynaklarının önemi giderek artmaya başlamıştır. Bu talebin karşılanması için mevcuttaki kaynakların çoğunlukla tükenebilir kaynaklar olması sebebiyle enerji sürdürülebilirliği gün geçtikçe önem kazanmaktadır, bu kapsamda, bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji sürdürülebilirliğinin öneminden bahsedilmiş, tez çalışmasında da yenilenebilir enerji kaynağının çevreye uyumu ve enerji devamlılığını etkileyen kriterler araştırılarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden En İyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method) ile yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmamda bana her konuda yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Turan PAKSOY' a yardımları için Arş. Gör. Belkız TOĞRUL'a teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca her türlü manevi desteğini esirgemeyen kıymetli aileme ve eşim Vahdi BİLGİÇ'e, kuzenim Sezgin AKA'ya, iş arkadaşım İlkay YÜKSEL'e ve birim arkadaşlarına sonsuz teşekkürler.

Sezi BİLGİÇ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ.....	3
2.1. Yenilenemez Enerji kaynakları.....	6
2.1.1. Petrol.....	7
2.1.2. Doğalgaz	8
2.1.3. Kömür	9
2.1.4. Nükleer Enerji.....	10
2.2. Yenilenebilir Enerji kaynakları.....	11
2.2.1. Güneş Enerjisi.....	13
2.2.2. Rüzgâr Enerjisi	17
2.2.3. Hidroelektrik Enerjisi	18
2.2.4. Jeotermal Enerjisi	20
2.2.5. Biokütle Enerjisi	22
2.2.6. Gel-git ve Dalga Enerjisi	23
2.2.7. Hidrojen Enerjisi.....	23
3. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE ENERJİ DURUMU.....	25
3.1. Dünyada Enerji Durumu	25
3.2. Türkiye’de Enerji Durumu.....	29
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	32
5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ	45
5.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	46
5.2 TOPSİS Yöntemi	47
5.3 PROMETHEE Yöntemi	47
5.4 EN İYİ-EN KÖTÜ (BEST WORST METHOD) Yöntemi	48
6. UYGULAMA	51
6.1 Problemin Tanımlanması	51

6.2 Kriterlerin Tespit Edilmesi	51
6.3 En İyi Ve En Kötü Kriterlerin Tespit Edilmesi	53
6.4 En İyi Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önceliğini Belirleme.....	54
6.5 En Kötü Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önceliğini Belirleme	55
6.6 En Kötü Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önceliğini Belirleme	56
7.SONUÇ	60
KAYNAKLAR	62
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	70



KISALTMALAR

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devleti
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ süreci
BWM	Best Worst Method
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
ÇNKV	Çok Nitelikli Karar Verme
ECF	European Climate Foundation
ELECTRE	Eliminasyon ve Seçim Yazma Gerçeği
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
HES	Hidroelektrik Santral
IHA	Uluslararası Hidroelektrik Enerjisi Kurumu
PRIS	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
PROMETHEE	Zenginleştirme Değerlendirme için Tercih Sıralaması Organizasyon
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TOPSİS	İdeal Çözeltiye Benzerlik Göre Sipariş Tercih Tekniği
WEF	World Economic Forum

1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji gereksiniminin giderek artmasıyla, mevcut durumdaki kaynakların önümüzdeki yıllarda tükenmesi öngörüldüğünden enerji sürdürülebilirliğinin sağlanması için enerji kaynaklarının önemi giderek artmaya başlamıştır. Artan enerji talebinin hangi kaynaklardan karşılanacağı oldukça önemlidir. Enerji ihtiyacının, enerji arz güvenliğini sağlayarak daha az maliyetle ve daha temiz kaynaklarla karşılanması çevresel sürdürülebilirliği sağlamak açısından oldukça önemlidir.

Artan enerji talebini karşılarken ülkemizin enerji politikası; enerji arz güvenliğini sağlamak, aynı zamanda da dışa bağımlılığı ortadan kaldırmaktır. Bu sebeple de enerji sürdürülebilirliği için hangi kaynakların kullanılması, yatırım yapılması gerektiğine karar vermek, enerji politikasını gerçekleştirmek için en önemli adımdır.

Yapılan bu çalışmanın ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışan karar vericilere destek olacak bir uygulama olmasının yanı sıra ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarına bilimsel bir bakış açısı kazandırmaktır. Önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları alanında yapılacak olan çalışmalar için de örnek teşkil etmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynak kullanım ve yatırımları için çevre uyum ve sürdürülebilirliği için geçmiş çalışmalar incelenip uzmanlar ile birlikte gerekli kriterler belirlenerek, bu kriterlerin BWM (Best Worst Method) ile yenilenebilir enerji kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çözümünde BWM yönteminin seçilmesinin nedeni enerji kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesine farklı, yeni bir yöntem olan Best Worst Method ile yenilenebilir enerji kaynak değerlendirmesinde farklı bir bakış açısı kazandırmaktır.

Yapılan bu çalışmanın ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışan karar vericilere destek olacak bir uygulama olmasının yanı sıra ülkemizdeki yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarına farklı yeni bir çözüm yöntemi BWM (Best Worst Method) kullanarak çözülmesiyle literatüre de katkı sağlayacaktır. Önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları alanında yapılacak olan yatırım planlamasına katkı sağlaması amacı taşınması açısından oldukça önemlidir.

Çalışmanın birinci bölümünde yapılan çalışma özetlenerek, çalışmanın gerekliliği anlatılmıştır. İkinci bölümünde Enerji ve sürdürülebilirliğin öneminden bahsedilerek enerji kaynakları anlatılmış, üçüncü bölümünde ise Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümü incelenmiş, enerji kullanımında ülke sıralamalarına ve enerji kaynak kurulu güçlerine yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise, geçmişte bu konuda yapılan çalışmalar incelenerek, Literatürdeki çalışmalar özetlenmiştir.

Beşinci bölümde, enerji kaynak kullanım ve yatırım problem çözümünde hangi karar verme tekniklerinden yararlanılacağı ve gerekliliği anlatılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin problem çözümünde gerekliliği belirtilerek, bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinde kullanılacak olan BWM (Best Worst Method) yöntemi anlatılmıştır. Altıncı bölümde problem tespiti ile metodun probleme uygulama aşaması anlatılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılacak olan uzmanlarla birlikte belirlenen kriterler anlatılmıştır. Son bölümde ise yenilenebilir enerji kaynak değerlendirilmesi probleminin BWM yöntemi (Best Worst Method) ile çözülmesi ve sonuçlarına yer verilmiştir.

Çalışmadaki ana amaç, ülkemizde karar vericilere yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ile yatırım planlamasında yardımcı olacak, yeni bir metot ile de literatüre katkı sağlamaktır.

2. ENERJİ

Dünya nüfusunun hızla arttığı, nüfusun ihtiyaçlarının da beraberinde arttığı göz önüne alındığında enerji ihtiyacına artan taleple birlikte enerji kaynaklarının önemi de giderek artmaya başlamıştır. İnsanlar yaşamları boyunca her alanda enerjiye ihtiyaç duymuştur. Enerjiyi kısaca, iş yapabilme, ısıtılabilme, aydınlatılabilme yeteneği veya kapasitesi olarak tanımlayabiliriz (Basar, 2011).

Enerji talebinin karşılanması içinde kullanılan mevcuttaki kaynakların çoğunlukla tükenbilir kaynaklar olması sebebiyle enerji sürdürülebilirliği gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek içinde gün geçtikçe yoğun bir şekilde enerji üretime üzerine çalışılmaktadır. Enerji tüketimi arttıkça dışa bağımlılık artmakta, fosil kaynaklı tüketimle beraberinde çevre kirliliği de artmaktadır.

Her geçen gün artan elektrik ve enerji talebinin hangi kaynaklardan karşılanacağına dair bugün verilecek karar; çevresel, ekonomik, teknolojik ve sosyal etkileriyle geleceğin Türkiye'sini oluşturacaktır.

Ülkemizin enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek için hangi enerji kaynağından yararlanılması gerektiği kararı için, karar vericiler amaçlarını gerçekleştirecek en iyi alternatifleri seçmek durumundadır. Alınan kararların etkinliği ise enerji taleplerinin karşılanma birlik oranına göre ölçülebilir. Karmaşık ve uzun vadeli karar problemleri için zaman ayrılması, detaylı bir araştırma ile uygun bilgi ve verilerin kullanılması gerekmektedir (Bayar, 2014).

Enerjide arz güvenliği, sürdürülebilir enerji ile bir yandan ekonomik büyümeye ile artan enerji talebini karşılamak, diğer yandan ise ithal yakıtlara bağımlılığı ortadan kaldırmaktır. Enerji arz güvenliği sağlanarak, güvenli ve yeterli enerji için çalışırken, daha az maliyetle, çevreye zararsız daha temiz enerji kaynaklarıyla çevresel sürdürülebilirlik sağlanabilmesi önemlidir.

European Climate Foundation'ın (ECF) maddi desteği ve Bloomberg New Energy Finance (BNEF) işbirliğiyle gerçekleştirilen rapora bakıldığında; Yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetleri ve verimlilik katsayıları ve enerji verimliliğinde artış gibi altyapı ve teknolojik ilerlemeleri üzerine oldukça muhafazakâr varsayımlarla oluşturulan analizi şunları sunmaktadır (Berke, 2014).

Ülkemizde 2030 yılında elektrik enerjisi talebinin neredeyse %50'sini yenilenebilir kaynaklardan, yani rüzgar güneş ve sudan temin etmek mümkün olacağı düşünülmektedir.

Yenilenebilir enerjiye öncelik tanıyan bir elektrik enerjisi politikasının maliyetleri, kömüre dayalı bir enerji politikasından daha yüksek olmayacaktır. Aynı zamanda kömüre dayalı olmayan bu elektrik enerjisi politikası bununla beraber sera gazı emisyonlarındaki artışın durdurulmasına, dış ticaret açığının azaltılmasına imkân vermektedir (Berke, 2014).

2016 yılının enerji verilerini ortaya koyan 66. BP Dünya Enerji İstatistikleri Raporuna bakıldığında ise, küresel enerji tüketiminin yavaşlaması ve enerji kaynakları arasında daha düşük karbonlu yakıtların kullanımının yaygınlaşmasıyla, küresel düzeyde hem talep hem de enerji arzında görülen dikkat çekici uzun dönemli trendlerin öne çıktığı bir yılı geride bıraktığımızı gösteriyor.

BP Dünya Enerji İstatistikleri 2017 Raporu'nu değerlendirmesinde “küresel enerji piyasaları bir geçiş döneminde olduğunu, bir taraftan artan taleple enerji ihtiyacının karşılanmaya çalışılması diğer taraftan çevreye daha az zararlı, karbon salınımı az ve verimli enerji kullanımı için çabalanmaktadır.

Rapora göre, 2016 yılında sadece %1 büyüme ile son 10 yıllık ortalamasının yarısına yakın bir hızla artan küresel enerji talebindeki zayıflama ile ardı ardına üçüncü yılını geride bıraksa da, bu büyümenin neredeyse tamamı, hızlı büyüyen gelişmekte olan ekonomilerden gelse de tüm büyümenin yarısı Çin ve Hindistan'da gerçekleşti (Anonymous, 2017).

Fiyatlarda geçen yıl görülen düşüş petrol talebini %1,6 artırsa da, üretimdeki büyüme sadece %0,5'de kaldı. Doğalgaz üretimi de düşük fiyatlardan negatif yönde etkilenerek sadece %0,3 arttı. En hızlı büyüme %12 ile yenilenebilir enerjide oldu. Her ne kadar toplam küresel birincil enerji kaynakları içerisinde %4'lük paya sahip olsa da, yenilenebilir enerjideki büyüme 2016'daki enerji talebindeki toplam büyümenin neredeyse üçte birini temsil etmektedir. Enerji talebindeki zayıf büyüme ile yakıt karışımındaki değişim sayesinde 2016 yılı küresel karbon salınımı %0,1 atış gösterdi (Anonymous, 2017).

Enerji talebinin karşılanması için dünya genelinde kömür, linyit, doğal gaz, benzin gibi fosiller birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Türkiye enerji tüketiminin yerli kaynaklarla karşılanma oranı 2015 yılı için %24 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla enerjide dışa bağımlılık seviyesi %76 seviyelerindedir.

Ülkemizde taşkömürü, doğalgaz ve petrolün %90 a dan fazlasını yurtdışından almaktadır, bu dışa bağımlılığın önüne geçmek için geçmiş enerji politikalarında kömür ön plana çıkmaktadır.

2012 yıllarında ülkemizde kömür yılı edilmiştir; ancak taş kömürün neredeyse %95 ini yurtdışından gelmekte, 2009 dan bu yana açılan kömürlü termik santrallerinde de %85 inden fazlası ithal kömür kullanılmaktadır. Verilere incelendiğinde kömüre hücum politikası enerjide dışa bağımlılığın önüne geçememiştir. Ülkemizde alan kömür yataklarının çoğunu düşük kalite linyit yatakları oluşturmaktadır. Çevreden ödün vermeden pahalı teşviklerle enerji elde etmek ekonomik değildir. Ülkemizin enerji politikası arz güvenliği sağlamak, artan enerjini talebini karşılamak aynı zamanda da dışa bağımlılığı ortadan kaldırmaktır. Çevre sürdürülebilirliği için şimdi hangi kaynakların kullanılması, yatırım yapılması gerektiğine karar vermek geleceğin Türkiye'sini oluşturacaktır (WWF-Turkey, 2014).

WEF-Boozomberg raporuna göre; Ülkemizde kömür odaklı enerji politikasına devam edilirse 2030 yılında, kömürün payı elektrik üretiminde %35 e çıkacaktır. Kömür santrallerinin sayısı neredeyse 2 katına çıkacak olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı değişmeyecektir.

Kömür politikasındansa önümüzdeki 15 yılda, güneş ve rüzgâr yatırımlarına öncelik verilebilirse, yenilenebilir enerjinin toplam payı 2030 yılında %47 seviyesine çıkarılabilir. Böylece elektrik ihtiyacımızın neredeyse yarısını yenilenebilir kaynaklardan karşılayabiliriz. Santrallerin yapım, yakıt ve işletme maliyetleri hesaplandığında yenilenebilir enerjiyle planlanan bir geleceğin kömüre dayalı bir gelecekte daha pahalı olmayacaktır. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, arz güvenliğinin temel taşı olabilir. Güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımları ile taşkömürü ve doğalgaz ithalatımızı azaltıp, 2030'a kadar 18 milyar dolar tasarruf sağlayabiliriz. 2040 a kadar Uluslararası enerji ajansına göre elektrik sektöründeki yeni yatırımların %60'ı, Bloomberg New Energy Finance göre ise %80'i yenilenebilir enerji kullanılacaktır.

Rüzgâr enerjisi maliyetleri, 2008 den bu yana üçte bir oranında azalırken, güneş enerjisi maliyetleri de 2010 – 2015 yılları arasında %60 oranında düşmüştür, dünyanın pek çok yerinde fosil yakıtlardan daha ucuza elektrik üretilmektedir. Maliyet düşüşünün 2015 -2025 yılları arasında da aynı şekilde düşmesi beklenmektedir. Dünyanın pek çok yerinde güneş ve rüzgârın 10 yıl içerisinde en ucun elektrik üretim yöntemleri olacağı düşünülmektedir (WWF-Türkiye, 2014).

Enerji kaynakları yenilenebilir enerji ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırmaktadır.

2.1. Yenilenemez Enerji kaynakları

Yenilenemeyen (fosil) enerji kaynaklarını kömür, doğal gaz ve petrol ve nükleer enerji oluşturmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kolay dönüştürülebilir ve kolay ulaşılabilen kaynaklar olduğundan fosil kaynakların kullanımı oldukça yüksektir, ancak bu kaynakların yakılarak kullanıldığından mevcut kaynak rezervlerini hızla azaltmaktadır. Fosil yakıtların kullandıkça tükenmeleri ve kaynak rezervlerinin sınırlı olması nedeniyle bu kaynaklar yenilenemeyen enerji kaynağıdır.

Fosil yakıtların kullanım artışı ile beraberinde küresel ısınma, iklim değişikliği, atmosfer kirliliği ve sera etkisi gibi çevreye verdiği olumsuz etkilerde de artış görülmektedir. Fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan CO₂ gazı, dünyada en önemli çevre sorunlarının başında gelen küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınma ile dünyanın ortalama sıcaklık değerlerinin normalin sıcaklarının değerinin üzerinde olması ile bölgesel kuraklıklara, aşırı yağışlar sonucu sellere ve donma tehlikesi gibi doğal afetlere sebep olarak iklimin değişmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda kömür tüketimiyle de asit yağmurları gibi başka çevre sorunları da neden olmaktadır.

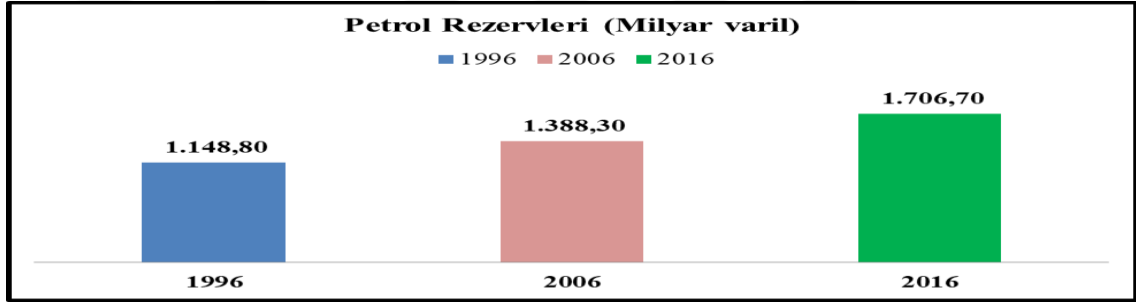
Yenilenemeyen enerji kaynaklarının haricinde bir diğer yenilenemeyen enerji kaynağı da Nükleer Enerjidir. Diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarında daha az kullanıma sahip olsa da gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları havada suda toprakta çevre kirliliğine sebep vermekte, bu kaynakların çevreye verdiği zararların telafisi için harcanacak zaman ve maliyetleri değerlendirildiğinde alternatif kaynakların araştırılması ve kullanılması daha da önemli hale gelmiştir.

2.1.1. Petrol

Petrol, başlıca hidrojen ve karbondan oluşan ve içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunan çok karmaşık bir bileşimdir. Normal şartlarda gaz, sıvı ve katı halde bulunabilir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Müdürlüğü, 2018).

Fosil yakıtlar içerisinde kullanım oranına göre petrolün ilk sıralarda yer almasına rağmen 2050'li yıllara kadar petrolün tükeneyeceği düşünülmektedir. Ayrıca doğalgazın çevre kirliliği açısından petrolden daha az zararlı enerji kaynağı olmasından dolayı da doğalgazın petrolün önüne geçeceği öngörülmektedir.

2016 yılı dünya ispatlanmış petrol rezervi 1 trilyon 706 milyar varil olarak açıklanmıştır.



Şekil 2.1. Dünya Kanıtlanmış Petrol Rezervlerinin Büyüklüğü (Anonymous, 2017)

Petrol rezervinin;

-814,1 milyar varili (%47,7) Orta Doğu Ülkelerinde,

-327,7 milyar varili (%19,20) Güney ve Orta Amerika ülkelerinde,

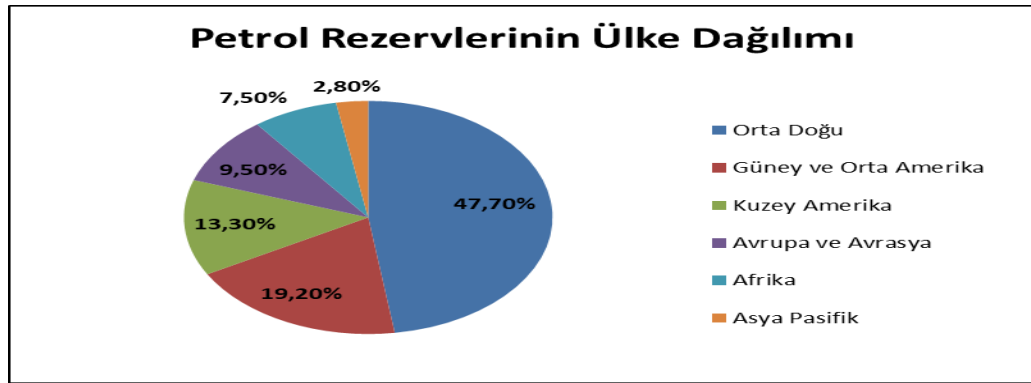
-227 milyar varili (%13,3) Kuzey Amerika ülkelerinde,

-162,1 milyar varili (%9,50) Avrupa ve Avrasya ülkelerinde,

-128 milyar varili (%7,50) Afrika ülkelerinde ve

-47,8 milyar varili (%2,80) Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır. Dünyada

kanıtlanmış en fazla petrol rezervine sahip ülke, 300,9 milyar variller Venezuela olurken, 266,5 milyar varille Suudi Arabistan 2. Sırada yer almaktadır (Anonymous, 2017).



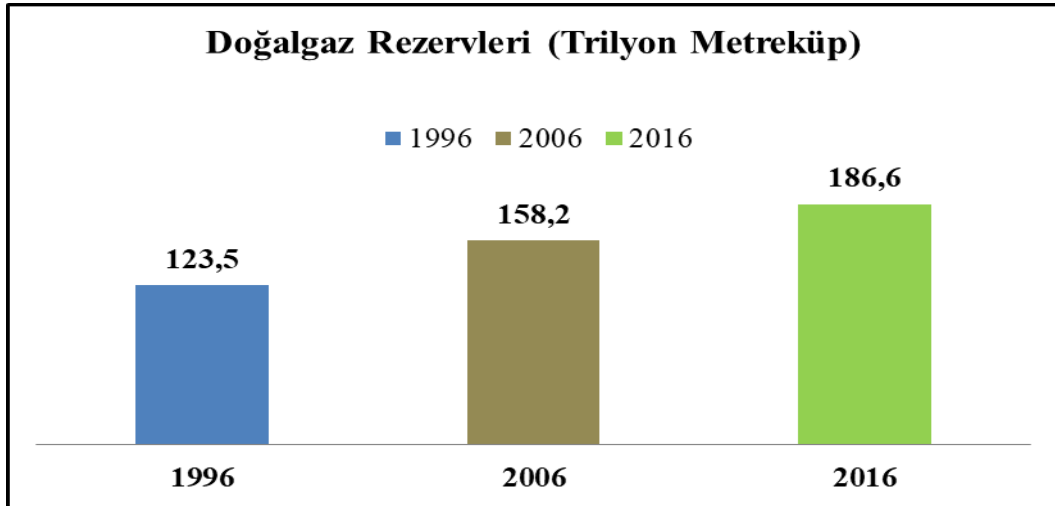
Şekil 1.2. Dünya Kanıtlanmış Petrol Rezervlerinin Büyüklüğü Ülke Dağılımı (Anonymous, 2017)

2.1.2. Doğalgaz

Enerji tüketiminde petrolden sonra doğalgaz ve kömür önemli rol almaktadır. Enerji tüketiminde petrolün ilk sıralarda yer almasına rağmen artan enerji talebiyle birlikte çevre bilinci de artmakta bu doğrultuda karbon salınımı daha az, daha ucuz, temiz ve depolanabilir olan doğalgaz kullanımı artmaktadır. Temiz ve depolanabilir olmasından dolayı güncelik hatta sıkça araçlarda, bina ısıtmalarında ve yemek pişirmelerinde de kullanılmaktadır.

2016 yılında dünya enerji tüketiminin %24,1'i doğalgazdan karşılanmıştır. BP 2017 Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporuna" göre dünya üzerinde 186,6 trilyon metreküp kanıtlanmış doğalgaz rezervi bulunmaktadır.

Dünyada kanıtlanmış en fazla doğalgaz rezervine sahip bölge, 79.4 trilyon metreküp Ortadoğu olurken, 56,7 trilyon metreküp Avrupa ve Avrasya izlemektedir. Dünyada kanıtlanmış en fazla doğalgaz rezervine sahip ülke, 33,5 trilyon metreküp İran olurken, 32,3 trilyon metreküp ile Rusya takip etmektedir. Doğalgaz rezerv büyüklüğü 1996 yılında 123,5 trilyon metreküp iken; kullanım alanlarının ve arama çalışmalarının artmasıyla da 2006 yılı sonunda 158,2 trilyon metreküp seviyesine, 2016 yılı sonunda ise 186,6 trilyon metreküp büyüklüğüne ulaşmıştır (Anonymous, 2017).

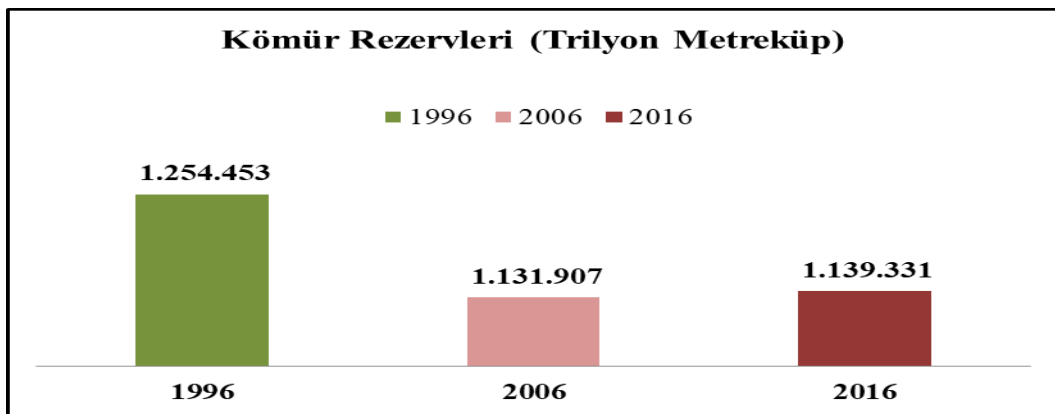


Şekil 2.2. Dünya Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervlerinin Büyüklüğü (Anonymous, 2017)

2.1.3. Kömür

Yenilenemez enerji kaynakların bir diğeri de kömürdür. Kömür içerdiği yüksek karbon değeriyle çevreye büyük ölçüde zarar vermektedir, ancak kömür düşük maliyetle elde edildiğinden en çok kullanılan kaynaklardan biri olmuştur.

BP 2017 Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu verilene bakıldığında; 2016 yılında dünya enerji tüketiminin %33 oranla Petrol enerjisinden, %28 oranla kömür enerjisinden karşılandığı görülmektedir. Dünya kömür rezerv büyüklüğü 2016 yılı sonunda 1 trilyon 139 milyar 331 milyon ton büyüklüğüne ulaşmıştır (Anonymous, 2017).



Şekil 2.3. Dünya Kanıtlanmış Doğalgaz Rezervlerinin Büyüklüğü (Anonymous, 2017)

251 milyar 582 milyon ton kömür rezervi ile ABD birinci sırada yer alırken, 244 milyar 10 milyon ton kömür rezervi ile Çin ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye, küresel kömür tüketiminde %1'lik paya sahiptir. Ayrıca rapora göre Türkiye bir önceki yıla göre %10 oranla artarak 2016'da 38 Mtpe kömür tüketimi gerçekleştirmiştir. 2016 yılında Türkiye'de doğalgaz tüketimi azalırken, kömür, petrol ve yenilenebilir enerji tüketimi artış göstermiştir. Enerji tüketiminin %85 fosil yakıtlardan karşılanırken Enerji talebinin %33'ü Petrol, %28'i kömür, %24'ü doğalgaz enerjisinden karşılanmıştır (Anonymous, 2017).

Enerji sektöründe hızla gelişim – değişim görülmezse fosil kaynaklara bağlılığın devam etmesi kaçınılmazdır, Kısıtlı rezervleri bulunan kaynaklardan enerji elde edilmesinde enerji sürdürülebilirliğinden bahsetmek mümkün değildir.

Ayrıca çevreye olumsuz etkisi bulunan fosil yakıtlardansa çevreye duyarlı kullandıkça tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması enerji sürdürülebilirliği ve çevre bilinci açısından çok önemlidir.

2.1.4. Nükleer Enerji

Atom enerjisi veya nükleer enerji, atom çekirdeğinin bölünmesi, parçalara ayrılması (filyon) veya iki atom çekirdeğinin birleşmesi, kaynaşması (füzyon) neticesinde açığa çıkan enerji olarak tanımlanabilir (Tombakoğlu ve diğ., 2011).

Enerjiye gün geçtikçe daha çok ihtiyaç duyulması, petrol ve doğalgazda bağımlı hale gelmesi ve ortaya çıkan enerji krizleri ile gibi nedenlerden dolayı enerji çeşitliliğini artırmak ve alternatif enerji kaynakları kullanmak için nükleer enerji çalışmaları başlamıştır. Nükleer enerji de karbon salınımının az olması, yüksek miktarda enerji vermesi ve maliyetli olması sebebiyle ekonomik yönden güçlü olan ülkelerce tercih edilmektedir.

Nükleer enerji, fosil yakıtlar kadar olmasa da yaygın kullanım alanı bulmakta, santrallerde yüksek miktarlarda enerji üretilmektedir. Sanayileşmenin en büyük gereksinimi enerji olduğundan, nükleer enerji bulunan ülkelerde başta sanayi olmak üzere birçok sektörde büyük katkı sağlamaktadır.

2016 Yılında dünya toplam enerji tüketiminin %4,5 oranı 592 milyon TEP ile nükleer enerjiden karşılanmıştır.

Yapılan tüm tüketimin %32' lik kısmını kullanarak, 191,8 milyon TEP tüketim ile ABD ilk sırada yer alırken, %15 oranla 91,2 milyon TEP tüketim ile Fransa ikinci sırada yer almaktadır (Anonymous, 2017).

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (PRIS) verilerine göre dünya da 30 ülkede 450 nükleer reaktör işletme halindedir, toplam kapasitesi 393.836 MW tır. 17 ülkede 18 tanesi Çin, 1 tanesi de Türkiye de olmak üzere 59 nükleer reaktör inşası devam etmektedir. (5 Haziran 2018). ABD, 99 adet nükleer reaktörle ilk sırada yer alırken, 58 adet nükleer reaktörle Fransa ikinci, 42 adet reaktör ile Japonya üçüncü sıradadır (Anonim, 2018).

2.2. Yenilenebilir Enerji kaynakları

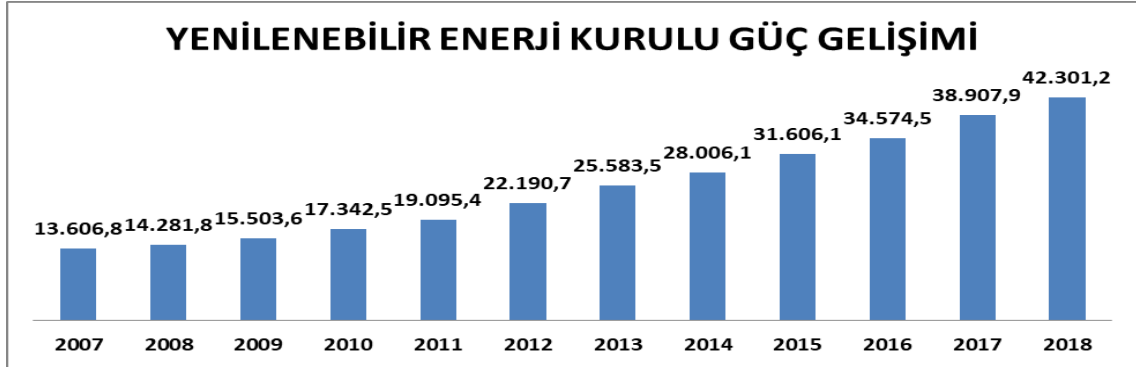
Günümüzde yaşanan tüm gelişmelerle birlikte dünyada enerji ihtiyacı giderek artmaktadır, artan enerji talebiyle bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan fosil kaynak rezervlerinin hızla tükenmektedir. Fosil yakıtların çevreye verdiği zarardan dolayı küresel ısınma artmakta, iklim değişmekte, buzullar erimektedir. Tüm bu sorunlardan dolayı ilginin, çevreye zararsız temiz ve sürdürülebilir özellikteki yenilenebilir enerji kaynaklarına kaymasına sebep olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldıklarında çevreye verdikleri zarar fosil yakıtlara göre yok denecek kadar azdır, bundan dolayı yeşil enerji denilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, kullanımı arttıkça miktarında herhangi bir azalma olmayan temiz enerjilerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını ise güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biokütle, dalga (Gel-git) ve hidrojen enerjisinden oluşturmaktadır.

BP 2017 Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu verilene bakıldığında; Dünya genelinde yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi bir önceki yıla göre %14,1 artışla ve 419 Mtpe ulaşmıştır. Yenilenebilir enerjide en fazla elektrik üreten ülke, 86 Mtpe ile 2016'da Çin yenilenebilir enerjiden elektrik üretilen ülke olurken, 83 Mtpe ile ABD takip etmektedir.

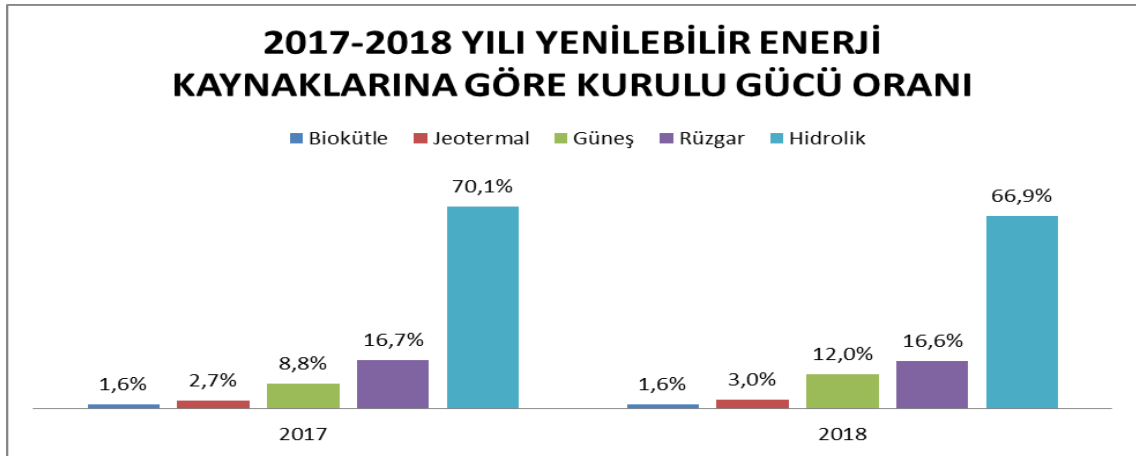
Yenilenebilir enerjide en fazla elektrik üreten bölge, 145 Mtpe ile 2016'da Asya-Pasifik yenilenebilir enerjiden elektrik üretilen bölge olurken, 144 Mtpe ile Avrupa ve Avrasya izlemektedir (Anonymous, 2017).

Ülkemizde yenilenebilir enerji kurulu gücü, 2016 yılında 34.574,5 MW, 2017 yılında 38.907,9 MW, 2018 yılına gelindiğinde ise 42.301,2 MW olmuştur.



Şekil 2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kurulu Güç Gelişimi (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Müdürlüğü, 2019).

Ülkemiz başta güneş ve rüzgâr olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça uygundur. Ancak fosil kaynaklar yerine yenilenebilir enerji kaynakları enerji ihtiyacımızı karşılayabilmesi ve bu enerji tüketim politika değişikiminin maliyetinin ne olacağı da önemlidir.



Şekil 2.5. 2017 – 2018 yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Güç Oranları (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Müdürlüğü, 2019).

2018 yılında, 2017 yılına göre en fazla artış 1.642,9 MW artış ile Güneş enerjisinde olmuştur. 2017 yılı içinde %70,1 oran ile hidroelektrik enerji 27.273,1 MW ile en fazla kurulu güce sahip olan enerji kaynağıdır.

Sırası ile %16,7 oranla rüzgâr enerjisi 6.516,2 MW, %8,8 ile güneş enerjisi 3.420,0 MW , %2,7 ile jeotermal enerji 1.063,7 MW ve %1,6 biokütle enerjisi 634,2 MW kurulu güce sahiptir.

2018 yılı içinde ise %66,9 oran ile hidroelektrik enerji 28.291,4 MW ile en fazla kurulu güce sahip olan enerji kaynağıdır. Sırası ile %16,6 oranla rüzgâr enerjisi 7.005,4 MW, %12 ile güneş enerjisi 5.062,9 MW , %3 ile jeotermal enerji 1.282,5 MW ve %1,6 biokütle enerjisi 659,0 MW kurulu güce sahiptir.



Şekil 2.6. 2017 – 2018 yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Kurulu Gücü (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Müdürlüğü, 2019).

2.2.1. Güneş Enerjisi

En yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden farklı yöntem ve malzemelerle ısı ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılır. Güneş enerji teknolojisinin, ilk yatırım maliyetinin yüksekliği, daha önceki yıllarda ucuz olan petrol ve doğalgaz karşısında rekabet edememiştir.

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ile enerji sorunu, enerji sürdürülebilirliğinin önemini göstermiştir, böylece yenilebilir enerji kaynaklarının önemi artarak çalışmalar hız kazanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan ilgi ve araştırmalarda güneş enerjisi, sınırsız tükenmeyen bir enerji olması, çevre kirliliğine neden olmaması ayrıca dağıtım, iletim gibi sorunlarının bulunmaması, ilk kurulum maliyeti göz ardı edildiğinde bedelsiz ve sonsuz bir enerji olması nedeniyle önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir.

Güneş enerji teknolojisinde işletme kolaylığı, yakıt sorununun olmaması, hızlı kurulabilmesi, uzun yıllar sorunsuz olarak çalışması, temiz bir enerji kaynağı olması gibi nedenlerle dünya genelinde kullanımı sürekli artmaktadır.

Günümüzde güneş enerjisi hemen hemen her alanda kullanılmaktadır, ev ve iş yerlerinin ısınma ve soğumasında, yemek pişirilmesinde, sıcak su temin edilmesinde, tarım ürünlerinin kurutulmasında, sera ısıtması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden ulaşım ve sanayi sektöründe de yararlanılmaktadır; güneş fırınları, güneş ocakları, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pilleri, güneş havuzları, güneş pompaları, sinyalizasyon sistemlerinde ve elektrik üretiminde kontrollü olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri üç grupta incelenebilir. İlk olarak güneş enerjisinden düşük sıcaklık elde edilmesinde yaygın olarak kullanılan sistem , “Güneş Kolektörleri” olarak adlandırılan teknolojidir. Bu teolojide de evlerin ısıtılması, sıcak su temini gibi ihtiyaçlarda kullanılmaktadır. İkincisi güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasıyla elektrik üreten sistemlerdir. Bu sistemlerde öncelikle ısı elde edilir. Bu ısı doğrudan kullanılabilceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Üçüncüsü ise, güneş enerjisinden doğrudan elektrik üreten sistemlerdir. Güneş pilleri veya fotovoltaik piller güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler (Adıyaman, 2012).

Güneş enerjisinin çevre dostu olması, dışa bağımlı olmaması, güvenilir ve oldukça basit yöntemlerle yararlanılabilmesi avantajlarının yanı sıra, başlangıç maliyetinin yüksek olması, hava koşulları ve gün ışığına göre değişiklik göstermesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Güneş enerjisi santrallerinde küresel ısınmanın, sebeplerinden olan CO2 salınımı oluşmamaktadır. Aynı zamanda güneş enerjisi, fosil yakıtların özellikle sera etkisi yaratıcı gaz emisyonlarının ve diğer kimyasal atıkların da önüne geçerek çevrenin korunmasına yardımcı olmaktadır.

Güneş enerji teknolojilerinin düşük sera gazı emisyonları, işletme sırasında atık ürün yokluğu, elektrik şebekesi iletim hatlarının azalması, su kaynaklarının kirlenmesinin önlenmesi gibi çevresel avantajlara sahiptir. Bunun yanında büyük ölçüde istihdam imkânı sunmakta, sosyal ve ekonomik yönden kazanç sağlamaktadır. Elektrik şebeke hattı bulunmayan yerlerde güneş pillerinin kullanımı bir kez yatırım gerektirdiğinden daha ekonomik olabilir. Güneş pili, kurulduğu evin çatısından ihtiyacı olan enerjisini karşılayabilmektedir. Böylece enerji taşıma kayıpları ile iletim maliyetleri ortadan kalkacaktır (Adıyaman, 2012).

Güneş enerjisi kullanımını gerekli kılan birçok sebepler şu şekilde sıralanabilir;

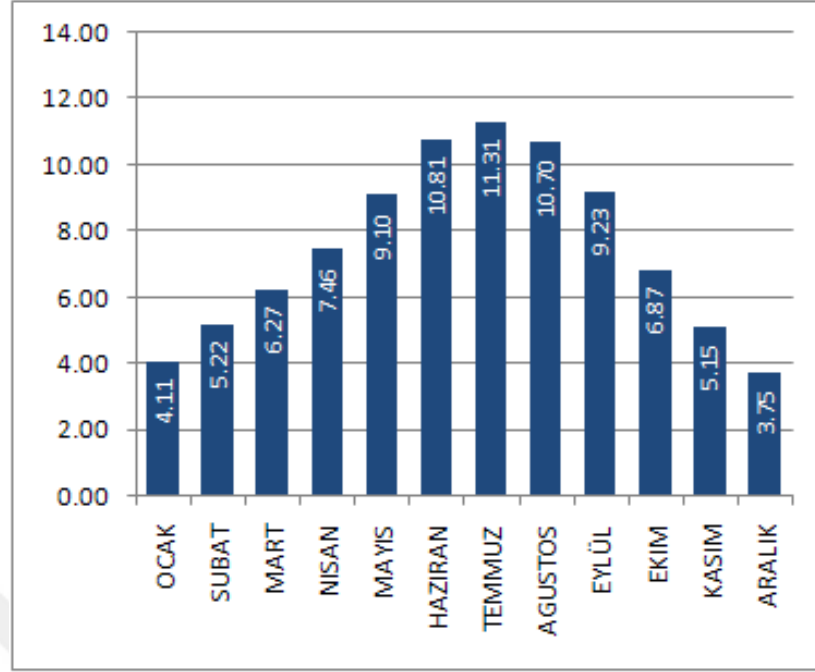
- *Dünyanın her yerinde bulunması,
- *Dışa bağımlı olmaması,

- *Güvenilir sistemler olması,
- *Hiç veya az bakım gerektirmesi,
- *Temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olması,
- *İlk yatırım maliyeti göz ardı edilirse ucuz bir kaynak olması,
- *Her tür krizden etkilememesi
- *Basit teknolojiyle bile faydalanılabilmesi,
- *Enerji nakli gerekmediğinden ihtiyaç duyulan yerlerde kolayca elde edilmesidir.

Güneş Enerjisi Kullanımında Yaşanan Olumsuzlukları işe şu şekilde sıralayabiliriz;

- *Kullanımı sıvı ve gaz yakıtlara göre kolay olmaması
- *Güneşin olmadığı durumlarda güneş enerjisi ile çalışan araçların çalışmaması,
- *Güneş enerjisinin yaygın olmasıdır.
- *Kesintili bir enerji kaynağı olduğundan, güneş enerjisinin depo edilmesi zorunluluğunu ortaya çıkmakta, Akümülatörler ile bu sorun çözülmeye çalışılmakta, fakat akümülatör maliyetlerinin yüksekliği enerji maliyetini artırdığından bu konuda fazla ilerleme olmamıştır,
- *Başlangıç yatırım maliyetinin yüksek olması,
- *Hava koşulları ve gün ışığı oranına göre performansında dalgalanmaların olması,
- *Santrallerin görüntü kirliliği oluşturması,
- *Çevrim verimlerinin düşüklüğü nedeniyle büyük alan gerektirmeleri
- *Güneş pilleri üretiminde kullanılan bazı malzemelerin toksin olma olasılığı
- *Güneş enerjisi tropikal ve tropikal-altı bölgelerde en fazladır. Oysa tüketim en çok ılıman ve soğuk iklime sahip kuzey ülkelerinde yaygındır (Adıyaman, 2012).

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) raporuna göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir

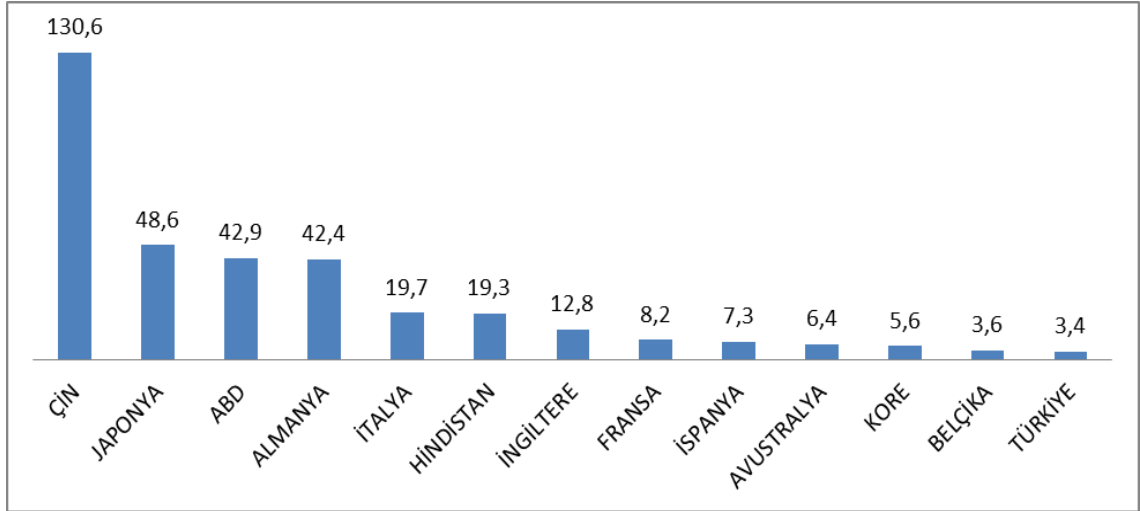


Şekil 2.7. Türkiye Güneşlenme Süreleri (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018)

Ülkemizde 2017 yılı sonu itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 20.000.000 m² ' ye ulaştığı ve 823.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi ürettiği belirlenmiştir. 2017 yılı sonu itibariyle, işletmede bulunan 3.421 MW'lık kurulu güce sahip 3.616 adet Güneş Enerji Santrali Türkiye toplam kurulu gücün yaklaşık %4'üne karşılık gelmektedir.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi 2017 yılında 2.684 GWh olarak gerçekleşmiş olup elektrik üretimimizin %0,91'i güneşten elde edilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Müdürlüğü, 2018)

Güneş Enerjisi Kurulu Güç sıralamasına göre Türkiye 3.421 MW ile 13 sırada yer almaktadır. Kurulu güç sıralaması il 13 ülke sırasıyla şu şekildedir; Sırasıyla Çin, Japonya, ABD, Almanya, İtalya, Hindistan, İngiltere, Fransa, İspanya, Avusturalya, Kore, Belçika ve Türkiye.



Şekil 2.8. Güneş Enerjisi Kurulu Gücü (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı , <http://solar.ist/irena-raporuna-gore-gunes-enerjisi-kurulu-gucunde-13-siraya-yukseldik/> [Ziyaret Tarihi: 11 Haziran 2018])

2.2.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, yüksek basınçla alçak basıncın bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır, hava hep yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eder. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar çok olursa, hava akım hızı o kadar çok olur. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en gelişmiş, ticari açıdan en uygunu ve çevre sorunlarına neden olmayan enerji türü rüzgâr enerjisidir.

Rüzgâr enerjisi çok eski yıllardan beri kullanılmaktadır. Çin’de M.Ö.200’de su pompalamasında ve basit yel değirmenlerinde kullanılırken, M.S. ise Afganistan ve İran çevresinde yel değirmenlerinin kullanıldığı kaynaklarda belirtilmiştir. 1894 yılında, İlk kez Danimarka’da Rüzgâr’dan elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Sanayide fosil yakıtlardan, petrol ve doğal gazın kullanımı yaygın olduğundan 1980’li yıllara gelinceye kadar rüzgâr enerjisinin kullanım alanı gelişmemiştir. 90’lı yıllarda ise çevre bilincinin ortaya çıkması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişiminin önü açılmıştır. Yenilenebilir enerjinin en önemli kaynaklarından biri de rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisinde çevreye yönelik olumsuz etkilerinin düşük olması hızlı gelişimin en önemli nedenlerindedir. Rüzgâr enerjisi elektrik üretim piyasası büyüdükçe büyük oranda maliyet düşüşü yaşanmaktadır (Adıyaman, 2012).

Rüzgâr enerji sistemleri; işletme, üretim ve bakım gibi alanlarda istihdam sağlamaktadır. Elektrik enerjisi üretimi sırasında doğaya salınan karbon miktarının

oldukça düşük seviyelerde olduğundan çevrenin daha temiz kalmasını sağlar ve küresel iklim değişikliklerini olumsuz etkilemez.

Yerli kaynak olduğundan dışa bağımlı değildir. Rüzgâr santrallerinin kurulduğu alanlarda, diğer alan kullanımında engel oluşturmadığından dolayı alanlar tarım, hayvancılık gibi, değişik alanlarda kullanılabilir. Rüzgâr enerjisi kullanımında yaşanan olumsuzluklar şu şekilde sırlanabilir; rüzgârın ne zaman eseceği belli olmadığından istenilen zamanda istenilen miktarsa enerji oluşturmak zordur. Buda arz talep dengesizliği oluşturabilir. Rüzgâr santrallerinin görüntü kirliliği oluşturmasının yanı sıra, radyo tv alıcılarının olumsuz etkilenmesi, gürültülü olması, radarlarda parazit oluşturması ve kuş ölümlerine neden olması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Radar ekranlarında uçak gibi görünüyormuş olması, geniş bir görüntü alanı oluşturularak yakında uçakların fark edilmemesine neden olabileceğinden, tehlike oluşturduğu belirtilmiştir. Türbinlerin kurulu alanlarındaki ulusal elektrik hatları toplama değil de dağıtım amaçlı olduğundan hatlar zayıftır, bundan dolayı üretilen elektriğin taşınması sorun olabilmektedir (Adıyaman, 2012).

Rüzgar enerjisi konusunda, ülkemize bakıldığında 2017 yılı sonu itibariyle 85.200 MW gücün, %7,6 sı rüzgar enerjisinden karşılanmakta olup toplam rüzgar enerji kurulu gücü 207 adet Rüzgar Enerjisi Santrali ile 6.516,2 MW dır. 2017 yılında toplam üretimin %6,06'sı rüzgâr enerjisi kaynaklı olup, 17.909 GWh elektrik üretilmiştir.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığınca hazırlanan rapora göre; Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7,5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında, orta-ölçekli sayısal hava tahmin modeli ve mikro-ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynak bilgilerinin verildiği Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1.30'una denk gelmektedir.

2.2.3. Hidroelektrik Enerjisi

Hidroelektrik santraller suyun enerjisinden faydalanarak, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle sağlanan bir enerji türüdür.

Su kütlesinin düşey bir mesafeden, düşürülmesi sonucu açığa çıkan enerji, türbinlerin dönmesini sağlamak ve jeneratörlerde elektrik enerjisi elde edilmektedir.

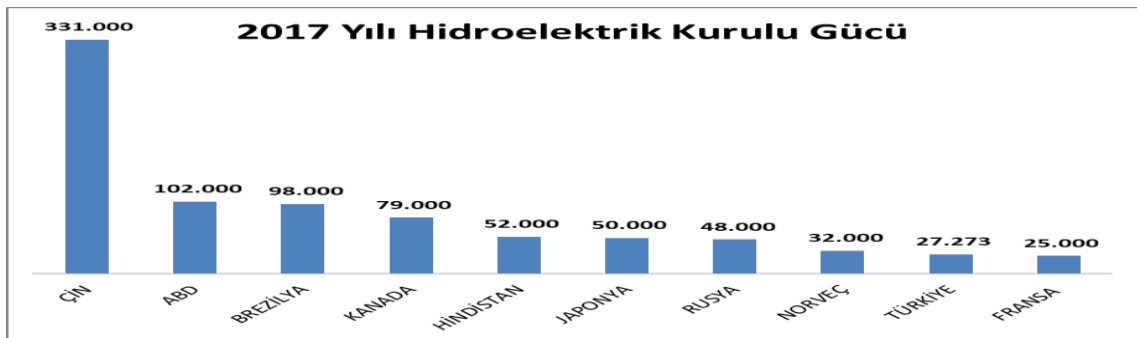
Santraller içme, kullanma veya sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır (Adıyaman, 2012).

2017 yılı sonu itibariyle, işletmede bulunan 27.273 MW'lık kurulu güce sahip 628 adet HES Türkiye toplam kurulu gücün yaklaşık %32'sine karşılık gelmektedir. Hidroelektrik üretimi 2017 yılında 58,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiş olup elektrik üretimimizin %19,8'i hidrolikten elde edilmiştir. Enerji kaynakları içinde düşük riskli ve çevre dostu olması sebebiyle tercih edilmektedir. Hidroelektrik enerji, çevre dostu, yakıt gideri olmayan, temiz, yüksek verimli, uzun ömürlü ve işletme gideri az, dışa bağımlı olmayan olan yenilebilir bir kaynaktır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018).

Uluslararası Hidroelektrik Enerjisi Kurumunun (IHA) “2017 Hidroelektrik Enerji Göstergeleri Raporu’na göre; Dünyada hidroelektrik enerji alanında kurulu kapasite geçen yıl bir önceki yıla göre 31 bin 500 megavat artarak 1 milyon 246 bin megavata ulaştı.

Hidroelektrik enerjideki kapasite artışında, güvenilir ve sürdürülebilir elektrik ihtiyacının artması ile gelişmiş ülkelerin çevre bilincinin artmasının da etkisiyle çevre dostu kaynakları tercih etmesi etkili olmuştur.

Geçen yıl hidroelektrik santrallerinde 4 bin 102 teravat saat elektrik üretildi. En fazla üretim, bin 497 teravatsaat ile Asya bölgesinde gerçekleşti. Asya’yı, 709 teravatsaat ile Güney Amerika ve 702 teravatsaat ile Kuzey Amerika ülkeleri izledi. Hidroelektrik enerjide en fazla kapasiteye sahip ülke 331 bin MW ile ÇİN, 102 bin MW ile ABD ikinci sırada yer almaktadır (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).



Şekil 2.9. 2017 Yılı Hidroelektrik Toplam Kurulu Gücü (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

Hidroelektrik santrallerin en önemli avantajı çevre üzerinde yok denecek kadar az etkilerinin olmasıdır. Santralin kurulacak yerinin iyi tespiti ve projenin çevreye uyumlu olarak tasarlanması önemlidir. Santralden enerji üretimi esnasında sera gazı etkisine neden olan gazların atmosfere yayılmasına neden olmazlar. Fosil yakıtların neden olduğu kirliliği önlemeye yardımcı olan temiz bir enerjidir. Sera gazı ve partikül emisyonları yoktur. Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür. Basit ekipmanlarla kurulu olmasından, plansız kesintiler nadir ve kısa süreli oluşmaktadır. Santrallerin ekonomik ömürleri diğer santrallere göre yüksek olup, elli ile iki yüz yıl arasında bir ömre sahiptirler. Dışa bağımlı olmayıp yerli kaynaklardır. Kurulduğu bölgede içme ve kullanma suyunun temini için de kullanışlıdır. İlk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve inşaa süresinin uzunluğu santrallerin olumsuz yönleridir. Akarsu yatağına bırakılacak su miktarının nasıl belirleneceği konusunun belirsiz olmasından kaynaklı, yerel olarak farklılıklar göstermektedir. Düzenli olarak akmakta olan nehirlerde, su yataklarında değişmesi, bazen de azalan su debisi nedeniyle bu bölgelerde yaşayan balıkların ölmesine sebep olabilmektedir (Adıyaman, 2012).

2.2.4. Jeotermal Enerjisi

Jeotermal enerji yerkabuğunun çeşitli derinliklerindeki yüksek sıcaklıkta su, gaz buhar veya sıcak kuru kayaların içerdiği, yerkabuğu içerisinde depolanmış bir ısıl enerjidir. Kar, yağmur, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli kayaç kütlelerini besleyerek oluşturdukları rezervuarlar, reenjeksiyon koşulları devam ettiği sürece yenilenebilir olma özelliklerini korurlar.

Kısa süreli olan atmosferik koşullardan etkilenmezler. Yerkürenin derinliklerindeki magma ve kayaçlardaki radyoaktiflikle oluşan sıcaklık, jeotermal enerji kaynağını oluşturmaktadır. Santrallerde sera gazı etkisine neden olan gazların salını çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji, ucuz, çevre dostu, yerli, temiz ve yenilenebilir bir enerjidir. Sıcak yer altı suları elektrik üretmek ve konutları ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Eski zamanlarda çanak çömlek, tekstil imalatı, konut ısıtılması gibi alanlarda yararlanılmıştır (Basar, 2011).

2017 yılı sonu itibariyle, işletmede bulunan 1.064 MW'lık kurulu güce sahip 40 adet Jeotermal Enerji Santrali Türkiye toplam kurulu gücün yaklaşık %1,2'sine karşılık gelmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi 2017 yılında 5.970 GWh olarak gerçekleşmiş olup elektrik üretimimizin %2,02'si jeotermal kaynaklardan elde edilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018).

Sera ve binaların ısıtılması, yiyecek kurutulması, kâğıt ve dokuma sanayisinde, kerestecilik, dericilikte, soğutma tesislerinde kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır. Dünyanın birçok yerinde jeotermal kaynaklar mevcuttur. Jeotermal enerji kullanımı ile birlikte, fosil yakıtlarının kullanımının azalması ve bunların tüketiminden doğan, sera etkisi ve asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Çevreye herhangi bir zararı olmaması için jeotermal enerjinin uygun kullanım şekli ile kullanılması gerekmektedir (Basar, 2011).

- Yenilenebilir tükenmez, verimli bir enerji olması,
- Kurulum maliyeti yüksek olsa da İşletme ve arama maliyetleri düşüktür,
- Ülkemizde yaygın olarak bulunmaktadır,
- Elde edilen elektrik birim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına göre daha ucuzdur.

- İleri teknoloji gerekmez,
- Politik ve teknolojik olarak dışa bağımlı değildir, krizlerden etkilenmez,
- Jeotermal enerji, yüksek teknoloji gerektirmeyen yerli bir enerji kaynağıdır.
- Kısa süreli hava olaylarından etkilenmez,

Jeotermal enerjinin çevre dostu bir kaynak olarak tanımlanmasının yanı sıra, jeotermal akışkanın çürümeye, paslanmaya, kireçlenmeye neden olması, içerdiği bor yüzünden atılacağı yüzey sularını kirletmesi su ve toprak kirliliğine neden olmaktadır.

Çevre dostu jeotermal enerji için önlemler alınmalıdır. Sıcaklı gürültü gibi olumsuz etkilerinin yanı sıra sıvı içinde bulunan cıva, arsenik gibi kimyasal maddeler çevre sorunlarına neden olmaktadır.

Ayrıca tüketilen suların suyun yeraltı su tabakasından çekilmesinden kaynaklı, yüzeyin su tutma kapasitesini olumsuz etkilenmekte ve su tabakasının da daha derin düzeye inmesine yol açmaktadır. Jeotermal enerji uzak mesafelere taşınamaz olup, enerji kaynağının yerinde kullanılması gerekmektedir.

2.2.5. Biokütle Enerjisi

Sürdürülebilir, çevre dostu enerji kaynaklarından biride biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi kesintisiz enerji sağlayan bir enerji kaynağıdır, güneş ve rüzgâr gibi kesintili değildir. Biokütleden, çok eski çağlardan beri yararlanılmaktadır, ateşin bulunmasından sonra yemek yapmak ve ısınmak için biyokütle kaynakları kullanılmıştır. Güneş enerjisinin bitkiler tarafından dönüştürülmüş şekli olarak tanımlanabilir, biyokütle enerjisi. Farklı bir ifade ile fotosentez olayı ile kimyasal olarak depo edilen enerjinin daha sonra farklı şekillerde kullanılması olarak ifade edilebilir. Ağaçlar, mısır gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi tüm organik atıklar, hayvan dışkıları ve sanayi atıkları biyokütle örnekleridir (Adıyaman, 2012).

2017 yılı sonu itibariyle, işletmede bulunan 634,2 MW'lık kurulu güce sahip 122 adet Yenilenebilir Atık Enerji Santrali Türkiye toplam kurulu gücün yaklaşık %0,7'sine karşılık gelmektedir. Biyokütle kaynaklı elektrik üretimi 2017 yılı sonunda 2.796,6 GWh olarak gerçekleşmiş olup elektrik üretimimizin %0,95'i biyokütle kaynaklarından elde edilmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, 2018).

Biyokütle enerjisini, iki grupta ele almak mümkündür. Bunlardan birincisi ormanlardan elde edilen yakacak odun, bitki ve hayvan atıklarıdır. İkincisi ise; , kentsel atıklar, orman-ağaç endüstrisi atıklar, tarıma dayalı endüstri atıklarının gazlaştırma ve fermantasyon gibi modern tekniklerle işlenmesi sonucu elektrik, ısı, sıvı ve gaz yakıt olarak değerlendirilmesidir. Biyokütlenin elektrik enerjisi üretimi, termik santrallere benzer şekilde, organik maddelerin doğrudan yakılıp oluşan ısıdan yararlanılarak elektrik üretilmesi şeklinde olmaktadır.

Farklı tekniklerle biyokütleden elde edilen biyogazın kullanımıyla kombine çevrim gaz santrallerine benzer bir sistemle de elektrik üretilebilmektedir.

Kentsel atıklardan, bu atıkların çürümesi sonucu ortaya çıkan biyogaz olan metan gazının kullanımı ile çöp termik santralleri çalıştırılmakta, böylelikle hem atıkların depolama sorunu ortadan kalkmakta hem de çöpden enerji üretimi gerçekleşmektedir. Biyokütle üretiminde atık maddeler kullanıldığından atıkların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmiş olmaktadır. Fosil yakıtların yerine kullanılması, sera gazları emisyonunda azalma sağlamaktadır (Adıyaman, 2012).

Genel olarak biyokütle enerjisi kullanımı; fosil yakıt kullanımını azaltması, çevrenin korunması, enerji tarımının gelişmesi gibi avantajlar sağlamakla birlikte çöplerin görsel çevre kirliliğini de ortadan kaldırmaktadır.

2.2.6. Gel-git ve Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, rüzgârın deniz ve okyanus yüzeylerindeki hareketi sonucunda oluşan dalgalanma hareketinden elde edilen enerjidir. Rüzgârların oluşturdukları sürtünmeler neticesinde ortaya çıkan dalgalar, deniz yüzeyinin rastgele aşağı ve yukarı ya hareket etmesine neden olur. Dalgalar açısından zengin olan kıyılara ve açık denizlere santraller kurularak dalga enerjisi elde edilir. Bu santraller yüzeye kurulabildiği gibi deniz tabanına da kurulabilmektedir. Dalga enerjisinde, elektrik üretimi, dalgaların su türbinini çevirmesi ile elde edilmektedir. Dalga enerjisi, tükenmez, çevreyi kirliletmeyen ve temiz bir enerji kaynağıdır. Elektrik üretilebildiği gibi batarya şarjı, hidrojen üretimi gibi depolama işlemleri yapılarak da bu enerjiden kesintisiz faydalanılabilir (Adıyaman, 2012).

- Rüzgâr estiği sürece dalgalar, dünya ile ay arasındaki kütle çekim kuvveti var olduğu sürece gel-git enerjisi kaynaklarıdır.
- Yakıt maliyetleri olmayıp, ömürleri uzundur. İlk yatırımın maliyeti göz ardı edilirse, başka önemli bir gideri yoktur.
- Deniz üstüne kurulduğundan tarım alanlarına zarar vermez.
- Yerel ve yenilenebilir bir kaynak olduğundan dışa bağımlı değildir, oluşan krizlerden etkilenmez,

Olumsuz etkileri ise şu şekildedir; Günün her saatinde dalga oluşmadığı için kesintilidir, yatırım maliyeti diğer alternatif kaynaklardan yüksektir (Adıyaman, 2012).

2.2.7. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen elementi de doğada tek başına bulunmaz, fosil yakıtlarda, suda oksijenle karbon ve diğer elementlerde birleşik halde bulunmaktadır. Hidrojen ayrıştırıldığında enerji olarak kullanılabilir ancak bu ayrıştırma işlemi maliyetli bir işlemdir.

Bu şartlarda hidrojen enerjisinin maliyetinin diğer yakıtlardan pahalı olduğu ve yaygın bir enerji kullanımının hidrojen üretiminde maliyet düşürücü teknolojik gelişmelere bağlı olacağını göstermektedir.

Elektrik enerjisinin fazlasının hidrojen olarak depolanması alternatif olarak değerlendirilebilir ancak depolanan enerjinin yaygın olarak kullanılabilmesi yakıt pili teknolojilerinin geliştirilmesine bağlıdır. Fosil yakıtların kullanılması çevreye olumsuz etkileri ve tükenbilir kaynaklar olduğundan dolayı, hidrojen enerjisi gelecekteki iyi alternatif kaynaklardan biri olacaktır.

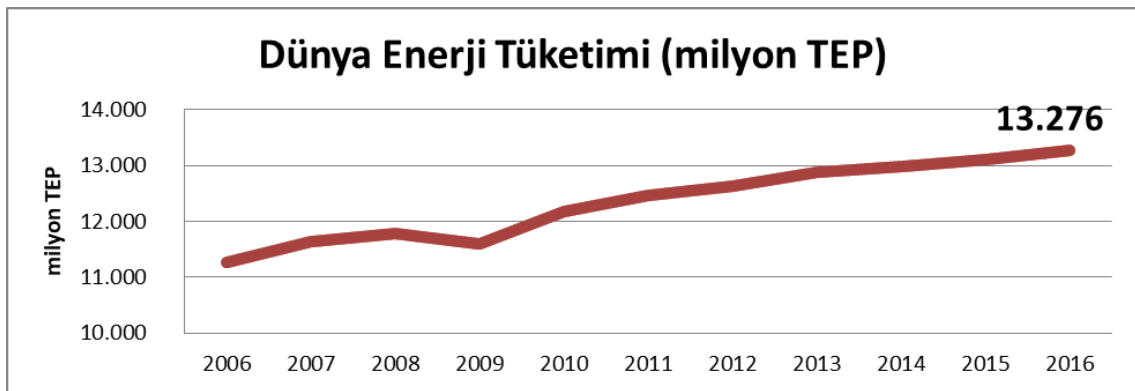
Karbon içermediği için fosil yakıtlar gibi çevreye olumsuz etkiler bulunmamaktadır. Elektrik üretiminde kullanıldığı gibi birçok alanda kullanılan bir yakıttır. Enerji verimi oldukça yüksektir, deponabilir ve güvenlidir. Diğer enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisi de hidrojen olarak depolanabilir olması da, bu kaynakların gelişmesi içinde önem taşımaktadır.

Hidrojen, diğer enerji kaynaklarına göre oldukça pahalı olması dezavantajları arasındadır bu yüzden maliyet noktasında elektrik üretiminde, motorlu taşıtlarda, mobil kullanılabilmesi daha ekonomik seviyelere gelmesi gerekmektedir. Hidrojen eğer alevli yanma işlemiyle kullanılmak istenirse, küresel ısınmaya neden olan gazlardan biri açığa çıkmaktadır. Ayrıca hidrojen elde edilirken su dışında başka bir kaynak kullanılması çevreye zararlı olabilir.

3. DÜNYADA VE TÜRKİYEDE ENERJİ DURUMU

3.1. Dünyada Enerji Durumu

Dünya Nüfusunun artışı, kentsel gelişim ve sanayileşme gibi faktörlerle birlikte enerji tüketimi gün gün artmaktadır. BP 2017 yılı raporuna göre 2006 yılı dünya toplam enerji tüketimi 11 milyar 266 milyon TEP iken 2015 yılında 13 milyar 105 milyon, 2016 yılında ise dünya toplam enerji tüketimi 13 milyar 276 milyon TEP (154.372.093 MW) tir (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).



Şekil 10. Dünya Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

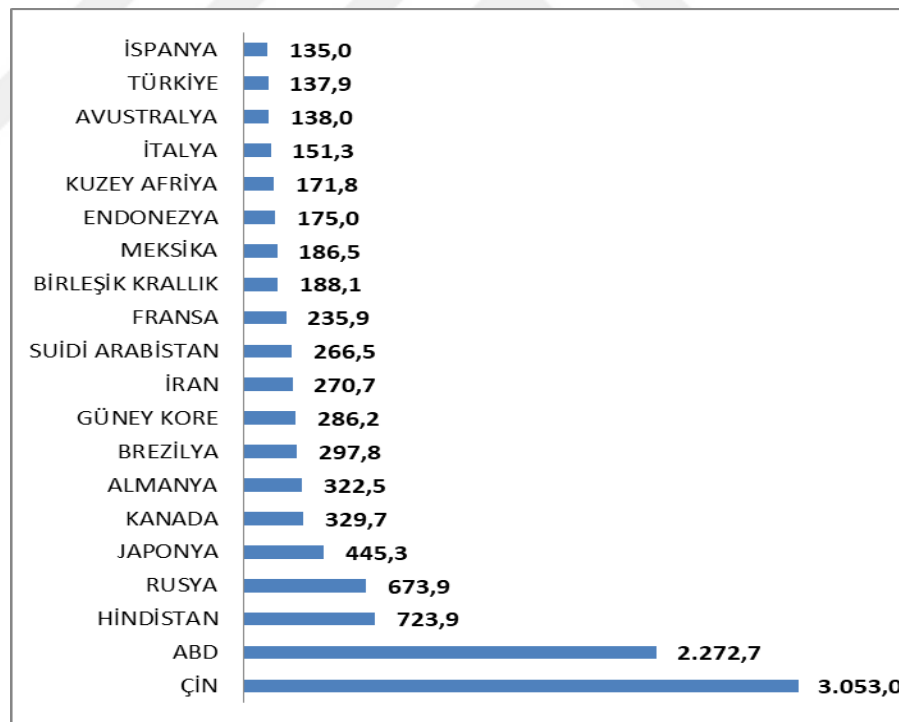
BP 2017 yılı raporuna göre; Dünya enerji tüketimine bakıldığında 2016 yılı sonu itibariyle %33,3'lük bir oranla petrol ilk sırada yer almaktadır. Yüksek ısı değer taşıması, kolay taşınabilir ve depolanabilir olması petrolün ilk sırada yer almasında etkili olmuştur. Petrol tüketimi en fazla %19,3'lük oranla ABD de tüketilmektedir. Petrol tüketiminde 863,1 milyon TEP ile ABD birinci sırada olup tüketiminin %38 ini petrol enerjisinde karşılamaktadır.

Çin ise 578,7 milyon TEP ile ikinci sırada yer almakta ve enerji tüketiminin %19'unu Petrol ile karşılamaktadır. İkinci sırada %28,1'lik bir oranla kömür yer almaktadır, özellikle maliyetinden dolayı 2000'li yılların başlarından itibaren yüksek hacimlerde kullanılmaya başlamasına rağmen şuan karbon salınımından ötürü doğaya ciddi derecede zarar vermektedir. Bu sebeple daha az karbon salınımı ile daha verimli ve sürdürülebilir enerji için çalışılmaktadır.

Son dönemlerde gelişen çevre bilincinin gelişmesi, yenilenebilir enerji alanına yapılan yatırımların artması ile birlikte ilerleyen dönemlerde kömüre olan talebin düşeceği beklenmektedir (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

BP 2016 yılı verilerine bakıldığında dünya enerji tüketiminde ilk sırada nüfusu hızla artan 3 milyar 53 milyon TEP'lik tüketimi ile Çin yer almaktadır. İkinci sırada 2 milyar 273 milyon TEP ile ABD sonra sırasıyla Hindistan, Rusya, Japonya bulunmaktadır. Türkiye ise 137,9 milyon TEP tüketim ile toplam enerji tüketiminin %1'lik kısmı ile 19. Sırada yer almaktadır.

Toplam enerji tüketiminin %40'lık kısmını %23 ile Çin ve %17 oranla Amerika oluşturmak sonrasında sırasıyla %5,4 ile Hindistan, %5,1 Rusya ve % 3,4 Japonya izlemektedir. Çin'de, nüfusla beraber ülkenin kalkınma seviyesi artsa da tüketiminin büyük kısmını %61,8 oranla kömürden sağlanmaktadır, bu sebeple hava kirliliği ve buna bağlı olarak hastalıklarda artış göstermiştir (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).



Şekil 11. Dünya Enerji Tüketiminde İlk 20 Ülke (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

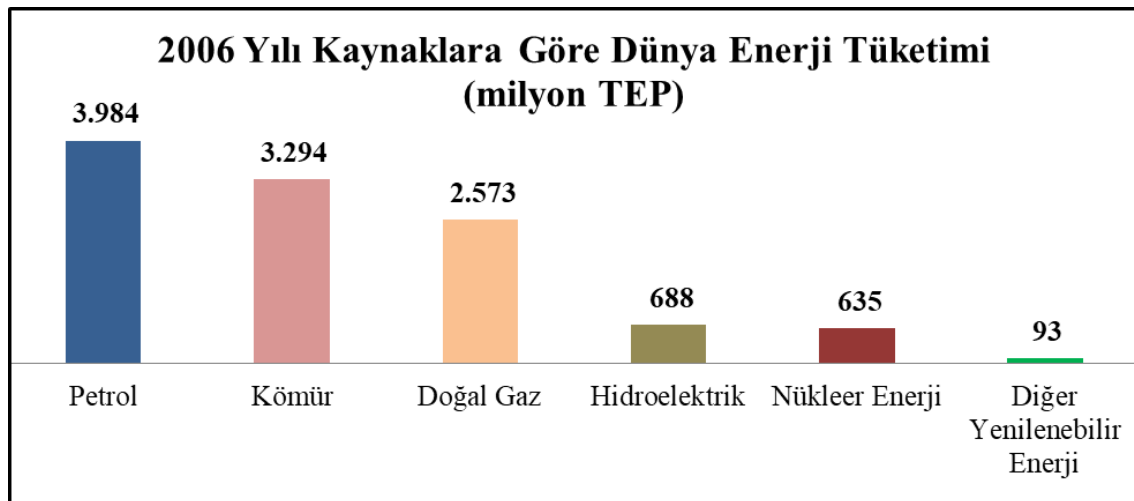
Bu nedenle Çin, temiz enerjiye geçmek üzere yeni bir döneme girmektedir. Çin'deki bu önemli gelişme ile birlikte düşük karbon salımlı doğalgaza olan talebinin artması beklenmektedir (World Energy Outlook, 2017)

Çevre kirliliğinin oluşturduğu zararında azaltılmaya çalışılması için oluşan çevre bilinciyle, karbon salınımı daha az olan doğalgaz %24 oranla üçüncü sırada yer almaktadır.

BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu verilerine göre; Doğalgaz kullanımında ABD 716,3 milyon TEP birinci sırada iken Rusya 351,8 milyon TEP ile ikinci sırada yer almaktadır. Birçok alanda kolaylıkla kullanılabilir olması doğalgazın önemini giderek arttırmaktadır, yemek pişirme, ısınma ve petro-kimya sanayinde kullanım alanı bulunmaktadır.

Dünya enerji tüketiminde dördüncü sırada %7 ile hidroelektrik enerjisi bulunmaktadır. Bu enerjinin büyük kısmı dünyada baraj yapımı konusunda büyük yatırımlar yapmış, 15 nükleer reaktör gücündeki dünyanın en büyük barajı olan Üç Geçit Barajı'nı yaptırmış olan Çin'de tüketilmektedir. Hidroelektrik enerjisinin %28,9 unu 263,1 milyon TEP ile Çin de tüketilmektedir. Nükleer enerji dünya enerji tüketiminde 592,10 milyon TEP ile %4,5'lik oranla beşinci sırada bulunmaktadır. 191,8 milyon TEP ile %32'lik kısmı ABD de tüketilmektedir. Son sırada ise dünya enerji tüketiminin %3,2'lik kısmını karşılayan yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

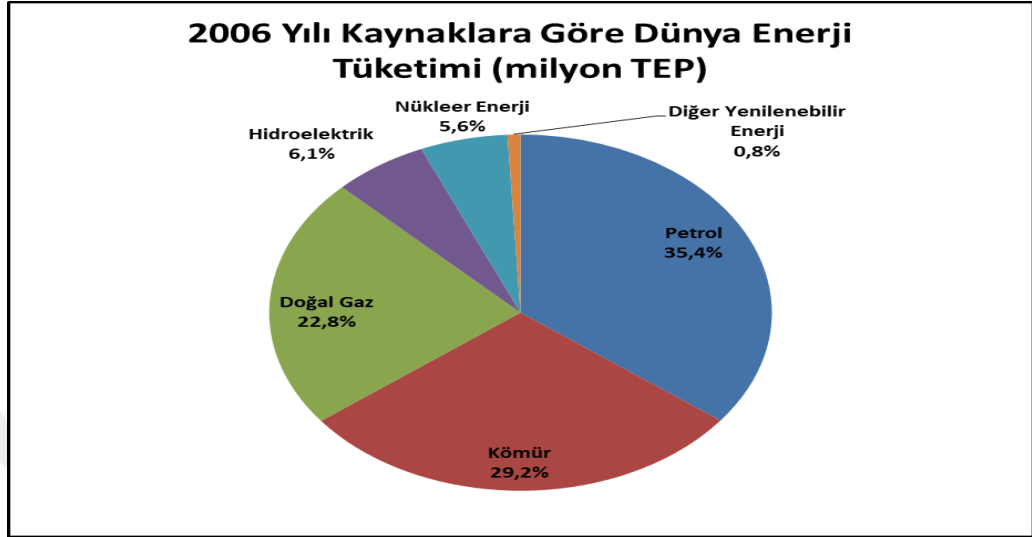
2016 yılı sonu itibariyle 86,1 milyon TEP tüketim ile Çin ilk sırada yer almakta, 83,8 milyon TEP tüketim ile ABD takip etmektedir.



Şekil 12. Kaynaklara Göre Dünya Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

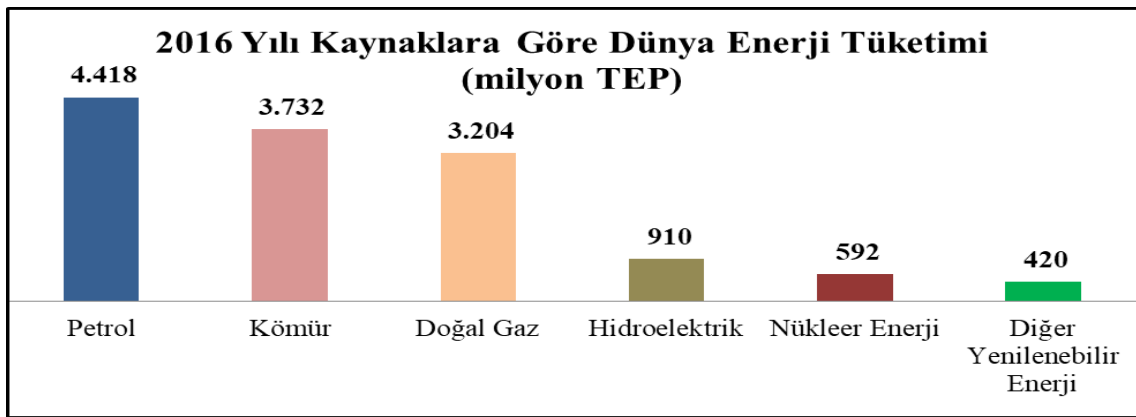
2006 Yılına bakıldığında da dünya toplam enerji tüketiminin %35,4 oranla Petrol Tüketimi yine ilk sırada yer almaktadır.

%29,2 oranla Kömür, %22,8 oranla Doğalgaz , %6,1 hidroelektrik ,%5,6 oranla nükleer enerji ve son sırada da %0,8 oranla diğer yenilenebilir kaynaklar yer almaktadır.

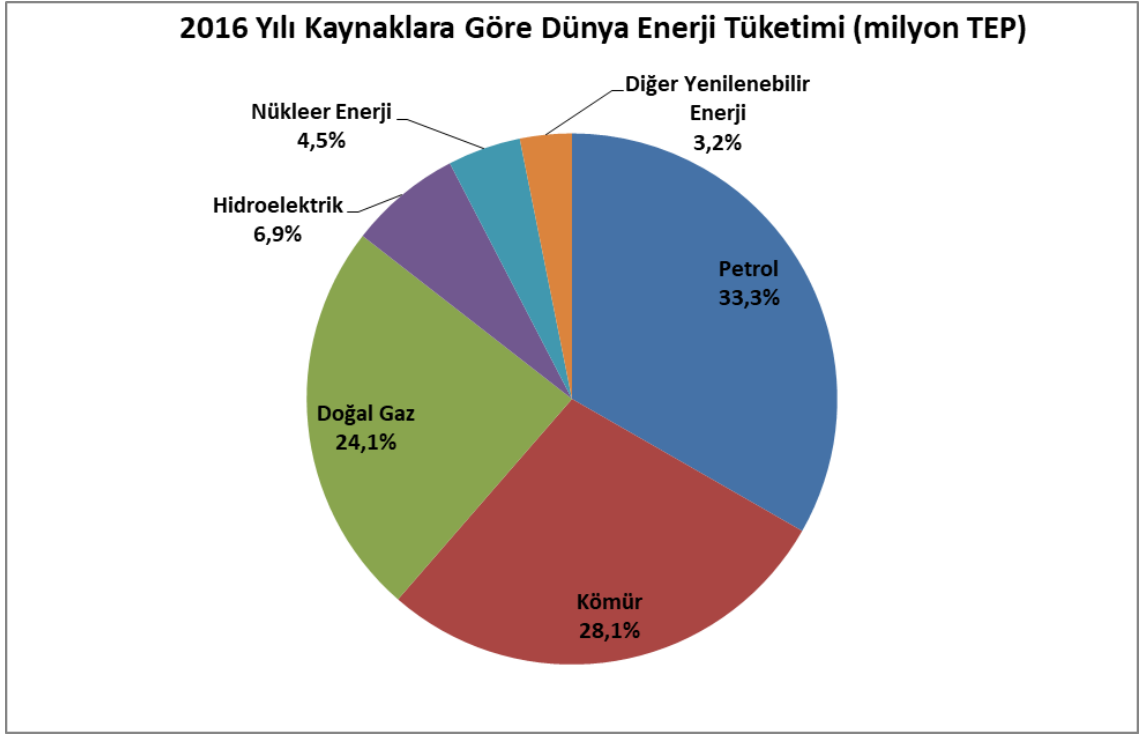


Şekil 13. Kaynaklara Göre Dünya Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

2016 Yılında dünya toplam enerji tüketiminin %33,3 oranla Petrol Tüketimi ilk sırada yer almaktadır. İkinci sırada %28,1 oranla Kömür, üçüncü sırada %24,1 oranla Doğalgaz, dördüncü sırada %6,9 hidroelektrik, beşinci sırada %4,5 oranla nükleer enerji ve son sırada da %3,2 oranla diğer yenilenebilir kaynaklar yer almaktadır.



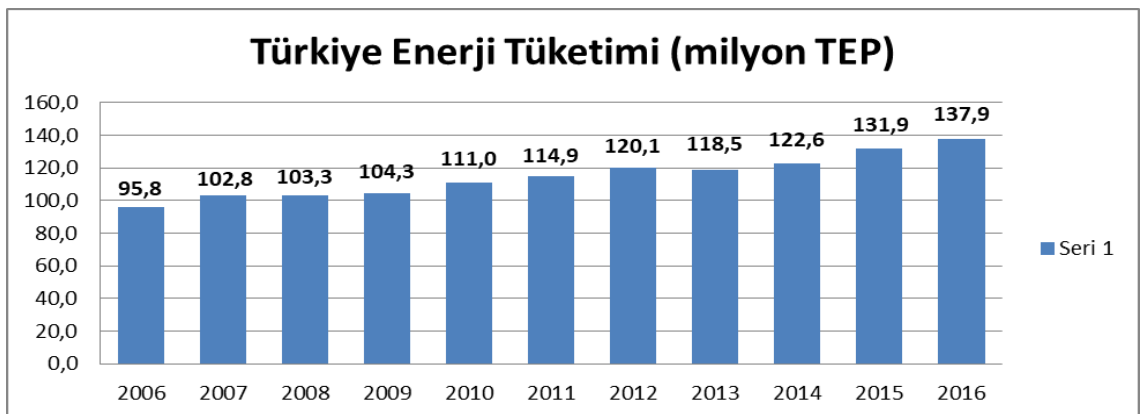
Şekil 14. Kaynaklara Göre Dünya Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).



Şekil 15. Kaynaklara Göre Dünya Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

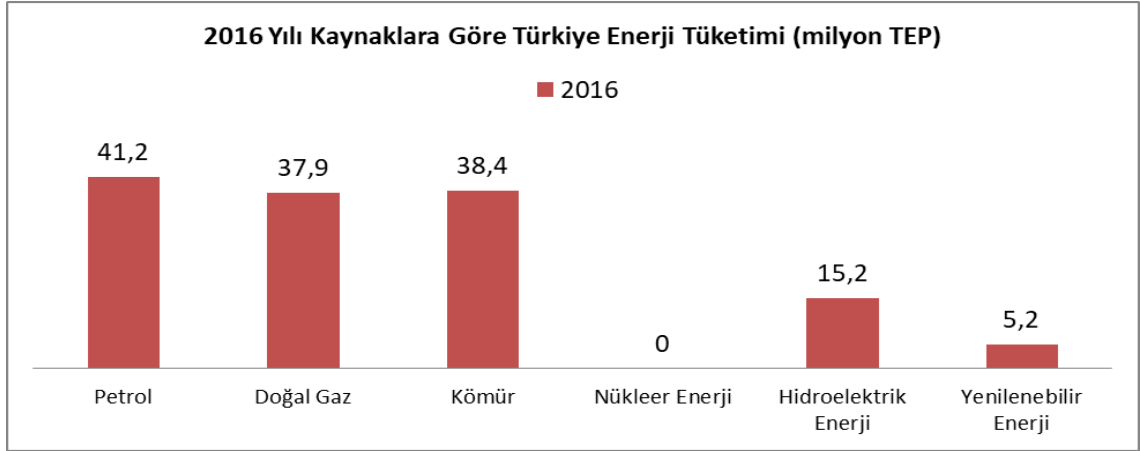
3.2. Türkiye’de Enerji Durumu

Ülkemizin gün geçtikçe her alanda yaşanan gelişmelerle enerji ihtiyacı da gün geçtikçe artarak devam etmektedir. 2006 yılında enerji tüketimi 95,8 milyon TEP iken 2015 yılında 131,9 milyon TEP, 2016 yılında ise 137,9 milyon TEP olmuştur (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).



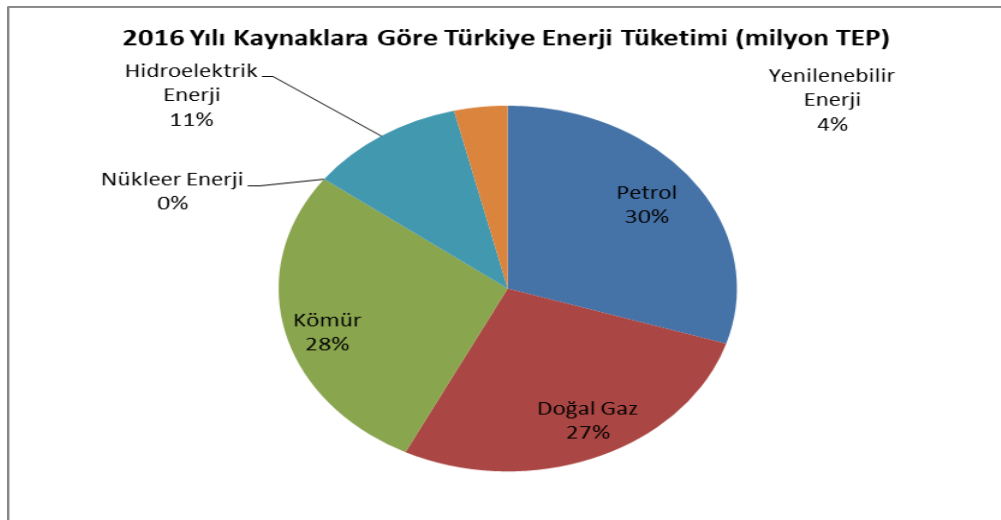
Şekil 16. Türkiye Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

2016 yılında 137,9 milyon TEP enerji tüketimi ile dünya tüketiminin %1'ini oluşturmaktadır.



Şekil 17. 2016 Yılı Kaynaklara Göre Türkiye Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

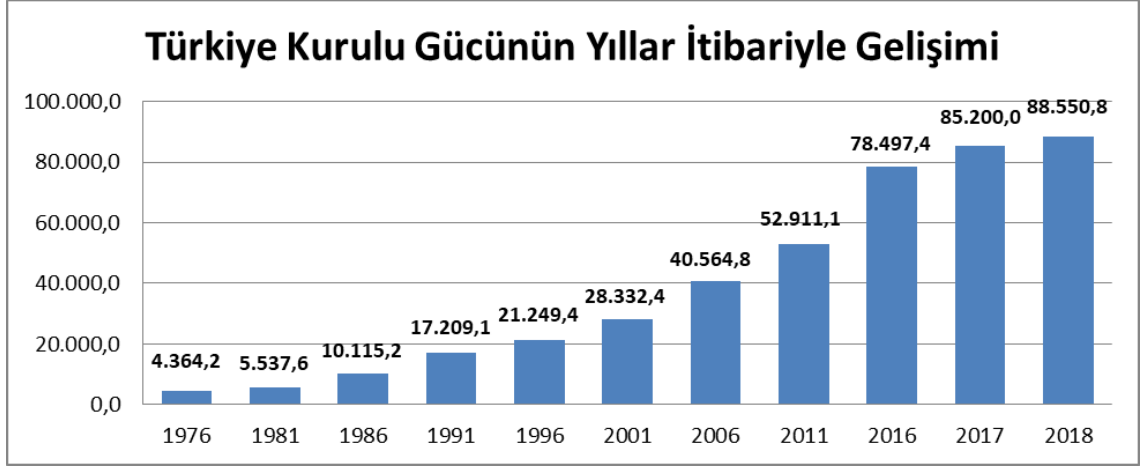
Toplam tüketimin %30'u 41,2 milyon TEP ile Petrolden , %28 i 37,9 milyon TEP ile doğalgazdan, 38,4 milyon TEP ile kömürden %12'i 15,2 milyon TEP ile hidroelektrik enerjiden karşılanırken %4,5, 2 milyon TEP ile yenilenebilir enerjiden karşılanmıştır (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).



Şekil 18. 2016 Yılı Kaynaklara Göre Türkiye Enerji Tüketimi (BP Dünya Enerji İstatistik Görünüm Raporu, 2017).

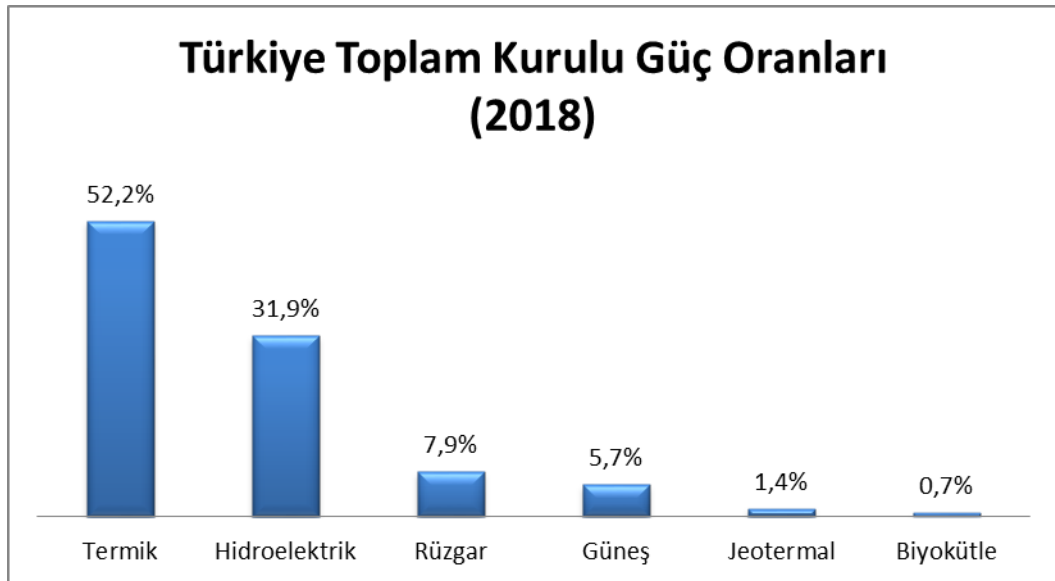
Artan enerji talebini karşılamak için yıllar geliştikçe enerji üretimi de aynı şekilde artış göstermektedir.

1976 yıllarında 4.364,2 MW olan kurulu gücümüz 2016 yılına bakıldığında 78.497,4 MW, 2017 yılında 85.200 MW a ulaşmıştır. 2018 yılına gelindiğinde ise; 3.350,8 MW artış ile kurulu güç 88.550,8 MW a ulaşmıştır.



Şekil 19. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi (TEİAŞ, 2018)

Kurulu gücün %52,2 i Termik , %31,9 si Hidroelektrik , %7,9 si Rüzgar , %5,7 Güneş enerjisi ve %1,4 si Jeotermal enerjisi ve %0,7 i Biyokütle enerjisinden oluşturmaktadır.



Şekil 20. 2018 Yılı Kaynaklara Göre Türkiye Kurulu Gücü Oranları (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Müdürlüğü, 2018).

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karar analizleri, çoğunlukla en çok tercih edilen veya en iyi alternatifin seçimine yardımcı olmak için kullanırken çok kriterli karar verme (ÇKKV) ise, bütüncül yaklaşımı daha iyi anlamak için karar vericiler tarafından, gerekli bilgileri düzenleyen bir araçtır olmuştur. Enerji kaynak planlama problemleri, çok fazla alternatifin, kriterin ve karar vericinin olduğu karmaşık problemlerdir.

Bu yüzden bu problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Karar verme süreci, çoğunlukla birbirleriyle çelişen kriterlere dayalı alternatifler arasında hiyerarşik kıyaslamalardan elde edilen seçeneklerden oluşur.

Karar verme sürecinin çözümlenmesinde çok sayıda değişken rol oynar. Bunlar, çevresel etkiler, fayda maliyet analizi gibi değişkenler sayısal modeller tarafından ele alınabilir. Diğer değişkenler ise siyasi güçlükler, sosyal ve kültürel değişkenler niteliksel şekilde veya öznel yargı ile değerlendirilebilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları seçimi sürecine ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarında matematiksel modeller çok kriterli karar verme teknikleri gibi yöntemler kullanılmıştır. Nicel ve nitel kriterlerin aynı anda sisteme dâhil edilememeleri, uzman görüşlerini dikkate alamamaları ve uygulama aşamasında karşılaşılan zorluklardan dolayı matematiksel modeller yaygın olarak kullanılmamaktadır. Birçok karar verme probleminde birden çok nitel ve nicel kriter ve alternatifler söz konusu olduğundan problem çözümünden bunların hepsini bir arada değerlendirebilmek için en uygun yöntemlerin çok kriterli karar verme teknikleri olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bazı çalışmalarda ise enerji alternatiflerinin seçiminde birçok kriterin eş zamanlı değerlendirilmesi gerekli olduğu belirtilmiş, aynı zamanda da seçimin kişiler tarafından yapılacak olması, belirsizlik ve sübjektiflik içerdiği, bu belirsizliklerin de matematiksel karar sistemine uydurmanın bulanık kümeler ile mümkün olduğu düşüncesiyle, seçim yapılırken Bulanık analitik hiyerarşi süreç (BAHP) yöntemi kullanılmıştır.

Tez çalışmasında da yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimi çok fazla alternatifin, kriterin ve karar vericinin olduğu karmaşık problemlerdir. AHP ve AŞP yöntemlerinde amaç, alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu karmaşık karar sürecinde, sürecin kontrol altında tutularak, sonuçların kolay elde edilmesidir.

Yapılan literatür çalışmalarında enerji alternatif seçim problemlerin çözümünde ağırlıklı olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve BAHP yöntemiyle çözülmüştür.

Bu tez çalışmasında enerji alternatif seçim probleminde En İyi-En Kötü (Best Worst Method) Yöntemi kullanılması amaçlanmakta ve bu problem tipinde farklı yöntem kullanılarak çözüm yapılmasıyla da literatüre bu şekilde katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Amaç çok kriterli karar verme yöntemlerinden En İyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method) kullanarak karar vermede yardımcı olacak farklı bir yöntem çözümü sunmaktır. Uzman görüşleri ve anket ile değerlendirmeleri alınarak, literatür incelemeleri ile alternatif ve kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriter ağırlıkları kullanılarak yenilenebilir enerji alternatif sıralanması yapılması amaçlanmaktadır.

Çizelge 4.1. Literatür Taraması

YIL	YAZAR	YÖNTEM	SONUÇ
1999	Akash, Mamlook, Mohsen	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	En iyi elektrik üretim sisteminin güneş enerji santralleri olduğu sonucu ortaya çıkmıştır ve bu sonucu sırasıyla rüzgâr ve hidroelektrik santralleri izlerken, en kötü seçenek olarakta yine sırasıyla Nükleer elektrik ve fosil yakıt elektrik gücü olmuştur.
2003	Topcu ,Ulengin	PROMETHEE	Yenilenebilir enerjinin çoğu formları, bir yerden diğerine büyük ölçüde değişen coğrafi ve çevresel faktörlere bağlı olduğundan her ülkenin kendi politikalarını coğrafi ve politik koşullarına uygun olarak planlaması gerektiği belirtilmiştir.
2003	Kabir, Shihan	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	Teknolojik sınırlamalara rağmen güneş enerjisinin en iyi alternatif olduğunu ve bu enerji kaynağını biyogaz ve rüzgârın takip ettiğini sonucu bulunmuştur.
2004	Nigim,Munier,Green	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) , SİMUS	Yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının ön fizibilite sıralamasında çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanıma sunmuşlardır. İlk olarak AHP yöntemi kullanılmıştır, ardından kentsel sürdürülebilirlik için sıralı interaktif modele başvurulmuştur. Bu çalışmada iki çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. İlk yöntem analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve ikincisi kentsel sürdürülebilirlik için sıralı interaktif modeldir (SIMUS).Her iki çok kriterli karar aracının da etkili olduğu ve karar alma süreçlerine destek vermelerini sağlayan şeffaf ve bilimsel prosedürlerde grup karar alma sürecini kolaylaştırdığı kanıtlanmıştır.
2007	Köne, Büke	Analitik Ağ Prosesi (ANP)	Çalışma Modelinin tüm alternatif senaryoları için, en yüksek değer bulan alternatifi hidroelektriktir. Modelin sonuçları, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için kurulu kapasitede yenilenebilir yakıtların payının artırılması gerektiğini göstermektedir.
2007	Önüt, Tuzkaya, Saadet	Analitik Ağ Prosesi (ANP)	Yapılan çalışma sonucunda endüstri sektörü için en iyi enerji alternatifinin fosil yakıtlar olduğu sonucuna varmışlardır.
2008	Tsoutsos,Drandaki,Frantzeskaki,Kiossesa Losifidis,Kiossesa	Çok kriterli karar verme yöntemi	Çalışmada adaya yenilenebilir enerji kaynaklarının yerleştirilmesi uygulaması benimsenmiş ve enerji planlama arenasındaki aktörler tarafından belirlenen ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel kriterlere göre değerlendirilmiştir.
2009	Kahraman, Kaya, Cebi	Bulanık Aksiyomatik Tasarımı (FAD) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi(BAHP)	Değerlendirme sonucunda en uygun yenilenebilir enerji alternatifi rüzgar enerjisi olmuştur.
2009	Atıcı, Ulucan	ELECTRE ve PROMETHEE	Çalışmada ELECTRE ve PROMETHEE teknikleri, hidroelektrik santral projelerinin ve rüzgâr santral projelerinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Literatür Taraması

YIL	YAZAR	YÖNTEM	SONUÇ
2010	Wang,Kocaoglu, Daim,Yang	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	Sonuçlar, kömürün hala en çok tercih edilen enerji alternatifi olmasına rağmen, yenilenebilir enerji ile yakından takip edildiğini göstermektedir.
2011	Amer, Daim	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	Karar modelinde alternatif olarak rüzgar enerjisi, güneş fotovoltaik, güneş termal ve biyokütle enerjileri olarak sıralanmıştır.
2013	Ayan, Pabuççu	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	Analiz sonucunda; sırası ile hidroelektrik, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal enerji ve son olarak da güneş enerjisi yatırımlarının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda ekonomik faktörler, enerji ile ilgili faktörler, çevresel faktörler ve kurumsal faktörler etkili olmuştur.
2013	Erdoğan	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve TOPSIS	Değerlendirme sonucunda da ilk sırada kullanılması gereken enerji kaynağı alternatifi rüzgâr enerjisi olmuştur.
2016	Sağır, Doğanalp	Bulanık TOPSIS	Enerji kaynakları alternatiflerinin sıralaması, yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer enerji kaynakları ve fosil enerji kaynakları olarak belirlenmiştir.
2017	Kargı, Aydın	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)	Değerlendirme sonucunda en uygun yenilenebilir enerji kaynaklarının hidroelektrik enerji ve rüzgâr enerjisi olmuştur.
2017	Özcan, Ünlüsoy, Eren	Analitik Ağ Prosesi (ANP) ve TOPSIS	Bu çalışma sonucunda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji yatırımlarını sırasıyla rüzgar, hidroelektrik, biokütle, jeotermal ve güneş santrallerine yapması gerektiği tespit edilmiştir.
2017	Madhuri, Yadav, Hiwarkar	Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	Bu çalışmada güneş enerjisi, biyokütle ve rüzgâr olmak üzere üç yenilenebilir enerji ele alınmıştır. Güneş Enerjisi en iyi Enerji alternatifi olarak dile getirilmiştir.
2018	Işıldar	TOPSIS, PROMETHEE En İyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method)	Bu çalışmada, Ankara ilinde katı atık bertaraf etme yöntemi seçim problemi için çalışma yapılmıştır. Katı atık bertaraf teknolojisi seçimi problemi için anket değerlendirmesi sonucu karar vericiler on beş kriter ve sekiz alternatif belirlenmiştir. Problemin çözümü için öncelikle literatürde problemin çözümünde sıklıkla tercih edilen TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Üçüncü yöntem olarak, literatürde bu problem için henüz uygulanmamış bir yöntemi olan En İyi-En Kötü Metodu (Best Worst Method) ile çözüm önerilmiştir. Üç yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında;

Akash, Mamlook, Mohsen (1999), Ürdün'de faaliyet gösteren farklı elektrik enerjisi üretim seçenekleri arasında bir karşılaştırma yapmak için Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada fosil yakıtlı enerji santrallerine ek olarak nükleer, güneş, rüzgâr ve hidroelektrik enerji üretim seçenekleri değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen fayda maliyet oranlarına göre yenilenebilir enerji kaynaklarının güneş, rüzgâr ve hidroelektrik kaynaklarının en iyi alternatif olduklarını göstermektedir. AHP yöntemine dayanarak Ürdün de en iyi elektrik üretim sisteminin güneş enerji santralleri olduğu sonucu ortaya çıkmıştır ve bu sonucu sırasıyla rüzgâr ve hidroelektrik santralleri izlerken, en kötü seçenek olarak da yine sırasıyla Nükleer elektrik ve fosil yakıt elektrik gücü izlemektedir.

Afgan, Carvalho (2001), Bu çalışmada enerji santrallerindeki yeni ve yenilenebilir teknolojileri potansiyellerinin çok kriterli yöntemlerle analizi yapılmıştır. Bu makalede, yeni ve yenilenebilir enerji teknolojileri değerlendirmesi için kriterlerin ve seçeneklerin seçimi sunulmaktadır. Yeni enerji teknolojilerine bir değerlendirme sunmak için, ölçülebilir özellikteki sürdürülebilirlik göstergeleri dikkate alınmıştır. Bu yazının amacı, sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayan enerji sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan enerji göstergelerini tanımlamaktır. Bu göstergelerde enerji kaynağı, kapasite, sosyal ve ekonomik göstergeler olarak dikkate alınmıştır.

Topcu, Uluengin,(2003), 2000 yılının sonbaharında petrol fiyatlarındaki artış, çevresel endişeler, sanayi dünyasında öncelikli konular haline geldiği belirtilmiştir. Araştırmalar, bir enerji kaynağının seçilmesi probleminin ayrıntılı, birçok yönüyle analiz edilmesi gereken, karmaşık bir yapıda olduğu dile getirilmiştir. Yenilenebilir enerjinin çoğu formları, bir yerden diğerine büyük ölçüde değişen coğrafi ve çevresel faktörlere bağlı olduğundan her ülkenin kendi politikalarını coğrafi ve politik koşullarına uygun olarak planlaması gerektiği belirtilmiştir. Bu makalede, Türkiye için uygun elektrik üretim alternatifinin seçilmesini sağlayacak olan enerji kaynaklarının çok kriterli karar verme yöntemleriyle değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, en uygun çok kriterli karar verme yönteminin seçimi için entegre bir karar desteği (IDEA) çerçevesi sağlar ve yetkililere tavsiye olarak alternatiflerin ve sağlamlık analizlerinin sıralamasını sunar. Türkiye için uygun elektrik üretimi 17 alternatiflerinin seçimini sağlayacak enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde ÇKKV yaklaşımlarından PROMETHEE yöntemini uygulamışlardır.

Kabir, Shihan (2003), bu çalışmada Bangladeş için yenilenebilir enerji ve teknolojileri seçimi için Analitik Hiyerarşi Süreci uygulaması yapılmıştır. Güneş, rüzgâr ve biyogaz enerjilerini teknik faktörler, birim maliyet, yer faktörleri, çevre faktörleri ve sosyal etki kriterlerine göre Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemiyle Bangladeş için değerlendirmiştir. Teknolojik sınırlamalara rağmen güneş enerjisinin en iyi alternatif olduğunu ve bu enerji kaynağını biyogaz ve rüzgârın takip ettiğini sonucu bulunmuştur. Ancak zaman ilerledikçe ve teknoloji olarak gelişmelerle bu enerji tercih sıralamasının değişebileceği ifade edilmiştir.

Nigim ve ark.(2004) yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının ön fizibilite sıralamasında çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanıma sunmuşlardır. İlk olarak AHP yöntemi kullanılmıştır, ardından kentsel sürdürülebilirlik için sıralı interaktif modele başvurulmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının geleneksel yakıt kaynaklarıyla bütünleştirilmesi, ithal enerji kaynaklarına bağımlılığı en aza indirerek enerji güvenliğini artıracığı, ayrıca, enerji üretiminin olumsuz çevresel etkilerini ve ilgili sağlık etkilerini en aza indireceğini belirtmiştir. Çeşitli fayda ve kısıtlamalara sahip uygulamalarda çeşitli yenilenebilir enerji alternatifleri tanımlanabilir. Bu, belirli bir alanda hangi yenilenebilir enerji alternatifleri uygulamasının uygulanacağına karar verme sürecini çok boyutlu bir problem haline getirmektedir. Karar verme araçları, özellikle yenilenebilir enerji alternatifleri önceliklendirmek için topluluklara yardımcı olmak için kullanılabilir. Bu çalışmada iki çok kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. İlk yöntem analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve ikincisi kentsel sürdürülebilirlik için sıralı interaktif modeldir (SIMUS). AHP, verilerin toplanması ve verilerin alternatif olarak kardinal sıralamaya gelmesi için uzman görüşlerinin açıklanması yoluyla karar verme sürecine toplum katılımına dayanmaktadır. Öte yandan, SIMUS, aynı zamanda uzman görüşlerin ortaya çıkarılmasına da dayanan, ancak daha az öznel ve daha objektif bir şekilde matematiksel doğrusal programlama manipülasyonunu kullanır. Her iki çok kriterli karar aracının da etkili olduğu ve karar alma süreçlerine destek vermelerini sağlayan şeffaf ve bilimsel prosedürler de grup karar alma sürecini kolaylaştırdığı kanıtlanmıştır.

Köne, Büke (2007), Bu çalışmada, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma açısından elektrik üretmek için en iyi yakıt karışımını belirlemek amacıyla bir Analitik Ağ Süreci (ANP) modeli kullanılmaktadır.

Önerilen model iki alternatif senaryoda uygulanmaktadır. Enerji üretiminin sürdürülebilirliğinin iki temel boyutu; çevre koruma ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği olduğu ifade edilmiştir.

Çalışma Modelinin tüm alternatif senaryoları içinde, en yüksek değer bulan alternatifi hidroelektrik olmuştur. Modelin sonuçları, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için kurulu kapasitede yenilenebilir yakıtların payının artırılması gerektiğini göstermektedir.

Önüt, Tuzlukaya, Saadet, (2007) Enerji, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerin doğal kaynaklarının ana bileşenidir. Ekonomik ve sosyal gelişmeler nedeniyle, genel olarak enerji talebi, Türkiye'de önemli ölçüde artmıştır. Türkiye bir petrol veya doğal gaz üreten ülke olmadığından, enerji tüketimi için enerji kaynağı kullanımı etkili olmalıdır. Bu çalışmada, Türkiye'nin en büyük enerji tüketen sektörü olarak imalat sanayii üzerinde durulmuş ve enerji kaynaklarının verimli kullanımı açısından analiz edilmiştir.

Türkiye imalat sanayinde en çok kullanılan enerji kaynakları yani akaryakıt, kömür, elektrik, LPG ve doğalgaz dikkate alınmıştır. Bu seçilmiş sanayideki mevcut enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ve seçilmesi, insan kararları, maddi ve manevi kriterler ve öncelikler ile hedefler ve kriterler arasındaki ticaret açıları dâhil olmak üzere çok ölçütlü bir karar verme problemi olarak görülebilir. Bu çalışmada, imalat sanayine en uygun enerji kaynaklarını değerlendirmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan analitik ağ süreci (ANP) kullanılmıştır. Çalışmalarında tarım, nakliye, toplu konut ve endüstri alanlarının enerji tüketimlerini göz önüne alarak bunlardan en çok enerji tüketimini yapan sektörün endüstri olduğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda endüstri sektörü için en iyi enerji alternatifinin fosil yakıtlar olduğu sonucuna varmışlardır.

Tsoutsosa ve ark.(2008) Sürdürülebilir enerji planlaması çeşitli hedefleri bir arada içerir; çünkü karar verme, teknolojik, çevresel, ekonomik ve sosyal gibi farklı kriterlerin analizi ve yönetimi süreçleriyle doğrudan ilişkilidir. Çoğunlukla, maliyet-fayda analizi gibi geleneksel değerlendirme yöntemleri, çevresel olarak kapsamlı bir enerji planında yer alan tüm unsurları bütünleştirmek için yeterli değildir. Ancak çok kriterli karar verme yöntemi, farklı şekillerde değerlendirilen ve dolayısıyla geçerli bir karar desteği sunan aynı zamanda çok çeşitli kriterleri bir araya getirmek ve ele almak için daha uygun bir araçtır.

Bu çalışma da Yunanistan'daki Girit adasında sürdürülebilir enerji planlaması için çok kriterli karar yöntemlerinden yararlanmaktadır. Çalışmada adaya yenilenebilir enerji kaynaklarının yerleştirilmesi uygulaması benimsenmiş ve enerji planlama arenasındaki aktörler tarafından belirlenen ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel kriterlere göre değerlendirilmiştir.

Kahraman, Kaya, Cebi (2009), Yenilenebilir enerji, tükenmeyen güneş ışığı, rüzgar, yağmur, gelgit ve jeotermal ısı gibi doğal kaynaklardan üretilen enerji türüdür. Enerji kaynakları, tüm ülkeler için ekonomi ve politika açısından çok önemlidir. Bu nedenle, herhangi bir ülke için enerji kaynak alternatifin en iyisini seçilmesi, enerji yatırımları için önemli bir rol oynamaktadır. Enerji kaynak alternatif karar verme süreç metodolojileri arasında, bulanık aksiyomatik tasarım (AD) ve analitik hiyerarşi süreci (AHP) sıklıkla literatürde kullanılmıştır. Bulanık küme teorisi, eksik veya belirsizliğin olduğu durumda belirsizliği gidermek için güçlü bir araçtır. Bu çalışmada da, yenilenebilir enerji alternatifleri arasından en iyi seçim için bulanık çok kriterli karar verme metodolojileri kullanılmıştır. Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji alternatifi belirlenmek için bulanık aksiyomatik tasarımı ve bulanık analitik hiyerarşi süreci yaklaşımı kullanılarak uzmanlara göre Türkiye için değerlendirilmesi; en uygun yenilenebilir enerji alternatifi rüzgar enerjisi olmuştur.

Atıcı, Ulucan, (2009),Yapılan çalışmalara bakıldığında, karar analizi tekniklerinin özellikle elektrik enerjisi planlamasında kullanıldığı ve bu alanda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin gittikçe arttığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, karar analizinin güncel tekniklerinden olan ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) ve PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yöntemlerinin Türkiye enerji sektöründe uygulanmasını amaçlamıştır. Çalışmada, çeşitli hidroelektrik santral projelerinin ELECTRE yöntemi ile sıralandığı ve çeşitli rüzgâr santrali projelerinin PROMETHEE tekniği kullanılarak sıralandığı iki adet uygulama bulunmaktadır. Çalışma, Türkiye enerji sektöründe genellikle karar vericinin yargısına yüksek derecede bağlı olan kararların, analitik yöntemler kullanılarak daha rasyonel bir şekilde alınabileceğini göstermek amacıyla. Bu çalışma, yapılan uygulamalar ile literatürde var olan karar analizi teknikleri kullanılarak karar verici yargısını aza indiren daha analitik kararlar alınabileceğini göstermeyi amaçlamıştır.

Çalışmada ELECTRE ve PROMETHEE teknikleri, hidroelektrik santral projelerinin ve rüzgâr santral projelerinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Literatürde var olan diğer karar analizi tekniklerinin Türkiye enerji sektörünü birçok farklı alanlarına da uygulanması, yargıya dayalı karar verme sürecinin problemlerini azaltacak, dolayısıyla, alınan kararların kalitesinin ve rasyonelliğinin artmasını sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Wang ve ark.(2010) Bu çalışmada hiyerarşik bir karar modeli kullanarak Çin'deki enerji alternatifleri olan kömür, petrol, doğal gaz, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, kömürün hala en çok tercih edilen enerji alternatifi olmasına rağmen, yenilenebilir enerji ile yakından takip edildiğini göstermektedir. Enerji seçimi için en kritik ölçütün mevcut enerji altyapısı olduğu duyarlılık analizi ile saptanmıştır. Hiyerarşik bir karar modeli kullanılır ve alternatifleri değerlendirmek için uzman yargıları ölçülür. Değerlendirmeler için kullanılan kriterler kullanılabilirlik (uygunluk), mevcut enerji altyapısı, fiyat, güvenlik, çevresel etkiler ve sosyal etkiler olarak belirlenmiştir.

Amer, Daim (2011), Bu yazıda, Pakistan'da elektrik üretimi için yenilenebilir enerji seçeneklerini teknik, ekonomik, sosyal, çevresel ve siyasi yönlerden incelemişlerdir. Çalışmalarında AHP yöntemini Pakistan enerji sektörü için ilk defa kullanılmışlardır. AHP modeli, elektrik üretimi için çeşitli yenilenebilir enerji teknolojilerinin seçimi ve önceliklendirilmesi için kullanılmıştır. Rüzgar enerjisi, fotovoltaik enerji, solar termal enerji ve biyokütle enerjisi seçenekleri, karar modelinde alternatif olarak kullanılmıştır. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretmek için ülkenin potansiyeline bakıldıktan sonra, literatür taraması yapılarak, uzmanlar ile hedef, kriter, alt kriter ve alternatiflerden oluşan uygun bir karar modeli oluşturulmuştur. Karar modelinde alternatif olarak rüzgar enerjisi, güneş fotovoltaik, güneş termal ve biyokütle enerji seçenekleri kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin sıralanması ve önceliklendirilmesinin yanı sıra, önerilen karar modelinin sonuçları, ülke için uzun vadeli yenilenebilir enerji politikası ve enerji yol haritasının geliştirilmesi için de kullanılabilirliği ifade edilmiştir. Bu araştırmanın sonuçları diğer gelişmekte olan ülkelerle de son derece önemli olduğu belirtilmiştir.

Ayan, Pabuççu (2013), bu çalışmada, Türkiye de yenilenebilir enerji kaynakları arasında Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile öncelik sıralamasının belirlenmesi amaçlanmıştır. 2010–2014 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planına bakılarak kaynak öncelik sıralamasının belirlenmesi için bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Bu yapıda baz alınan kriterlerin uzman mühendisler ve akademisyenler tarafından birbirleriyle göreceli olarak karşılaştırılmaları sonucunda elde edilen bilgilere dayanılarak yapıldığı ifade edilmiştir, kriter ve kaynak alternatifleri için ağırlıklar hesaplanmıştır. Analiz sonucunda; sırası ile hidroelektrik, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal enerji ve son olarak da güneş enerjisi yatırımlarının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Bu sonuçlarda ekonomik faktörler, enerji ile ilgili faktörler, çevresel faktörler ve kurumsal faktörler etkili olduğu belirtilmiştir.

Erdoğan (2013), enerji alternatifleri arasında seçim yapılırken ülkelerin toplum sağlığı, enerji politikalarını dengelemeleri, çevre ve sosyal konular gibi birçok toplumsal boyutta etkilerinin ve bunun gibi birçok kriterin dikkate alınması gerekli olduğu ifade edilmiştir. Seçim değerlendirmesi yapılırken enerji alternatiflerinin ölçütlerin hepsinin sayısal birimlerle ifade edilemeyeceğinden, çeşitli matematiksel ve mühendislik tekniklerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır, bu şekilde sayısal olarak ifade edilemeyen, dilsel olarak değerlendirilen ölçütlerinde sonucun elde edilmesinde katkı sağlayabilir. Bu tez çalışmasında Türkiye’de kullanılacak enerji alternatiflerinin seçiminde yardımcı olmak amacıyla bir entegre çok kriterli karar verme yöntemi (ÇKKV) uygulanmış. Problem çözüm sürecindeki belirsizlikleri hesaplamalara dâhil edebilmek içinde bulanık mantık kullanılmıştır. İlgili nitel ve nicel kriterler belirlenerek, ülkede kullanılan enerji kaynakları değerlendirilmiş, ilk sıralarda tercih edilmesi daha uygun alternatifler elde edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde aynı kriterler ve aynı yöntem kullanılarak bu kez yenilenebilir enerji alternatifleri değerlendirilmiştir. Kriterlere ait ağırlıkları hesaplamada tip-2 bulanık bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Alternatiflerin sıralanması aşamasında ise TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ÇKKV yöntemi önceki yaklaşımda olduğu gibi yine tip-2 bulanık küme ile birlikte kullanılmıştır.

Öncelikle ülkede kullanımda olan enerji kaynaklarının tümü değerlendirilerek, bir sıralama elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ilk sıralarda yer alan alternatifler, yenilebilir enerji alternatifleri olmuştur.

Ardından aynı kriterler ve aynı yöntem kullanılarak bu kez yalnızca yenilenebilir enerji alternatifleri değerlendirmeye alınmıştır. Bu süreçten elde edilen sıralama, ilk aşamada tüm enerji kaynakları için elde edilen sıralamayla benzerlik göstermektedir. İki değerlendirme sonucunda da ilk sırada kullanılması gereken enerji kaynağı alternatifi, rüzgâr enerjisidir.

Sağır, Doğanalp (2016), Bu çalışma da, Türkiye de enerji üretimi için farklı enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ilişkin bulanık çok-kriterli bir karar verme modeli kullanılmıştır. Temel amaç çeşitli enerji alternatiflerinin değerlendirilmesi için Bulanık TOPSIS metodunu kullanarak karar kriterlerinin önem ağırlıklarını belirlenmiş ve bu enerji kaynaklarını saptanan karar kriterleri doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada üç enerji kaynağı, yenilenebilir enerji, fosil enerji ve nükleer enerji kaynağına yer verilmiştir. Türkiye için üç enerji kaynağının karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda elde edilen veriler Bulanık TOPSIS yönteminin algoritmasında kullanılarak enerji kaynakları alternatiflerinin sıralaması, yakınlık katsayısı en yüksekte en düşüğe doğru, yenilenebilir enerji kaynakları, nükleer enerji kaynakları ve fosil enerji kaynakları olarak bulunmuştur.

Kargı, Aydın (2017), bu çalışmada Bursa'da yatırım yapmayı plânlayan bir firmanın, yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygun olanın seçilebilmesiyle ilgilidir. Sanayi alanında yaşanan gelişmeler, nüfus artışı, teknolojiye yeni yenilikler gibi nedenlerle enerji ihtiyacını giderek artmaktadır.

Bu doğrultuda enerjiye olan talep artmaktadır. Enerji ihtiyacı için ağırlıklı kullanılan fosil enerji kaynaklarının rezervlerinin gelecekte tükenecek olması, fiyat tutarsızlıkları, ciddi çevre sorunlarına neden olması gibi sebeplerden yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Bu sebeple de yenilenebilir enerji kaynaklarından en uygun olanın seçimi gerçekleştirmek için enerji verimliliği, enerji arz güvenliği, çevresel etkiler yatırım maliyetlerinin uygunluğu ve devlet teşviki kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterler ile yenilenebilir enerji kaynak alternatifleri olarak rüzgâr, hidroelektrik, güneş ve jeotermal enerji türleri ele alınmıştır. Enerji alternatiflerinin seçiminde birçok kriterin eş zamanlı değerlendirilmesi gerekli olduğu belirtilmiştir.

Seçimin kişiler tarafından yapılacak olması, belirsizlik ve sübjektiflik içerdiği, bu belirsizliklerin de matematiksel karar sistemine uydurmanın bulanık kümeler ile mümkün olduğu düşüncesiyle, seçim yapılırken Bulanık analitik hiyerarşi süreç (BAHP) yöntemi kullanılmıştır.

Değerlendirme sonucunda tez çalışmasında en uygun yenilenebilir enerji kaynakların hidroelektrik enerji ve rüzgâr enerjisi olarak sonuçlandırılmıştır.

Özcan, Ünlüsoy, Eren (2017), bu çalışmanın amacı, önemli ölçüde yenilenebilir enerji kaynak potansiyeline sahip olan Türkiye'nin bu enerji kaynaklarını verimli, güvenilir, çevreye duyarlı, ekonomik ve kesintisiz elektrik üretmek için yatırım öncelikleri açısından değerlendirmektir. Bu amaçla çalışmada, literatür çalışmaları ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2015–2019 Stratejik Planı referans alınarak belirlenen ve ağırlıkları ANP yöntemi ile hesaplanan ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel faktörlerden oluşan 4 ana kriter ve bunlara bağlı 12 alt kriter altında, Türkiye'nin sahip olduğu hidroelektrik, rüzgar, biokütle, güneş ve jeotermal enerji kaynakları TOPSIS yöntemi ile sıralandırılmış ve bu kaynaklar ile yapılacak yatırım öncelikleri elde edilmiştir.

Çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en etkin algoritmalarından olan ANP ve TOPSIS'in entegrasyonu ile yapılan bu çalışma sonucunda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji yatırımlarını sırasıyla rüzgâr, hidroelektrik, biokütle, jeotermal ve güneş santrallerine yapması gerektiği tespit edilmiştir.

Madhuri, Yadav, Hiwarkar, (2017) Modern çağda, iyi bir yaşam kalitesine sahip olmak için enerji gerekli bir ürün haline gelmiştir. Enerji tüketimi sınırlı ve çevre üzerinde çeşitli olumsuz etkilere sahip fosil yakıtlara dayanmaktadır. Bu doğrultuda, Hindistan için en iyi alternatif yenilenebilir enerjiyi bulmak için yenilenebilir enerjilerin öncelikleri değerlendirilmektedir. Araştırma için gerekli olan esnekliği sağlayacağı düşünülerek bu çalışma için AHP modeli seçilmiştir. AHP modelinde teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel olarak dört kriter seçilmiştir. Bu çalışmada güneş enerjisi, biyokütle ve rüzgâr olmak üzere üç yenilenebilir enerji ele alınmıştır. Güneş Enerjisi en iyi Enerji alternatifi olarak dile getirilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın sonuçlarıyla, bu amaçlanmaktadır yenilenebilir enerjinin önceliğine bağlı olarak karar vericilerin enerji sektörü ile ilgili olarak devlet için enerji verimliliği politikası geliştirmek, ekonomik konular için uzun vadeli politikalar için bir yol haritası oluşturmada yol haritası olması amaçlanmıştır.

Işıldar Ayşegül, (2018) bu çalışmada Ankara ilinde katı atık bertaraf etme yöntemi seçim problemi için çalışma yapılmıştır. Katı atık bertaraf teknolojisi seçimi problemi için anket değerlendirmesi sonucu karar vericiler on beş kriter ve sekiz alternatif belirlenmiştir. Problemin çözümü için öncelikle literatürde problemin çözümünde sıklıkla tercih edilen TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Üçüncü yöntem olarak, literatürde bu problem için henüz uygulanmamış bir yöntemi olan En İyi-En Kötü Metodu (Best Worst Method) ile çözüm önerilmiştir. Üç yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.



5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Karar verme, mevcut alternatiflerin arasından amaca en uygun ve mümkün olan bir veya birkaçının seçilmesi sürecidir. Hayatımızın her döneminde birçok alternatif arasından seçim yapmak durumunda kalırız. Çevresel, ekonomik, sosyal ve teknik konularında belirsizlik barındıran alternatifler içinden bir alternatifi seçme yöntemidir.

Yapılan bilimsel çalışmalarla, belirsiz ve karmaşık bir karar ortamında karar verme durumunda karar vericinin, tecrübe ve bilgisini sistematik bir şekilde değerlendirilerek, en iyi çözüme nasıl ulaşılacağına ilişkin yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu nedenle karar verici, alternatifler arasından amacına uygun, belirlediği kriterlere uygun olanı seçmek durumundadır. Karar verme sürecine birden çok birbiriyle çelişen kriter bir arada olduğundan geleneksel seçim yöntemlerinin kullanılması çözümü gerçekçilikten uzaklaştıracağından, bu şekildeki karar verme durumlarında çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinin kullanımını gerekir. Çok kriterli analiz, genel adıyla çok kriterli karar verme, çoklu hedeflerin bir arada olduğu karar verme süreciyle ilgilenen yöneylem araştırması modellerinin genel bir alt sınıfıdır. Bu yöntemler, nicel ve nitel kriterleri ele alabilir, ölçülemeyen birimleri ve çelişen kriterleri göz önünde bulundurabilir ve alternatiflerin seçimindeki zorluklarla başa çıkabilir (Gülenç ve ark., 2010).

ÇKKV yöntemlerinin amaçları, karar verme sürecindeki amaçlarla tutarlı olunarak karar vericiye yardımcı olmak, şeffaf değerlendirme süreçleri ve temsili veriler kullanmak, karar süreçlerini tamamlayarak verimliliği arttırmaya çalışmak olarak sıralanabilir.

1960'lı yıllarda karar verme işlerine yardımcı olacak araçlara gerek duyulmasıyla geliştirilmeye başlanmış bir yöntemdir. ÇNKV yöntemi, birden fazla kriterden oluşan sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Çok kriterli karar verme yönteminde, en çok tercih edilen yöntemler şunlardır; AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci), ANP (Analitik Ağ süreci), TOPSIS (İdeal Çözeltiliye Benzerlik Göre Sipariş Tercihi Tekniği), PROMETHEE (Zenginleştirme Değerlendirme için Tercih Sıralaması Organizasyon Yöntemi) ve ELECTRE (Eliminasyon ve Seçim Yazma Gerçeği) dir. Karar vericinin sayılabilir veya sayılamaz sayıda birçok alternatiften en az iki kriterle dayalı değerlendirme yaparak seçim yapılmasını sağlar (Basar, 2011).

Çok kriterli karar verme yöntemi birçok ölçülebilir ve ölçülemeyen operasyonel ve stratejik faktörü aynı anda değerlendirme imkânı sağlar. Karar vericinin toplandığı bilgileri analiz ederek, amaçlarına uygun seçeneklerin, farklı kriterlere göre değerlendirilerek, uygun seçeneğin seçilmesine yardımcı olacak analitik bir süreçtir. Süreçte en nemli konu uygun şekilde modelin kurulmasıdır.

ELECTRE(Eliminasyon ve Seçim Yazma Gerçeği) yöntemi her bir değerlendirme kriteri için alternatifler arasında ikili üstünlük kıyaslamalarına dayanarak çözüm yapılır. TOPSIS, yöntemi, alternatif noktaların ideal çözüme yakınlığı prensibine dayanan, ELECTRE yönteminin temel yaklaşımlarını kullanan ancak daha kısa bir yöntemdir. PROMETHEE yöntemi Brans tarafından 1982 yılında geliştirilmiştir. PROMETHEE yöntemi, mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulanmasında yaşanan zorluklardan yola çıkılarak geliştirilmiştir (Basar, 2011).

Tedarik yönetimi gibi çalışmalarda kullanılmıştır. AHP ve AŞP yöntemlerinde ise amaç, alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu karmaşık karar sürecinde, sürecin kontrol altında tutularak, sonuçların kolay elde edilmesidir.

5.1 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

AHP, Profesör Thomas L. Saaty tarafından 1970li yıllarda geliştirilmiş, ölçme ve karar verme için kullanılan bir matematiksel yöntemdir. Problemleri hiyerarşik olarak ele alan ve ikili karşılaştırma prensibine dayanan analitik bir tekniktir. Çok sayıda birbirinden farklı, bağımsız faktörlerin etkilerini dikkate alarak, en uygun kararın verilmesine yardımcı olan yaklaşımdır. Çok kriterli karar verilmesi gereken zamanlarda alternatifler arasından en uygun seçimin yapılması için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemin çok tercih edilmesinin nedeni, subjektif kriterlerinde dikkate alınabiliyor olmasıdır. Yöntemde nitel faktörler ilk öncelikte yer almakta olup, nicel ve nitel faktörler birleştirilebilmektedir (Basar, 2011).

AHP üç temel aşamada modellenenebilir.

Bu aşamalar; ayrıştırma, ikili karşılaştırmalar ve önceliklendirme hesaplanması aşamalarıdır. AHP 'de ilk adım olarak amacın belirlenmesi gerekmektedir; bu amaç doğrultusunda kriterlerin ve alt kriterlerin belirlenmesi gerekir, bu ayrıştırma adıdır. Daha sonra kriterler belirlendikten sonra kriterler için alternatifler oluşturularak problem hiyerarşik bir düzende ifade edilir.

Kısaca ifade etmek gerekirse; karar problemi bileşenlerine ayrılarak hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Oluşturulan hiyerarşideki kriterler bir üst düzeydeki bileşenler açısından amaca göre görece önem düzeyleri belirlenerek model aşamasına geçilir. İkili karşılaştırmalar ile alternatif ve kriterlerin ağırlıklandırılmaları yapılarak model çözümü yapılır.

5.2 TOPSİS Yöntemi

TOPSIS, Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. TOPSIS (The Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution) tekniği ELECTRE yöntemine alternatif olarak oluşturulmuştur. Yani pozitif ideal çözüme en yakın mesafede olan alternatif aynı zamanda negatif ideal çözüme de en uzak mesafede olan alternatiftir. TOPSIS yönteminde kriter değerleri ve kriter ağırlıkları sayısal değerlerdir. İdeal ya da pozitif ideal çözüm olarak ifade edilen çözüm, fayda kriterini maksimize eden, maliyet kriterini ise minimize eden çözümdür. İdeal çözüm tüm kriterler sağlandıktan sonra tercih edilen alternatiflerin bu kriterleri olması gereken yani ideal seviyelerde yerine getirmesidir. Eğer ideal çözüm uygulanmaz veya ulaşılamaz ise o zaman ideal çözüme en yakın noktanın seçilmesi gerekmektedir.

TOPSIS uygulamasında ilk adım olarak karar matrisi oluşturulur. Karar matrisinin satır elemanları olarak üstünlükleri sıralanmak istenen kriterler, sütunlarda ise karar vermede kullanılan değerlendirme faktörleri yer alır. Karar matrisi karar vericiler tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir. Matris m alternatif ve n kriterli bir karar matrisidir. Karar matrisinde seçenekler yukarıdan aşağıya kaydedilerek her bir alternatifin karşısına o alternatifin ilgili kritere göre özellikleri yazılmaktadır. Dolayısıyla hazırlanan bu matris kullanılarak sıralama işlemleri yapılmaktadır (Urfalıoğlu ve ark., 2013; Sağır ve ark., 2016).

5.3 PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) yöntemi Brans tarafından 1982 yılında geliştirilmiş çok ölçütlü bir öncelik belirleme yöntemidir.

Bu yöntem, literatürde yer alan mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulama aşamasındaki zorluklarından yola çıkılarak geliştirilmiş ve günümüze kadar birçok konuda çalışmalarda kullanılmıştır (Dağdeviren & Eraslan, 2008).

Net önceliklendirme imkânı sunan PROMETHEE II yöntemi ve kısmi önceliklendirme imkânı sunan PROMETHEE I yöntemleri Jean Pierre Brans tarafından 1982 yılında geliştirilmiştir. Birkaç yıl sonra ise aralıklı sıralama yapan PROMETHEE III ve devamlı sıralama yapan PROMETHEE IV metotları J. P. Brans ve Bertrand Mareschal tarafından geliştirilmiştir. PROMETHEE V yöntemi ile PROMETHEE VI yöntemleri de 1992 ve 1994 yıllarında aynı bilim insanları tarafından geliştirilmiştir.

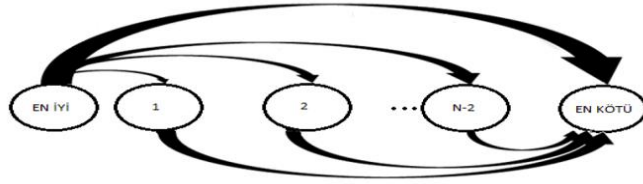
PROMETHEE yöntemi, alternatifler arasında ikili karşılaştırmaya dayanan bir önceliklendirme yapısına sahiptir. Bu yöntemde öncelik oluşturabilmek için alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Kriterler, toplam ağırlıkları bir olacak şekilde ağırlıklandırılmaktadır (Işıldar, 2018).

5.4 EN İYİ-EN KÖTÜ (BEST WORST METHOD) Yöntemi

En İyi En Kötü Yöntem (BWM) , 2015 yılında Dr. Jafar Rezaei (Delft Teknoloji Üniversitesi) tarafından geliştirilen çok kriterli karar verme yöntemidir. BWM, işletme ve ekonomi gibi çeşitli karar alma alanlarında kullanılabilir. Yöntemin amacı bir dizi alternatif arasından bir alternatif veya alternatif grubu seçmek için kullanılabilir. Bu yöntemin en belirgin özelliği, mevcut çok kriterli karar verme yöntemlerinin çoğuna kıyasla: daha az karşılaştırma verisi gerektirmesi ve daha tutarlı, güvenilir sonuçlar üretmesidir (Rezaei, 2015).

Çok kriterli karar verme probleminde, en iyi alternatifleri seçmek için birçok kritere göre çeşitli alternatifler değerlendirilir. BWM'ye göre, en iyi (örneğin en çok istenen, en önemli) ve en kötü (örneğin en az istenen, en az önemli) kriterler ilk önce karar veren tarafından belirlenir. Daha sonra bu iki kriterden her biri (en iyi ve en kötü) ve diğer kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır (Rezaei,2015).

Çeşitli alternatif ve kriter setlerine ağırlık tanımlanarak son puanlar belirlenmekte en iyi alternatif seçilmektedir.



Şekil 5.1. BMW referans karşılaştırma (Rezaei ,2015)

En iyi-En kötü metodu altı adımda gerçekleşmektedir (Işıldar Ayşegül, 2018.)

Adım 1. Karar kriterleri belirlenir.

Karar problemine etkisi olan kriterler c_1, c_2, \dots, c_n belirlenir.

Adım 2. N adet kriter arasından en iyi (en önemli, en çok istenen) ve en kötü (en önemsiz, en az istenen, kriterler belirlenir.

Karar vericiler tarafından bu aşamada en iyi ve en kötü kriterleri tanımlarlar. Ancak bu adımda karşılaştırma yapılmaz.

Adım 3. Bu adımda belirlenen en iyi kriterin diğer kriterlere göre tercihi 1 ile 9 arasında bir sayı kullanarak belirlenir. Eşit öneme sahip olduğunu 1 ile çok önemli olduğunu ise 9 ile belirtilmektedir.

En iyi kriter - Diğerleri vektörü: $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ burada, a_{Bj} , kriter j üzerinde en iyi kriterin B tercihini belirtir. $a_{BB} = 1$ dir.

Adım4. Bu aşamada ise en kötü kriterin baz alınarak diğer kriterlerle 1 ile 9 arasında bir sayı kullanarak karşılaştırması yapılır.

Ortaya çıkan diğerleri - En kötü vektörler (others to worst)

$$A_W = (a_{1W}; a_{2W}; \dots; a_{nW})^T$$

Burada a_{jw} , ölçüt j'nin en kötü kriter W üzerindeki tercihini belirtir. $A_{WW} = 1$ dir.

Adım 5. Optimum ağırlıkları bulun ($W_1^*, W_2^*, \dots; W_n^*$).

Kriterler için en uygun ağırlık, her bir $W_B = W_j$ ve $W_j = W_W$ çifti için

$W_B/W_j = a_{Bj}$ ve $W_j/W_W = a_{jw}$ (Işıldar Ayşegül, 2018.)

Tüm j için bu koşulları yerine getirmek için, burada maksimum mutlak farklılıkların minimize edildiği bir çözüm bulmalıyız;

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \quad \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right|$$

Ağırlıkların negatif olmamasına ve toplam koşuluna bakıldığında, aşağıdaki problem ortaya çıkmaktadır:

minmax{ $|W_B - W_j a_{Bj}|$, $|W_j - W_w a_{jw}|$ } *kısıtları altında*

$$\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0$$

Denklem doğrusal hale aşağıdaki gibi çevrilebilir:

min ξ

$$|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi$$

$$|W_j - W_w a_{jw}| \leq \xi$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0$$

Bu modelin çözümü ile kriter ağırlıkları ve ξ elde edilir (Işıldar Ayşegül,2018.)

6.UYGULAMA

6.1 Problemin Tanımlanması

Enerji sürdürülebilirliği için yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırım önceliğine karar verme problemidir. Yenilenebilir enerji kaynak yatırım problemi için etken kriterler uzmanlar ile birlikte belirlenmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynak kullanım ve yatırımları için gerekli olan kriterlerin BWM (Best Worst Method) ile yenilenebilir enerji kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çözümünde BWM yönteminin seçilmesinin nedeni enerji kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesine farklı, yeni bir yöntem olan Best Worst Method ile enerji kaynak değerlendirmesinde farklı bir bakış açısı kazandırmaktır. Bu yöntemde AHP gibi ikili karşılaştırma esasına dayanmaktadır ancak daha az ikili karşılaştırma yapmakta ve daha tutarlı sonuçlar ürettiği belirtilmektedir (Rezaei, 2015).

Bu sebeple problem için BWM çözüm metodu kullanılmıştır. Temel kriterlerin belirlenmesinde enerji işlerini yapan özel birkaç şirkette çalışan uzmanlar ile görüşmeler yapılmıştır. Literatürdeki geçmiş çalışmalar ve görüşmeler de göz önüne alınarak konuyla ilgili on üç kriter ve beş alternatif belirlenmiş ve bu doğrultuda bir puanlama formu hazırlanmıştır. Hazırlanan form enerji birimindeki mühendis ve uzmanlardan puanlama yapılması istenmiştir. Puanlama formları ekler kısmında yer almaktadır.

6.2 Kriterlerin Tespit Edilmesi

Uzman görüşleri ve literatür çalışması sonucu beş alternatif ve on üç kriter belirlenmiştir. Kriterler, Yatırım maliyeti, İşletme maliyeti, İstihdam, İşletme ömrü, Enerji verimliliği, Ekonomik potansiyel, Alan gereksinimi Elektrik üretim maliyeti, Çevresel etkiler ve sera gazı salınımı, Geri ödeme periyodu, Santral inşa süresi, Devlet teşviki ve Dışa bağımlılık olmak üzere on üç adet kriter aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır.

Yatırım Maliyeti (C1): Enerji santrallerinin kurulumu ve üretim faaliyetine geçmesi için gerekli olan parasal miktarın değerlendirilmesidir. Her tesis yatırımı için değerlendirilen kriterlerin başında maliyet gelmektedir.

Büyük alt yapı yatırımları olan enerji santrallerinin de her tesisinin kurulumunda olduğu gibi bunlar yatırımlar içinde kapsamlı bir fizibilite çalışmasının yapılması gereklidir (Özcan, Ünlüsoy, & Eren, 2017).

İşletme Maliyeti ve Bakım Maliyeti (C2): Enerji santrallerinin işletilmesi için ihtiyaç duyulan malzeme, personel, tesis arıza ve bakımı gibi maliyetler giderleridir.

İstihdam (C3): Kurulacak santralin sağlayacağı istihdamın değerlendirilmesidir. Enerji santralının işletilmesi esnasında ihtiyaç duyulan kalifiye elemanı belirten kriterdir. Enerji santralleri kurulum aşamasında istihdam yarattığı gibi, işletme ve bakım işleri içinde istihdam olanağı oluşturmaktadır.

İşletme Ömrü (C4): Santral kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, yatırımın ekonomik ömrü kârlılığı belirleyen önemli bir faktördür.

Enerji Verimliliği (C5): Üretim aşamasında birim enerji kaynağından elde edilen verim, enerji verimliliğini ifade eder. Üretim sürecinde en az girdi ile en fazla çıktıyı sağlama oranı ne kadar fazla ise enerji verimliliğe o kadar fazladır.

Ekonomik Potansiyel (C6): Yenilenebilir enerji kaynaklarının sahip olduğu potansiyelin ne kadarının ekonomik açıdan düşük maliyet ile üretilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir (Karaca & Ulutaş, 2018).

Alan gereksinimi (C7): Enerji santrali için toplam alan kullanımı ve birim m²'ye enerji miktarı önemli bir faktördür.

Elektrik Üretim Maliyeti (C8): Enerji santralının üretim yapması için hesaplanan enerji birim maliyetidir.

Çevresel Etkiler ve Sera gazı salınımı (C9): Çevresel etkiler enerji üretiminde kullanılan yenilenebilir kaynakların insan sağlığına ve çevreye verdiği zararları göstermektedir. Ancak her enerji kaynağının neden olabileceği sorunlar aynı ölçüde değildir. Örneğin yenilenebilir enerji kaynaklarının neden olacağı etki ile fosil yakıtların kullanımının çevreye etkisi aynı boyutta olmayacaktır (Sağır & Doğanalp, 2016).

Fosil yakıtlı elektrik üretim santralleri baca gazlarını oluşturmakta, bu gazlar ise CO, CO₂, SO₂ ve NO_x'den oluşan zararlı molekülleri içermektedir. Bu moleküller, hava, çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Ancak yenilenebilir kaynak kullanılan santrallarda bu gazların emisyon oranları değişiklik göstermekle birlikte, çevre ve insan sağlığını etkilemeyecek seviyede çok düşüktür (Özcan, Ünlüsoy, & Eren, 2017).

Geri Ödeme Periyodu (C10): Bir santral yatırımı için harcanan toplam sermayenin ne kadar zaman sonra geri alınabildiğini gösteren sayısal değerdir. Hangi kaynağa yatırım yapılması gerektiği kararı verilmeden önce diğer kriterlerle beraber yatırımdan beklenen geri ödeme süresinin de diğer yatırım yapılacak seçeneklerle karşılaştırılması gerekmektedir (Karaca & Ulutaş, 2018).

Santral inşa süresi (C11): Yapımına başlanan santralin bitirilmesi ile üretime başlanabilmesi ve diğer hedeflerinde gerçekleşebilmesi için bu kriter ön şarttır (Özcan, Ünlüsoy, & Eren, 2017).

Devlet teşviki (C12): Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda hükümet özellikle son yıllarda birçok teşvik verilmektedir. Gümrük vergisi muafiyeti, katma değer vergisi, üretilen enerjinin alım garantisi ve hibe/kredi gibi bunlara örnektir (Özcan, Ünlüsoy ve Eren, 2017).

Dışa bağımlılık (C13): Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içindeki payının artırılması ile dışa bağımlılığın azaltılmasının sağlanması önemli bir stratejik hedeftir (Özcan, Ünlüsoy ve Eren, 2017).

6.3 En İyi ve En Kötü Kriterlerin Tespit Edilmesi

Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda yatırım planlaması için en iyi kriteri Geri ödeme Periyodu (C11) ve en kötü kriteri çevresel etkiler sera gazı salınımı (C12) olarak belirlenmiştir. Uzmanlara göre yatırımcı gözü ile bakıldığında kriter önceliğinde ilk sorulan geri ödeme periyodudur.

Yatırımcı finanse ettiği bir tesisin yatırım planlaması için ilk olarak göz önünde bulundurduğu kriter olması sebebiyle geri ödeme periyodu seçilmiştir.

6.4 En İyi Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önceliğini Belirleme

En iyi kriter olan geri ödeme periyodunun; diğer kriterler ile ikili karşılaştırmaları uzmanlarla birlikte yapılmış olup, değerler Çizelge 6.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. En iyi kritere göre değerlendirme tablosu

En iyi Kriter C1	Kriterler	Geri Ödeme Periyodu
Yatırım maliyeti	C1	2
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti	C2	3
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam	C3	8
İşletme ömrü	C4	4
Enerji verimliliği	C5	4
Ekonomik potansiyel	C6	4
Alan gereksinimi	C7	5
Elektrik üretim maliyeti	C8	3
Çevresel Etki Sera Gazı Salınımı	C9	9
Geri ödeme periyodu	C10	1
Santral inşa süresi	C11	6
Devlet teşviki	C12	4
Dışa bağımlılık	C13	8

6.5 En Kötü Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önceliğini Belirleme

En kötü kriter olan çevresel etkiler ve sera gazı salınımı; diğer kriterler ile ikili karşılaştırmaları uzmanlarla birlikte yapılmış olup, değerler Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. En kötü kritere göre değerlendirme tablosu

En Kötü Kriter C4	Kriterler	Çevresel etkiler sera gazı salınımı
Yatırım maliyeti	C1	8
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti	C2	7
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam	C3	5
İşletme ömrü	C4	4
Enerji verimliliği	C5	4
Ekonomik potansiyel	C6	5
Alan gereksinimi	C7	3
Elektrik üretim maliyeti	C8	4
Çevresel Etki Sera Gazı Salınımı	C9	1
Geri ödeme periyodu	C10	9
Santral inşa süresi	C11	4
Devlet teşviki	C12	8
Dışa bağımlılık	C13	4

6.6 En Kötü Kriterin Diğer Kriterlere Göre Önceliğini Belirleme

Metodun son adımında, son ağırlıkları elde etmek için bir model sunulmaktadır.

$$\left| \frac{W_B}{W_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \quad \left| \frac{W_j}{W_w} - a_{jw} \right| \leq \xi \quad W_j \geq 0$$

formülleri ile optimal ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Optimum ağırlıkları belirlemek için $|W_B - a_{Bj}W_B|$ ve $|W_j - a_{jw}W_w|$ arasındaki maksimum mutlak farkın olduğu bir çözüm bulunmuştur.

Beşinci adımda verilen formüllerden sonra negatif olamama ve ağırlıkların toplamı koşulları dikkate alındığında aşağıdaki denklem oluşmaktadır (Işıldar Ayşegül,2018.)

$$\Phi^+(a) < \Phi^-(b) \text{ ve } \Phi^-(a) < \Phi^-(b)$$

Denklem lineer modele aşağıdaki gibi çevrilmiştir. Çözülürken ağırlıklar ve ξ bulunmaktadır. ξ sifira yaklaştıkça tutarlılık artmaktadır (Işıldar Ayşegül,2018.)

min ξ

$$|W_B - W_j a_{Bj}| \leq \xi W_j$$

$$|W_j - W_w a_{jw}| \leq \xi W_w$$

$$\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0 \quad \forall_j$$

Yukarıdaki denklem de kullanılan değişkenler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$j = 1, 2, \dots, 13 \text{ için}$$

$a_{Bj} = 3.$ adımdaki en iyi kriterin diğer kriterlere göre önceliği

$a_{jw} = 4.$ adımdaki en kötü kriterin diğer kriterlere göre önceliği

$W_B = W_{10}$ en iyi kriter ilk yatırım maliyetinin ağırlığı

$W_W = W_9$ en kötü kriter kalifiye eleman gereksinimi ağırlığı

$W_j = j.$ kriterin ağırlığı

$$\sum_j W_j = 1 \quad W_j \geq 0$$

Karar değişkenleri yukarıdaki denkleme göre yazıldığında modelin son hali aşağıdaki gibidir;

min ξ

$$|W_{10} - W_j a_{10j}| \leq \xi W_j$$

$$|W_j - W_9 a_{j9}| \leq \xi W_9$$

$$j=1,2,\dots,13$$

$$\sum_j W_j = 1$$

$$W_j \geq 0 \quad \forall_j$$

Değişen hücreler ağırlık değerleri, hedef hücre tutarlılık değeri (ξ) olacak şekilde yukarıdaki model Gams programı ile çözdürülmüş ve tutarlılığı (ξ) minimum yapan ağırlıklar aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3. Değişen hücreler ağırlık değerleri

W1	0,138	W8	0,092
W2	0,092	W9	0,017
W3	0,035	W10	0,213
W4	0,069	W11	0,046
W5	0,069	W12	0,069
W6	0,069	W13	0,035
W7	0,055		

$$\xi = 0,064$$

Uzman görüşü eşliğinde değerlendirilen karar matrisi Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4. Karar matrisi tablosu

Alternatifler/Kriterler	Güneş Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi	Hidroelektrik Enerjisi	Jeotermal Enerjisi	Biyokütle Enerjisi
Yatırım maliyeti (\$/kW)	10	6	6	4	6
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti (\$/MW-yıl)	10	6	6	5	6
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam (MW başına)	6	9	9	10	6
İşletme ömrü(yıl)	7	7	10	7	9
Enerji verimliliği	5	7	9	10	9
Ekonomik potansiyel (GW/yıl)	7	8	10	4	2
Alan gereksinimi m ² /kWs	8	10	5	5	8
Elektrik üretim maliyeti (\$/kW-saat)	10	10	9	10	9
Çevre Etkisi Sera Gazı Salınımı (g/MWs)	5	8	10	9	3
Geri ödeme periyodu(yıl)	8	8	8	8	8
Santral inşa süresi(yıl)	10	8	8	8	8
Devlet teşviki(\$/kWh)	10	8	8	8	10
Dışa bağımlılık(Kaynak pot.GWh/yıl)	10	10	10	10	10

Karar matrisindeki değerler, Adım 5'te hesaplanmış olan ağırlık değerleriyle çarpılmış ve Çizelge 6.5.'deki matris hazırlanmıştır;

Çizelge 6.5. Ağırlıklı karar matrisi tablosu

Alternatifler/Kriterler	Güneş Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi	Hidroelektrik Enerjisi	Jeotermal Enerjisi	Biyokütle Enerjisi
Yatırım maliyeti (\$/kW)	1,38	0,828	0,828	0,552	0,828
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti (\$/MW-yıl)	0,92	0,552	0,552	0,46	0,552
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam (MW başına)	0,21	0,315	0,315	0,35	0,21
İşletme ömrü(yıl)	0,483	0,483	0,69	0,483	0,621
Enerji verimliliği	0,345	0,483	0,621	0,69	0,621
Ekonomik potansiyel (GW/yıl)	0,483	0,552	0,69	0,276	0,138
Alan gereksinimi m ² /kWs	0,44	0,55	0,275	0,275	0,44
Elektrik üretim maliyeti (\$/kW-saat)	0,92	0,92	0,828	0,92	0,828
Çevre Etkisi Sera Gazı Salınımı (g/MWs)	0,085	0,136	0,17	0,153	0,051
Geri ödeme periyodu(yıl)	1,704	1,704	1,704	1,704	1,704
Santral inşa süresi(yıl)	0,46	0,368	0,368	0,368	0,368
Devlet teşviki(\$/kWh)	0,69	0,552	0,552	0,552	0,69
Dışa bağımlılık(Kaynak pot.GWh/yıl)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35

Alternatiflerin kriter değerlerinin hepsi toplanmış sonuç değerleri bulunmuştur. Güneş enerjisi alternatifi için kriterlerin ağırlık oranıyla çarpılmış değer sonucu Çizelge 6.6 'daki gibidir:

Çizelge 6.6 Güneş Enerjisi ağırlık oranı çarpılmış değer sonucu

Alternatifler/Kriterler	Güneş Enerjisi
Yatırım maliyeti (\$/kW)	1,38
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti (\$/MW-yıl)	0,92
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam (MW başına)	0,21
İşletme ömrü(yıl)	0,483
Enerji verimliliği	0,345
Ekonomik potansiyel (GW/yıl)	0,483
Alan gereksinimi m ² /kWs	0,44
Elektrik üretim maliyeti (\$/kW-saat)	0,92
SO ₂ Emisyonu (g/MWs)	0,085
Geri ödeme periyodu(yıl)	1,704
Santral inşa süresi(yıl)	0,46
Devlet teşviki(\$/kWh)	0,69
Dışa bağımlılık(Kaynak pot.GWh/yıl)	0,35
TOPLAM	8,47

Sonuçdeğeri=1,38+0,92+0,21+0,483+0,345+0,483+0,44+0,92+0,085+1,704+0,46+0,69+0,35= 8,47

Diğer bütün alternatifler için de bu işlem yapılmış ve Çizelge 6.7.'deki sonuçlar elde edilmiştir:

Çizelge 6.7. En iyi-En kötü metoduna göre elde edilen sonuç

Alternatifler	Toplam
Güneş Enerjisi	8,4700
Hidroelektrik Enerjisi	7,9430
Rüzgâr Enerjisi	7,7930
Biyokütle Enerjisi	7,4010
Jeotermal Enerjisi	7,1330

Toplam değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak EN İYİ-EN KÖTÜ YÖNTEM çözümüne göre alternatifler sıralanmıştır. Alternatif arasında en iyiden en kötüye Güneş, Hidroelektrik, Rüzgâr, Biyokütle ve Jeotermal enerji olarak sıralama yapılmıştır.

7.SONUÇ

Dünyadaki enerji gereksiniminin giderek artmasıyla birlikte enerji kaynaklarının önemi de giderek artmaya başlamıştır. Bu talebin karşılanması için mevcuttaki kaynakların çoğunlukla tükenbilir kaynaklar olması sebebiyle enerji sürdürülebilirliğinde sağlanması için bugün verilecek karar; çevresel, ekonomik, teknolojik ve sosyal etkileriyle geleceğin Türkiye'sini oluşturacağından oldukça önemlidir.

Artan enerji talebini karşılarken ülkemizin enerji politikası; enerji arz güvenliğini sağlamak, aynı zamanda da dışa bağımlılığı ortadan kaldırmaktır. Bu sebeple de enerji sürdürülebilirliği için hangi kaynaklara yatırım yapılması gerektiğine karar vermek, enerji politikasını gerçekleştirmek için en önemli adımdır.

Enerji kaynak planlama problemleri, çok fazla alternatifin, kriterin ve karar vericinin olduğu karmaşık problemlerdir. Bu problemlerin çözümünde çoğunlukla birbirleriyle çelişen kriterlere dayalı alternatifler arasında hiyerarşik kıyaslamalardan elde edilen seçeneklerden oluşur.

Karar verme sürecinin çözümlenmesinde çok sayıda değişken rol oynar. Bunlar, çevresel etkiler, fayda maliyet analizi gibi değişkenler sayısal modeller tarafından ele alınabilir. Diğer değişkenler ise siyasi güçlükler, sosyal ve kültürel değişkenler niteliksel şekilde veya öznel yargı ile değerlendirilebilir. Birden çok nitel ve nicel kriter ve alternatifler söz konusu olduğundan problem çözümünden bunların hepsini bir arada değerlendirebilmek için çok kriterli karar verme teknikleri kullanılacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynağının çevreye uyumu ve enerji devamlılığını etkileyen kriterler uzmanlarca belirlenerek çok kriterli karar verme yöntemlerinden Best Worst Method (BWM) ile yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirmesi yapılmıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışan karar vericilere destek olacak bir uygulama olmasının yanı sıra farklı yeni bir çözüm yöntemi (BWM) kullanılarak çözülmesiyle de literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynak alternatiflerinin En İyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method) ile değerlendirilmesi yapılırken uzmanlarca kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler günümüz şartları dikkate alınarak kıyaslamaları yapılmıştır.

Yenilebilir enerji kaynak alternatiflerinin En İyi-En Kötü Yöntemi (Best Worst Method) ile değerlendirilmesi yapılmış olup, En iyiden en Kötüye Alternatif sıralaması yapılmıştır. Alternatif sıralaması şu şekildedir; Güneş, Hidroelektrik, Rüzgâr, Biyokütle ve Jeotermal Enerjidir.

Yenilenebilir enerji kaynak alternatiflerinin değerlendirilmesinde tüm bağlı kriterlerin günümüz şartlarına göre eş değer güçleri göz önüne alınarak kıyaslanmış olup, hızla değişen, gelişen ekonomi ve teknoloji şartlarına bağlı olarak enerji alternatif sıralaması da gün geçtikçe değişiklik gösterecektir.



KAYNAKLAR

- Adam, H. (2016, Mart 28). *Hidrokarbon Adam*. Mart 15, 2019 tarihinde <http://www.hidrokarbonadam.com/global/seviyelendirilmis-elektrik-maliyeti-levelized-cost-of-electricity/> adresinden alındı
- Adıyaman Ç. , 2012, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Niğde, 1-163
- Afgan N. H. , Carvalho M. G. , 2002, Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants *Energy* 27, 739–755
- Akash B. A. , Mamlook R. , Mohsena M. S. , 1999, Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process , *Electric Power Systems Research* , 29-35
- Amer M. , Daim T.U., 2011, Selection of renewable energy technologies for a developing county: A case of Pakistan, *Energy for Sustainable Development* Portland State University, Portland, USA. ,420-435
- Anonim, 2016, Türkiye Petrolleri, Yılı Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu,
- Anonim, 2018a, Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu KPMG, KPMG Enerji Sektörel Bakış, Gazbir, 1-12
- Anonim, 2017, Hidroelektrik, <https://www.yesilhaber.net/2017/03/27/turkiye-hidroelektrikte-26-bin-mw-ile-9uncu-sirada/>[Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2018]
- Anonim,2018b,<http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>, [Ziyaret Tarihi: 11 Haziran 2018]
- Anonim, 2018c, Nükleer Enerji, <http://nukleerakademi.org/nukleer-enerji/dunyada-nukleerenerji/>, [Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2018]
- Anonim,2018d, Solarist, Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı , <http://solar.ist/irena-raporuna-gore-gunes-enerjisi-kurulu-gucunde-13-siraya-yukseldik/> [Ziyaret Tarihi: 11 Haziran 2018]
- Anonim, 2018e, Sürdürülebilir Bir Hayat için Yenilenebilir Enerji Kaynakları, , Ekolojist <http://ekolojist.net/surdurulebilir-bir-hayat-icin-yenilenebilir-enerji-kaynaklari/> [Ziyaret Tarihi: 17 Mayıs 2018]

- Anonymous, 2017, BP Statistical Review of World Energy, 2017. British Petroleum, London: UK.
- Arıkan Kargı V. S. , Aydın Z. B. , 2017, Bulanık Ahp Yönteminin Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçiminde Kullanılması: Bursa Örneği, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, Sayı: 55, 60-74
- Atıcı K. B. , Ulucan A. , 2009, Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları Ve Türkiye Uygulamaları, H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 27, Sayı 1,161-186
- Basar H.B. ,2011, Enerji Santrallerinin Çok Kriterli Değerlendirilmesi Gazi üniversitesi, Ankara, 1-151
- Bayar U. ,Berke M. Ö. ,Milshire M. ,Hoberg J. , Orlandi I. ,Boyle H. , 2014, Türkiye'nin Yenilenebilir Gücü Türkiye için Alternatif Elektrik Enerjisi Arz Senaryolar, WFF-Türkiye, 1-10
- Bayramoğlu T., 2018 ,Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Ve Etkileri: Bayburt Örneği, İşletme Ekonomi Ve Yönetim Araştırmaları Dergisi Journal Of Business Economics And Management Research ,1-16
- Dağdeviren, M., & Eraslan, E. (2008). Promethee Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak.*, 70-71.
- Erdem , S., Gencer, C., Atmaca, E., Karaca, T., & Aydoğan Kızılkaya, E. (2013). *Türkiye'de Enerji Santrallerinin Ahp Yöntemi İle Seçimi*. Küyahya: Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi EYİ 2013 Özel Sayısı ,246-248
- Erdoğan M., 2013 ,Enerji Alternatiflerinin Bulanık Çok Ölçütlü Değerlendirilmesi ve Türkiye İçin Bir Yol Haritası, Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-87
- Esetlili B. Ç. , 2016, Anaç D. , Enerji ve Sürdürülebilirlik, <http://apelasyon.com/Yazi/402-enerji-ve-surdurulebilirlik> , [Ziyaret Tarihi: 18 Haziran 2018]
- Gülenç F. İ., Bilgin Aydın G. (2010), Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: Ahp Yöntemi , Kocaeli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 98-100
- Işıldar, A. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Katı Atık Bertaraf Yöntemi Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü*, 1-75.
- Kahraman C. , Kaya İ. , Cebi S. , 2009, A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process, Istanbul Technical University, Department of Industrial Engineering, 34367, İstanbul,82-102.

- Karaca, C., & Ulutaş, A. (2018). Entropi ve Waspas Yöntemleri Kullanılarak Türkiye İçin Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağının Seçimi. *Ege Akademik Bakış*, 486-493.
- Karagöl E. T. , Kavaz İ. 2017, Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Sayı: 197
- Kılıç R. , Aslan V. 2017, Yenilenebilen Ve Yenilenemeyen Enerjinin İktisadi Büyüme Üzerindeki Etkisi: 28 OECD Ülkesi Üzerine Ampirik Bir Çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, C. 12, S. 1, 1- 12
- Köne A.Ç. ,Büke T., 2007, An Analytical Network Process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey, *Energy Policy* Pages 5220-5228
- Madhuri, Yadav S. , Hiwarkar A. D. ,2017, Selection of Appropriate Renewable Energy Resources for Uttar Pradesh by using Analytical Hierarchy Process (AHP), *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* February, 2580-2587
- Nigim K. , Munier N. , Green J. , 2004, Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources , *Renewable Energy* September ,1775-1791
- Ömürbek N. , Üstündağ S. , Helvacıoğlu Ö. C. , 2013, Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı: Isparta Bölgesi’nde Bir Uygulama, *Yönetim Bilimleri Dergisi* Cilt: 11, Sayı: 21, 101-116, 105-106
- Önüt S. , Tuzkaya U. R. , Saadet N. , 2007, Multiple criteria evaluation of current energy resources for Turkish manufacturing industry , *Energy Conversion and Management*, 1480-1492
- Özcan E. C. , Ünlüsoy S. , Eren T. , 2017, Anp ve Topsıs Yöntemleriyle Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi, *Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ISSN: 2147-9364 (Electronic)*,204-216
- Petrol, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Petrol> , [Ziyaret Tarihi: 18 Mayıs 2018].
- Rezaei, D. J. (tarih yok). <http://bestworstmethod.com/>. 3 13, 2019 tarihinde <http://bestworstmethod.com> adresinden alındı
- Rezaei, D. J. (2015), Best-Worst Multi-Criteria Decision-Making Method. 49-50.
- Sağır H. , Doğanalp B. , 2016, Bulanık Çok-Kriterli Karar Verme Perspektifinden Türkiye İçin Enerji Kaynakları Değerlendirmesi, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı:11, 234-256
- Sevilgen G., Kılıç M. 2013, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilirlik Endeksi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*,Cilt18, Sayı 1,69-79.

- Supçiller A.A. , Çapraz O. , 2011, Ahp-Topsis Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması Ekonometri ve İstatistik Sayı:13 (12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı), 1–22,1-6.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, Güneş, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> , [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2018]
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, Hidrolik, , <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik> , [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2018]
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, Elektrik, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> , [Ziyaret Tarihi: 11 Haziran 2018]
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, Kömür, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur> , [Ziyaret Tarihi: 11 Haziran 2018]
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı, Rüzgâr, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar> , [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2018]
- TEİAŞ, Strateji Ve İş Geliştirme Müdürlüğü, 2017 Yılı Türkiye Elektrik İletimi Sektör Raporu, Mayıs 2018 ,1-17.
- TEİAŞ Sektör Raporları, <https://www.teias.gov.tr/tr/sector-raporlari> , [Ziyaret Tarihi: 6,7 Haziran 2018]
- TEİAŞ, Kurulu Güç , <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc> , [Ziyaret Tarihi: 8Haziran 2018]
- TEİAŞ, Enerji İstatistikler, <https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri> , [Ziyaret Tarihi: 8Haziran 2018]
- Tombakoğlu M. ve ark. , 2011, FMO 27. Dönem Yönetim Kurulu, Tmmob Fizik Mühendisleri Odası Nükleer Enerji Raporu ,9-10
- Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Gücü (WWF-Turkey), <https://www.youtube.com/watch?v=oRLPZLW9FpI> , [Ziyaret Tarihi: 9 Haziran 2018]
- Topcu Y. I. ,Ulengin F. , 2004, Energy for the future: An integrated decision aid for the case of Turkey , Energy , 137-154
- Tsoutsosa T. ,Drandaki M. , Frantzeskaki N. , Iosifidisa E. , Kiossesa I. ,2009 Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete, Energy Policy , 1587-1600
- Urfalıoğlu F., Genç T., 2013, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri İle Türkiye'nin Ekonomik Performansının Avrupa Birliği Üye Ülkeleri İle Karşılaştırılması, Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi, 330-338.

- Uyar F. , Dalga Enerjisi Nedir? Dalga Enerjisinin Avantajları Nelerdir?
 , <http://www.enerjibes.com/dalga-enerjisi/> [Ziyaret Tarihi: 14 Haziran 2018]
- Wang B. , Kocaoglu D. F. , Daim T. U. , Yang J. , 2010, A decision model for energy resource selection in China, Energy Policy, 7130-7141
- Yakıcı Ayan T. , Pabuçcu H. , 2013, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi Y, C.18, S.3, S.89-110.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx> , [Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2018]
- Yenilenebilir Enerji, Yenilenebilir Enerji Kullanımı Neden Artıyor,
<https://geturkiyeblog.com/yenilenebilir-enerji-kullanimi-artiyor/> [Ziyaret Tarihi: 17 Mayıs 2018].
- Yakıncı Z. D. , Kök M. 2017, Yenilenebilir Enerji Ve Toplum Sağlığı İ.Ü. Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, Cilt 5, Sayı 1, 1-13
- Yıldırım M., Örnek İ. , 2007 , Enerjide Son Seçim: Nükleer Enerji Gaziantep Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, 27310 Gaziantep 1-44.
- Zohrul Kabir A. B. M , Shihan S. M. A, 2003, Selection Of Renewable Energy Sources Using Analytic Hierarchy Process,ISAHP,Indonesia ,267-276

EKLER**EK-1**

Kriterler	Güneş Enerjisi	Rüzgâr Enerjisi	Hidroelektrik Enerjisi	Jeotermal Enerjisi	Biokütle Enerjisi
Yat. Maliy.					
İş. Bak. Maliy.					
Kur. İş. Bak. İstih.					
İşl. Ö.					
En. Ver.					
Eko. Pot.					
A. Gerek.					
Elekt. Ürt. Maliy.					
Çevre Etk. Ve Sera Gazı Salınımı					
Geri Ödem Periy.					
Sant. İnş. Süre.					
Dev. Teşv.					
Dışa Bağım.					

EK-2

En iyi Kriter C	Kriterler	En iyi Kriter
Yatırım maliyeti	C1	
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti	C2	
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam	C3	
İşletme ömrü	C4	
Enerji verimliliği	C5	
Ekonomik potansiyel	C6	
Alan gereksinimi	C7	
Elektrik üretim maliyeti	C8	
Çevresel Etki Sera Gazı Salınımı	C9	
Geri ödeme periyodu	C10	
Santral inşa süresi	C11	
Devlet teşviki	C12	
Dışa bağımlılık	C13	

EK-3

En Kötü Kriter C	Kriterler	En Kötü Kriter
Yatırım maliyeti	C1	
İşletme maliyeti ve Bakım Maliyeti	C2	
Kurulum İşletme ve Bakım İstihdam	C3	
İşletme ömrü	C4	
Enerji verimliliği	C5	
Ekonomik potansiyel	C6	
Alan gereksinimi	C7	
Elektrik üretim maliyeti	C8	
Çevresel Etki Sera Gazı Salınımı	C9	
Geri ödeme periyodu	C10	
Santral inşa süresi	C11	
Devlet teşviki	C12	
Dışa bağımlılık	C13	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sezi BİLGİÇ
Uyruğu : TÜRKİYE CUMHURİYETİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Karatay / 1990
Telefon : -
Faks : -
e-mail : seziozdemirkan@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Özel Türmak Anadolu Lisesi, Selçuklu , KONYA	2008
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği,	2013
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği,	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014 - Devam	Meram Elektrik Perakende Satış A.Ş. İş Geliştirme Uzmanı	

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR