

**ANALİTİK SERİM SÜRECİ YÖNTEMİ İLE TÜRKİYE
İÇİN EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ
KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Ayşe GÜLLER YILMAZ

Eskişehir, 2016

**ANALİTİK SERİM SÜRECİ YÖNTEMİ İLE TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN
YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN ANALİZİ**

Ayşe GÜLLER YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL**

**Eskişehir
Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kasım, 2016**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Ayşe Güller Yılmaz'ın “Analitik Serim Süreci Yöntemi ile Türkiye İçin En Uygun Yenilenebilir Enerji Kaynağı Alternatifinin Analizi” başlıklı tezi 18/11/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı-Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL	
Üye	: Doç. Dr. Sevil ŞENTÜRK	
Üye	: Doç. Dr. Fatih ÇEMREK	

Enstitü Müdürü

ÖZET

ANALİTİK SERİM SÜRECİ YÖNTEMİ İLE TÜRKİYE İÇİN EN UYGUN YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ALTERNATİFİNİN ANALİZİ

Ayşe GÜLLER YILMAZ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım, 2016

Danışman: Prof. Dr. Nihal ERGİNEL

Enerji, günümüzde yaşamın temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Ona olan ihtiyacımız, beraberinde tükenme korkusunu da getirmiştir. Teknoloji ve sanayileşmenin giderek artan hacmi karşısında, var olan doğal kaynakların değeri anlaşılmakta olup bunlardan enerji elde etmek ise artık birçok ülkenin başlıca gayesi olmuştur.

Bu çalışmanın amacını; Analitik Serim Süreci Yöntemi kullanılarak Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifinin belirlenmesi ve diğer yenilenebilir enerji kaynağı alternatiflerinin öncelik değerlerine göre sıralanması oluşturmaktadır. Bu yaklaşıma uygun nitelikte belirlenen kriterler, yenilenebilir enerji kaynakları üzerine uzman birinin değerlendirmesine sunulmuştur. İkili karşılaştırmaları yapılan teknik, ekonomik, sosyal, sürdürülebilirlik ve çevresel kriterleri ve enerji alternatifleri için ağırlıklar hesaplanmıştır. Analiz sonucunda sırasıyla; rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle, hidrojen, jeotermal ve deniz kökenli enerji alternatiflerinin Türkiye için uygun olabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Analitik Serim Süreci(ASS), Yenilenebilir Enerji, Çok Kriterli Karar Verme

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE MOST APPROPRIATE RENEWABLE ENERGY RESOURCES FOR TURKEY WITH THE ANALYTIC NETWORK PROCESS

Ayşe GÜLLER YILMAZ

Department of Industrial Engineering
Anadolu University, Graduate School of Science, November, 2016

Supervisor: Prof Dr. Nihal ERGİNEL

Energy has become one of the key elements of our lives today. Also it has brought along with it the fear of the shortage is the need. Technology and capacity in the face of growing industrialization mania is understood the value of existing natural resources and in order to obtain energy from them it has been the country has a lot of.

The aim of this study of using analytic network process approach, to determine rank among prioritize renewable energy source alternatives. The criteria set out in this approach to the appropriate qualifications is presented to evaluate renewable energy sources onto one expert. Binary comparison be made of the technique, economic, social, sustainability and environmental criteria and the weight of the alternatives are calculated. End of the analysis, sequentially wind, solar, hydro, biomass, hydrogen, geothermal and marine origin energy alternatives appropriate for the Turkey.

Keywords: Analytic Network Process(ANP), Renewable Energy, Multi Criteria Decision Making

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Ayşe Güller Yılmaz

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sürecinde, değerli bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, bana her zaman sabır ve ilgi gösteren, varlığı ile çalışmalarına ışık tutan tez danışmanım saygıdeğer Prof. Dr. Nihal ERGİNEL hocama;

Tez çalışmama, bilgi birikimi ve tecrübeleri ile destek olan Enerjisa Enerji A.Ş. Strateji ve İş Geliştirme Müdürü Sayın İbrahim ERDEN'e;

Teknik anlamda bilgi birikimiyle çalışmama katkı sağlayan arkadaşım İstatistikçi Yonca YAZIRLI'ya;

Hayatımın her döneminde bana destek olan fedakar ve değerli ailem ile sevgili hayat arkadaşşıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	4
2.1. Yenilenebilir Enerji.....	4
2.2. Yenilenebilir Enerjinin Önemi	4
2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türleri.....	5
2.3.1. Güneş enerjisi.....	5
2.3.2. Rüzgar enerjisi	7
2.3.3. Jeotermal enerji	8
2.3.4. Biyokütle enerjisi	11
2.3.5. Hidrolik enerji.....	13
2.3.6. Hidrojen enerjisi	15
2.3.7. Deniz kökenli enerji	17
2.4. Dünya’da Yenilenebilir Enerji.....	21
2.5. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	25
3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİMİNDE KULLANILAN KRİTERLERİN BELİRLENMESİ	31
3.1. Literatür Araştırması	31
3.2. Kriterlerin Belirlenmesi	43
4. KRİTERLERİN ANALİTİK SERİM SÜRECİ METODU İLE AĞIRLIKLANDIRILMASI	54

	<u>Sayfa</u>
4.1. Analitik Serim Süreci Metodu (ASS)	54
4.1.1. Analitik Serim Süreci uygulama adımları.....	56
4.2. Kriterlerin Ağırlıklandırılması	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKÇA.....	76
EKLER	81
Ek-1 Ana Kriterlerin Alt Kriterlerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması	81
Ek-2 Ekonomik Kriterinin Alt Kriterleri ile Alternatifler Arasındaki İkili	
Karşılaştırma Matrisleri	83
Ek-3 Teknik Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma	
Matrisleri.....	85
Ek-4 Sürdürülebilirlik Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili	
Karşılaştırma Matrisleri	87
Ek-5 Sosyal Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma	
Matrisleri.....	89
Ek-6 Çevresel Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma	
Matrisleri.....	90
ÖZGEÇMİŞ	92

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1.	Dünya Birincil Enerji Arzı Gelişimi	22
Tablo 2.2.	1990-2015 Yılları Arasında Dünya Birincil Enerji Tüketimi İçinde Kaynakların Miktarı ve Payı.....	24
Tablo 2.3.	1990-2015 Yılları Arasında Türkiye Birincil Enerji Tüketimi İçinde Kaynakların Miktarı ve Payı.....	27
Tablo 3.1.	Literatürde AHS Yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları	33
Tablo 3.2.	Literatürde AHS ile diğer yöntemleri birlikte kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları	37
Tablo 3.3.	Literatürde AHS yöntemi harici diğer yöntemleri kullanarak yapılan çalışmalardan bazıları	42
Tablo 4.1.	ASS metodunda kullanılan önem değerleri	56
Tablo 4.2.	Rasgele değer endeksi tablosu	57
Tablo 4.3.	Kriterlerin birbirleri ile ikili karşılaştırma matrisi	61
Tablo 4.4.	Ticarileşme potansiyeli alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi	63
Tablo 4.5.	Yatırımın geridönüş süresi alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi	64
Tablo 4.6.	Dağıtım kanallarının varlığı alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi	65
Tablo 4.7.	Ekonomik gelişime katkı alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi	66
Tablo 4.8.	SO ₂ alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi	67
Tablo 4.9.	Ticarileşme potansiyelinin teknik kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması.....	68
Tablo 4.10.	Ticarileşme potansiyelinin sürdürülebilirlik kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması.....	69
Tablo 4.11.	Yatırım maliyetinin teknik kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması ...	69

Tablo 4.12. Sosyal açıdan kabul edilebilirliğin, çevresel kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması.....	69
Tablo 4.13. Kriter ve alt kriterlerin göreceli öncelik değerleri	70
Tablo 4.14. Alternatiflerin öncelik ve yüzde değerleri	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Farklı Tipteki Güneş Enerjisi Isı ve Elektrik Sistemleri	6
Şekil 2.2.	Yerkabuğu içerisindeki derinlik-sıcaklık eğrisi	9
Şekil 2.3.	Gelişmiş Jeotermal Sistemler	11
Şekil 2.4.	Su çevrimi	14
Şekil 2.5.	Hidrojen Enerji Döngü Sistemi.....	16
Şekil 2.6.	Dalga Enerjisi Sistemi.....	18
Şekil 2.7.	OTEC Enerjisi Sistemi.....	19
Şekil 2.8.	Deniz Akıntısı Enerjisi Santrali	20
Şekil 2.9.	Med-cezir Enerjisi Santrali	21
Şekil 2.10.	2015 yılı için Dünya Birincil Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı	23
Şekil 2.11.	2015 Yılı Türkiye Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı.....	26
Şekil 2.12.	Hidrolik enerji kurulu gücünün yıllara göre değişimi.....	28
Şekil 2.13.	Rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllar içindeki gelişimi.....	29
Şekil 2.14.	2015 Yılı Enerji Yatırımları.....	30
Şekil 4.1.	Hiyerarşik yapı ile bir ağ yapısı arasındaki fark (a) hiyerarşik yapı, (b) ağ yapısı	55
Şekil 4.2.	Hiyerarşik gösterim.....	60
Şekil 4.3.	Amaca göre kriterlerin karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.4.	Ticarileşme potansiyeline göre alternatiflerin öncelik değerleri	63

Şekil 4.5.	Yatırımın geridönüş süresine göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri	64
Şekil 4.6.	Dağıtım kanallarının varlığına göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri.....	65
Şekil 4.7.	Ekonomik gelişime katkıya göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri	66
Şekil 4.8.	SO ₂ emisyon miktarına göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri	67
Şekil 4.9.	Ticarileşme potansiyeline göre teknik alt kriterlerinin karşılaştırılması ...	68
Şekil 4.10.	Alternatiflerin sıralanması	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ASS	: Analitik Serim Süreci
AHS	: Analitik Hiyerarşi Süreci
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
DEK-TMK	: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GES	: Güneş Enerji Santrali
GW	: Gigawatt
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
KDV	: Katma Değer Vergisi
MW	: Megawatt
NO_x	: Azotoksit bileşikler
OECD	: İktisadi İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı
OTEC	: Okyanus Termal Enerji Dönüşümü
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
RİTM	: Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi
SO₂	: Sülfürdioksit

SO_x	: Sulfüroksit bileşikleri
SWOT	: Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler
TMMOB	: Türkiye Mühendis Mimar Odaları Birliği
TWh	: Terawatt saat
WEC	: Dünya Enerji Konseyi
YEKA	:Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı

1. GİRİŞ

Enerji, ilk çağlardan günümüze, ısınma, barınma, aydınlanma gibi insan ve yaşamın devamlılığını sağlamada enerji en temel gereksinimlerden biri olmuştur. bu temel ihtiyaçların yanında modern hayatın getirdiği araçların üretilmesi, bunların işler halde kullanılabilmesi için de enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Duyulan bu ihtiyaç, toplumların gelişmişlik düzeyiyle de orantılı olarak giderek artmakta ve bu artışın seyri gelecekte enerjinin öneminin yükselmesine işaret etmektedir. Enerjinin giderek artmakta olan bu önemi, onu aynı zamanda dünya devletlerinin ekonomi, siyaset ve askeri gibi politikalarında enerjiyi temel unsur haline getirmektedir.

Dünyanın giderek artan nüfusu, bunun yanında sanayileşmenin getirdiği kentleşme enerjiye olan ihtiyacı sıkça hatırlatmaktadır. Diğer yandan dünyada kullanılan enerjinin önemli bir kısmı fosil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Fakat fosil kökenli enerji kaynakları, kendi yenileyemeyen enerji kaynakları olup, rezervleri giderek tükenmektedir. Tükenen bu kaynaklar, enerji savaşlarını da modern çağa taşımış bulunmaktadır.

Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenmekte oluşunun yanı sıra, kullanımı sonucunda çevreye verilen zararlı emisyonların oluşu, kaynak bakımından zengin olmayan ülkeleri dışa bağımlı hale getirmesi başka enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, kendini her gün yenileyebilen ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Enerji üretiminde ve elde edilen enerjinin tüketiminde emisyon değerleri oldukça az ve çevreye dost bir enerji türüdür. Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyadaki dağılımı fosil kökenli kaynaklara göre daha eşit miktarda olduğundan, dünya ülkelerinin milli enerjilerini üretebilecekleri bir enerji kapısıdır.

Türkiye ise, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Fakat bu anlamdaki potansiyelini kullanamamakta ve enerji ihtiyacını karşılamada kendi kendine yetememektedir. Mevcut ekonomik veriler ışığında, dış ticaret açığının önemli bir kısmını enerji ithalatı oluşturmaktadır. Dış ticaret açığının olması ekonomik olarak adeta bir ülkenin özgürlüğüne vurulan pranga gibidir. Türkiye, üstelik yenilenebilir enerji kaynakları bakımından verimli bir ülke olmasına rağmen enerjide yaşamakta olduğu dışa bağımlılık ve bunu gidermek için yapılabilecekler düşünüldüğünde, bu çalışmanın amacını da ortaya koymaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına artan ilgi ve özellikle gelişmiş ülkelerin enerji politikaları içinde yer alması, Türkiye açısından da değerlendirilmesi gereken bir konu olduğu düşüncesini beraberinde getirmiştir. Bu düşünce doğrultusundan hareketle bu çalışmada, Dünya’da ve Türkiye’de yenilenebilir enerjinin mevcut durumu incelenmiş olup, Türkiye’deki yenilenebilir enerji kaynakları, Analitik Serim Süreci(ASS) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmada, ASS yönteminde kullanılmak üzere oluşturulan kriter ve alt kriterler yapılan literatür araştırması ve uzman görüşü dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada kriter ve alternatiflerin birbirleri ile olan ilişkileri uzman görüşüne sunulmuştur. Bu konuda destek alınan uzman, 2000 yılından bu yana enerji alanında çalışmalarını yurtdışı ve Türkiye’de sürdürmekte olup, özellikle 2011 yılı ve sonrasında yenilenebilir enerji üzerine kariyerini yönlendirmiş ve halen ülkemizin hatırı sayılır bir enerji firmasında yenilenebilir enerji projeleri ve yeni teknoloji uygulamalarından sorumlu iş geliştirme müdürü olarak görev yapmaktadır.

Çalışmayı, diğer literatür çalışmalarıyla kıyaslandığında en dikkat ve ilgi çekici yanı öncelikle konusudur. Türkiye’nin fosil kaynaklar bakımından mevcut potansiyelinin enerji arzını karşılayabilecek nitelikte olmayışı ve bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir alternatif olmasının yanında bu mevcut durumun bilimsel bir yöntemle ve gerçek hayata uyumlu belirlenmiş kriter ölçütleriyle analizinin yapılması literatüre de katkı sağlayacaktır.

Çalışmada kullanılan ASS yönteminin, literatürde incelenen benzer çalışmalarda kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemine nazaran daha doğruya yakın gerçekçi sonuçlar vermesi de çalışmanın farkını ortaya koyan bir başka husustur. Zira AHS yöntemi, enerji konusunda verileri analiz etmede sıkça kullanılmış bir yöntem olmakla birlikte, hiyerarşik bir yapı altında, kriter ve alt kriterlerin birbirleriyle ve kendileriyle olan etkileşimlerini dikkate almadan analiz eden bir yöntemdir. Bunun aksine ASS yönteminde, kriter kümelerinin kendi içlerinde ve kriterlerin alt kriterlerinin ise birbirleriyle olan etkileşimlerini de hesaplamalarına katmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan benzer çalışmalarda teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri genel olarak ana kriterler olarak belirlenmişlerdir. Bu çalışmanın farkını ortaya koyabilecek diğer bir nokta ise, sürdürülebilirlik ana bir kriter olarak belirlenmiştir. Herhangi bir yenilenebilir enerji

projesinin uygun olup olmadığı araştırılırken teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel yönlerinin dikkate alınması gerekir. Fakat bunların yanı sıra, projenin sürdürülebilir olması da son derece önemlidir. bu çalışmayı diğerlerinden farklı kılan bir özelliği de, sürdürülebilirlik kriteri de ana başlık olarak ele alınmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları kendilerini yenileme özelliğine sahiptirler fakat elde edilen enerjinin depolanabilirliği, dağıtımının ne şekilde olacağı, enerji kaynağının potansiyel durumu ve tesis kullanım ömrünün ne kadar olduğu gibi hususlar sürdürülebilirliğin alt kriterlerini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutunun yanı sıra projelerin devamlılığı açısından sürdürülebilir temelli olmaları da önem arz eden bir durumdur.

Bu çalışmada, kriterleri oluşturan alt kriterler ise geniş kapsamda tutularak her birinin amaç üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Literatüre göre daha geniş bir kapsamda, belirlenen kriterlerin sonuca etkisi araştırılmıştır.

Teknik kriter içerisine yatırımın geridönüş süresi alt kriteri uzman tavsiyesi doğrultusunda eklenmiştir. Yenilenebilir enerji projelerinin hayata geçirilmesi sürecinde, yasal mevzuatların ve prosedürlerin tamamlanması, projelerin bunlara uyumlu hale getirilmesi gibi aşamalar belli bir süre dahilinde olmaktadır. Çalışmaya katılan bu alt kriter ile kriter niteliği ve niceliği zenginleştirilmiştir. Özellikle teşvik politikaları adı altında incelenen bir alt kriter de, yenilenebilir enerji kaynakları yatırım projelerinde göz önüne alınan bir husus olması dolayısı ile çalışmaya dahil edilmiş, bu çalışmanın diğer benzer literatürlerden farklı bir yanını daha sunması hedeflenmiştir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

2.1. Yenilenebilir Enerji

Kullanıldıkça kendi kendini tamamlama özelliğine sahip olan yenilenebilir enerji; doğal hayatta sürekli ve birbirini tamamlayacak biçimde ortaya çıkacak akımlardan elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji, doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı anlamına gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynağı ise; doğanın kendi evrimi içinde bir sonraki gün mevcut halini koruyabilen enerji kaynağı olup alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilme özelliğine sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları, yenilenebilir oluşları, çevreye zararlarının en düşük düzeyde oluşu, işletme ve bakım masraflarının az olması ve ulusal enerji elde edilmesinde üstlenmiş oldukları misyon ile ülkemiz ve dünyamız için oldukça önemlidirler.

2.2. Yenilenebilir Enerjinin Önemi

Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının tarihsel süreç içerisindeki yolculuğuna bakıldığında, toplumların bu kaynakları kullanımındaki yöntem ve miktarları da değişkenlik göstermektedir. Sanayileşmenin hız kazandığı 18. Yüzyıl sonlarına doğru enerjiye duyulan ihtiyaç, enerjinin öneminin giderek artmasıyla devam etmiştir. Günümüze değin geline nokta fosil kökenli enerji kaynakları enerji üretiminde temel kaynaklar olarak kullanılmış fakat geçen zaman içerisinde insanlığa, yaşama, doğaya verilen zarar hissedilir boyutlara ulaşmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin artmasının temelinde, fosil enerji kaynakları çevreye yaratmış olduğu olumsuz etkileri olarak küresel ısınma, iklim değişikliği, atmosfer kirliliği veya sera etkisi gibi etkiler sayılabilir ve bunlar insanları, devletleri endişelendirmektedir. Zira atmosfere bırakılan zararlı gazlar yeryüzü sıcaklığının artmasına sebep olmakta ve dolayısı ile iklim değişikliğine neden olmaktadır. Çağın enerji ve enerji kaynakları üzerine kurulu ekonomi politikaları göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artık stratejik önem arz etmektedir.

Birleşmiş Milletler, 1992 yılında hazırlamış olduğu “İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” adlı sözleşme ile bu konuda önlem almak adına önemli bir başlangıç yapmıştır. Sözleşme, 1992 yılında, Brezilya’nın Rio şehrinde düzenlenen Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda, 154 devlet başkanları ve üst düzey temsilcileri tarafından

imzalanarak 1994'te yürürlüğe girmiştir. Sözleşmenin yükümlülükler kısmında yer alan ve sözleşmeyi imzalayan ülkelere, 2000 yılı başında sera gazı salınımlarının 1990 yılı seviyelerine indirilmesi şart koşulmuştur.

2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türleri

Yenilenebilir enerji kaynakları, adından da anlaşıldığı gibi kendini sürekli yenileyebilen enerji kaynakları olup bunlardan en yaygın ve bilinen olanları rüzgar, güneş, hidrolik, jeotermal ve biyokütle enerji kaynaklarıdır. Gelişen teknoloji ve çalışmalar neticesinde yeni yenilenebilir enerji kaynakları da bu sınıfta yerini almıştır. Hidrojen ve deniz kökenli enerji bunlardan biridir. Keşifleri çokta yeni olmayan bu kaynak türlerinin geliştirilmesi, ve bunlardan fayda sağlanması yakın geçmişimize ait bir husustur. Çalışmanın devam eden kısmında bu kaynaklara yönelik bilgiler detaylı bir şekilde ifade edilmektedir(Acaroğlu, 2007, s.1).

2.3.1. Güneş enerjisi

Güneş, yaydığı ısı ve ışık enerjisi sayesinde, Dünyamızın hem ısınması hem de aydınlanmasında çok önemli bir işleve sahiptir. Son yıllarda, Güneş enerjisinden yararlanma oranının artması çevre açısından da umut verici niteliktedir.

1,39 milyon km çapında ve Dünya'ya yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta olan, sıcak gazlardan (% 95 oranında hidrojen) meydana gelmiş bir kütle olan Güneş'ten elde edilen enerji; çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının parçalanma reaksiyonu sonucu helyum gazına dönüşmesi ile oluşmaktadır. Bu tepkime sonrasında açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmı ısınma yoluyla uzaya yayılmaktadır. Enerjinin büyük bir kısmının uzaya yayılması ve çok az bir kısmının dünyaya gelmesine rağmen, bu az miktardaki kısım bile değerlendirildiğinde önemli bir enerji ihtiyacını karşılayabilecek niteliktedir(Şen, 2002, s. 58).

Güneş'in Dünya'mıza ulaşmasında dikkate alınması gereken bazı parametreler vardır. Bunlar, mevsimsel, coğrafi ve günlük saat etkileridir. Güneş'ten gelen ışınların değişkenlik ve yoğunluk farkları gösterse bile bunlara rağmen büyük bir enerji kaynağı oluşu yok sayılamaz bir gerçektir. (Alemdaroğlu, 2007, s. 26).

Güneş enerjisinden ısı güneş teknolojileri ve güneş hücreleri olmak üzere temelde iki grupta faydalanılmaktadır.

Isıl güneş teknolojilerine örnek olarak güneş toplayıcıları, güneş havuzları, sera

ısıtma, ürün kurutma, güneş ocakları, bina ısıtma sistemleri verilebilir. Güneş toplayıcıları, güneş ışınlarını üzerinde toplayarak elde edilen ısıyı sisteminde bulunan bir akışkana aktararak ısı iletimi sağlamakta ve bu sayede binaların ısınması gerçekleştirilmektedir. Güneş ocakları ise, güneş ışınlarını çanak şeklinde odak merkezinde toplamakta ve bu ısı enerjisiyle yemek pişirilmesine imkan sağlamaktadır. Güneş havuzlarında ise yine benzer bir mantıkla havuzda biriken güneş ışınları havuzun koyu renkli olan dibinde birikerek ısı yoğunluğu oluşturur ve bu sayede merkezi bir ısınma sistemi ile binaların ısınması sağlanabilmektedir. Havuzun kapasitesi arttıkça daha fazla alana ısı aktarımı söz konusu olabilmektedir. Isıl güneş teknolojilerinde elde edilen ısı enerjisi elektrik enerjisine de dönüştürülebilmektedir.



Şekil 2.1. *Farklı Tipteki Güneş Enerjisi Isı ve Elektrik Sistemleri*

Kaynak: *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB),2012*

Bina çevresine döşenen güneş toplayıcıları sayesinde doğrudan bina ısınması gerçekleştirilebilir. Bu aynı zamanda, güneş ışınlarının dünyamıza eğik geldiği dönemlerde de bu ışıklardan faydalanılmasına olanak tanır. Seracılık ve ürün kurutma sistemlerinde ise tarım sektöründe yararlanılır. Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisi yeteri kadar fazla olduğunda elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Fakat bu

sistemler, diğer ısı sistemlere göre daha karmaşık ve maliyetlidir.

Güneş enerjisinden faydalanma tekniklerinden diğer güneş hücrelerine örnek olarak güneş pili olarak adlandırılan fotovoltaik PV teknolojileridir. Fotovoltaik PV teknolojileri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmektedirler. Güneş pilleri, pil yüzeyine gelen güneş ışınları gerilim oluşturarak elektrik üretilmektedir. Güneş pilleri yarı iletken malzemelerden üretilmekte olup kullanılan malzemeye göre elde edilen verimliliğin derecesi değişmektedir. Güneş pillerinden elde edilen verimlilik değerleri %5 ile % 30 arasında değişim göstermektedir. Son yıllarda güneş pilleri üzerine güneş pillerinden elde edilen elektrik enerjisi üretimi verimi artırmaya yönelik yapılan Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir.

Güneş pillerinin kullanımının yaygınlaşmasına engel olabilecek bir diğer husus ise elde edilen enerjinin elektrik şebekesine bağlanmasında teknik alt yapının yetersiz oluşudur. Elde edilen enerjinin depolanması zor olduğundan enerji fazlalığının değerlendirilmesinde şebekeden bağımsız kullanım alanları devreye sokulabilmektedir. Örneğin; park ve bahçe aydınlatması, deniz fenerleri, otoyol aydınlatmaları, telefon iletişim sistemleri gibi alanlarda elde edilen güneş enerjisi elektrik enerjisi olarak kullanılabilir. Bununla birlikte güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin elektrik şebekesine bağlanmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Enerji dağıtım kanallarının yaygınlaşmasıyla birlikte Güneş'ten elde edilen elektrik enerjisinin de kullanımı artacak ve temiz ve çevreci, diğer yandan da tükenmek bilmeyen bir enerji kaynağı daha verimli bir kullanıma sahip olacaktır(Üçgül vd., 2006, s. 43).

Güneş pillerinin maliyetlerinin yüksek oluşu, kullanımının yaygınlaşmasına da engel olmaktadır. Özellikle kapalı havalarda güneş ışınların dik açıyla gelmemesi, güneşli havalarda ise fazla üretilen enerjinin depolanamaması, ve enerji eldesinde kullanılan güneş panellerinin geniş alanları kaplaması ve bu alanların başka bir amaçla değerlendirilememesi ise güneş enerjisinin kullanımını ve yaygınlaşmasını olumsuz etkileyen etmenlerdir. Fakat güneş pillerinin geliştirilmesi ve maliyetlerin düşmesi halinde elde edilecek elektrik enerjisinin miktarı ihtiyaca cevap verebilecek ve her bireyin dahi zamanla kendi sistemini kuracağı bir hale gelecektir.

2.3.2. Rüzgar enerjisi

Rüzgar; Güneş'in, Dünya'nın çeşitli bölgelerini farklı ısıtması neticesinde oluşan hava hareketleri olarak tanımlamak mümkündür. Güneş ışınları, yeryüzüne ulaşarak

yüzey katmanlarını ısıtmakta; bu katmanlardan atmosfere geri yansıyan ışınlarda havanın ısınması sağlamaktadır. Güneş'ten alınan ısı enerjisi değişik zaman ve mekanlarda farklılık göstermekte olup bu durum ise rüzgarı meydana getirmektedir. Rüzgar enerjisi ise, hareket eden havadan sağlanan enerji olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar enerjisinden tarih boyunca çeşitli şekillerde faydalanılmıştır. Mekanik ve elektrik enerjisi olarak faydalanabildiğimiz rüzgar enerjisi kullanımlarına örnek olarak arazilerin kurutulması, hayvanların su ihtiyaçlarının giderilmesi, kesme, biçme ve öğütme verilebilir. Modern zamanlarda, rüzgardan elektrik enerjisi olarak faydalanmak ise daha popüler hale gelmiştir. Rüzgar türbinleri sayesinde hava hareketlerinden faydalanılarak elektrik enerjisi üretilmektedir.

Günümüzde, rüzgardan elde edilen enerji birçok ülke ve kurumdan yoğun bir ilgi görmektedir. Rüzgar enerjisine dayalı teknolojiler geliştikçe, bu enerji kaynağından üretilen enerji daha da ekonomik hale gelmektedir. Bu durum ise rüzgar enerjisinin ticarileşme potansiyelini artırıcı bir unsur teşkil etmektedir.

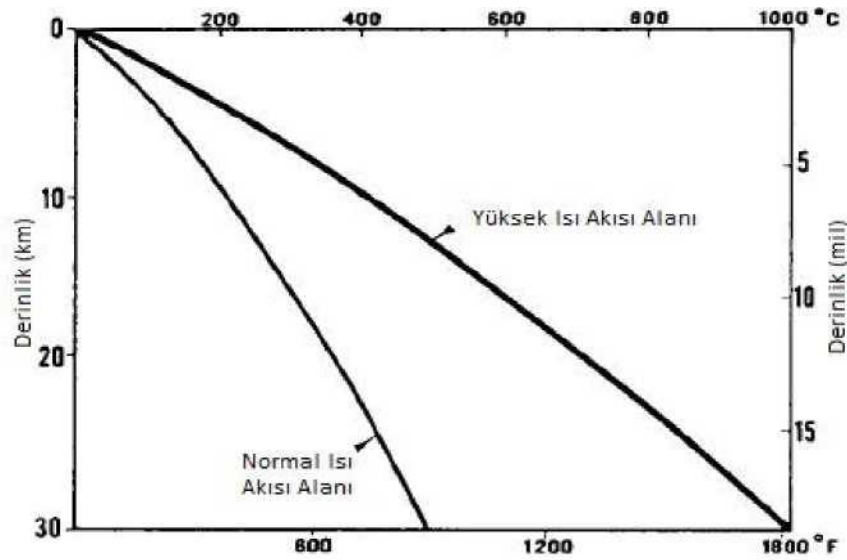
Rüzgar enerjisi potansiyeline ilişkin dünyayı içeren net rakamlar olmamakla birlikte, potansiyelin ne kadar olduğunu belirlemede rüzgar gücü izleme ve tahmin merkezleri kurularak enerji potansiyelleri ölçülmeye çalışılmaktadır. Bu sayede hangi yerde rüzgar enerjisi üretim tesisinin kurulacağına daha kolay karar verilebilmektedir. Rüzgar enerjisi potansiyelini meteorolojik, teknik ve ekonomik olmak üzere üç kategoride inceleyebiliriz. Meteorolojik potansiyel, doğanın mevcut halindeki rüzgar potansiyelini ifade etmektedir. Teknik potansiyel ise elde var olan teknik alt yapı, imkan ve olanaklar göz önüne alınarak hesaplanan potansiyeldir. Ekonomik olarak gerçekleştirilebilecek potansiyel ise adından da anlaşılacağı üzere ekonomik potansiyeldir. Meteorolojik potansiyelinden ziyade ekonomik ve teknik potansiyel değerleri, rüzgar enerjisi yatırım projelerinde daha fazla dikkate alınan değerler olarak görülmektedir. Zira meteorolojik potansiyeli ne kadar fazla olursa olsun, ekonomik anlamda sınırları zorlayan bir noktada yer aldığına, olası bir projenin uygulanması ihtimali de bundan dolayı olarak etkilenecektir.

2.3.3. Jeotermal enerji

Jeotermal kaynağın bileşenlerini yer kabuğunun derinliklerinde oluşan ısı, bu ısıyı yeryüzüne taşımayı sağlayan akışkan ve bu akışkanın ihtiva ettiği sıcaklığı yeryüzüne aktarmasına yardımcı olan kayaç geçirgenliğidir. Buradaki akışkan çoğunlukta su olup

içerisinde mineral ve kimyasallar bulunmaktadır. Jeotermal enerji ise, yer kabuğunun derinliklerinde olan bu ısının buhar halinde veya sondajlarla çıkartılmasıyla elde edilen enerjiye denir.

Yer kabuğunun derinliklerinin, yeryüzüne göre çok daha fazla sıcaklık barındırdığı bilinen bir gerçektir. Fakat yer kabuğunun derinliklerinin henüz daha çözülemeyen yapısı ve radyoaktif maddelerin varlığı ısı enerjisi potansiyelinin ne kadar olduğu tam olarak bilinmesine olanak tanımamaktadır. Bu potansiyelin değerlendirilmesi halinde yeryüzünün önemli bir enerji ihtiyacını karşılayabilecek miktardadır. Bilinmesi teknik anlamda mevcut şartları zorlamakta, fayda/maliyet oranında düşük değerler ortaya koymaktadır. Yerkabuğunun derinliklerine inilmesi mevcut sondaj teknikleri ile neredeyse imkansızdır.



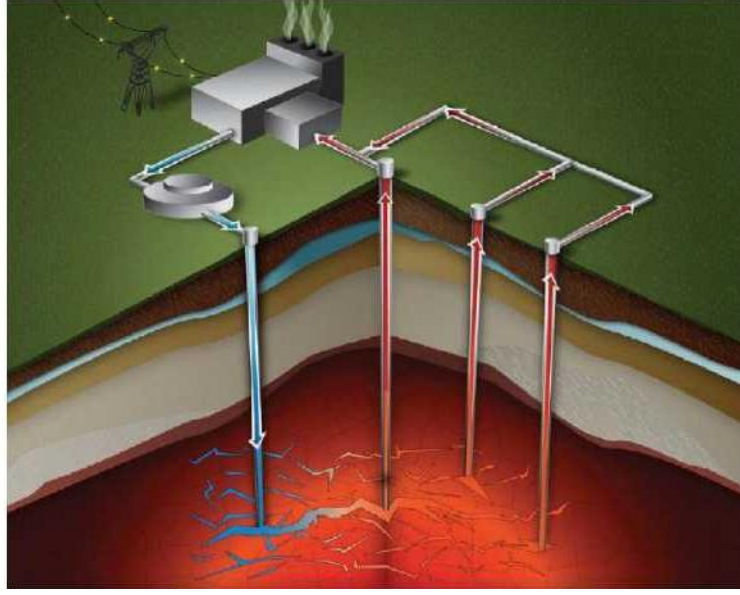
Şekil 2.2. Yerkabuğu içerisindeki derinlik-sıcaklık eğrisi

Kaynak: Lund vd., 2004, s. 7

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yeryüzünün derinliklerine gidildikçe sıcaklığın arttığı görülmektedir. Jeotermal gradyen, yerkabuğunun derinliği ile sıcaklığın artışını ifade etmektedir. Modern teknoloji sondaj derinliklerinde, jeotermal gradyen ortalama 2,5-3°C/100 m.’dir. Örneğin, yıllık ortalama dış hava sıcaklığının 15°C olduğu varsayıldığında zemin seviyesinin ilk birkaç metre derinliğinde de bu sıcaklık aynıdır. 2000 m. derinliğe inildiğinde sıcaklık 65°-75°C değerine, 3000 m. derinliğinde ise 90°-105°C civarına ulaşır. Ayrıca ortalama jeotermal gradyen değeri 1°C/100 m’den daha

düşük olan ya da bu değerden on kat daha fazla olan geniş alanlar da mevcuttur. İlk birkaç on kilometre için yerküre sıcaklığının derinlikle arttığı kesin olmakla beraber merkeze kadar sabit bir sıcaklık artışına sahip olduğu farz edilir(Yalçınkaya, 2013, s. 30).

Jeotermal kaynaktan ısı eldesi en basit haliyle şu kelide gerçekleşmektedir. Yeraltında bulunan sıcak akışkan, ki genellikle bu içerisinde bazı mineral ve kimyasal maddeler içeren bir su buharı ya da sudur, sıcaklığı ona göre çok daha düşük olan yüzeye yakın yerlerde bulunan akışkan ile yer değiştirir. Bunun sebebi su buharının sıcaklığının arttıkça viskozitesinin azalmasından kaynaklıdır. Viskozitesi azalan suyun kaldırma kuvveti de artacağından soğuk olan su ile yer değiştirir. Bu sayede sıcak su buharı yeryüzüne ulaşır. Bunun kendiliğinden gerçekleşemediği zamanlarda ise gelişmiş jeotermal ve sondaj sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemin çalışma prensibinde ise şekil 2.3'te görüldüğü gibi düşük kayaç geçirgenliği olan kısımlardan delinen iki kuyu bölgesinden birinde soğuk su kuyudan aşağı verilerek, aşağıda yer alan sıcak suyun yeryüzüne hareketi sağlanır ve bu döngü sürekli devam eder. Yeryüzüne çıkan sıcak su veya su buharı, ihtiva ettiği ısı miktarına göre sisteme eklenen jeneratör ile ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Jeotermal kaynak civarında yer alan yerleşim birimlerinin ısıtılması ve elektrik ihtiyacının giderilmesi bu yolla sağlanabilir. Yer altında sıcak haldeki akışkanın durumu, içeriğinde yer alan gazların bileşimleri, sıcaklık miktarı ve basıncı, dışarıda kurulacak tesisin de özelliklerinde belirleyici bir unsur olur. Bu tesislerdeki amaç, maksimum gücü elde etmektir(Yalçınkaya, 2012, s. 35).



Şekil 2.3. Gelişmiş Jeotermal Sistemler

Kaynak: Yalçınkaya, 2012, s. 37

Jeotermal enerji, kullanımında çeşitli güçlükler barındırsa da yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşu, doğada hazır halde bulunuşu ve bulunduğu ortamda ısı ve elektrik enerjisi olarak değerlendirilebilmesi ve tasarruf sağlamasının yanında kompleks yapı gerektirmeyişi, kurulum maliyetinin yüksek olmayışı, diğer fosil enerji kaynaklarına göre çevreci oluşu yönüyle tercih edilebilir bir enerji türüdür.

Yerinde bir kaynak olması sebebiyle sadece bulunduğu alana yakın yerlerde değerlendirilebilir oluşu dezavantajlarından biri olarak sayılabilir. Sistemde yer alan boruların tıkanması ise bakım ve onarımını zorlaştırma ve maliyetini artırmaktadır. Ayrıca su buharı içeriğinde ihtiva edilen bazı gazlar çevreye yayılarak zararlı olabilmektedir.

2.3.4. Biyokütle enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi, fosil kökenli enerji kaynaklarına göre çevreye duyarlıdır. Diğer enerji kaynaklarından farklı bir yanı ise sadece doğada hazır halde bulunmayıp ayrıca yetiştirilerek de potansiyeli artırılabilir. Biyokütle enerjisi, havyansal ve bitkisel kökenli olup bu kaynaklardan üretilen bir enerji türüdür. Bilindiği üzere bitkiler, güneş enerjisinden fotosentez yoluyla enerjiyi bünyelerinde depolamaktadır.

Biyokütle, ısınma, yakıt ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilir. Biyokütle enerjisi, soya, aspir, kolza, aspir, pamuk gibi tohum bitkilerinden elde edilen

biyoyakıtların yanı sıra enerji ormanları ve ağaç artıklarının yakılarak da enerji eldesi mümkündür. Bunların yanı sıra, hayvansal ve şehir atıkları da enerji eldesinde çeşitli kimyasal ve fiziksel tepkimeler ile kullanılmaktadır(Utlı, 2006, s. 3).

Biyokütle enerji kaynaklarını, klasik ve modern kaynaklar olmak üzere iki başlık altında değerlendirilebilir. Modern biyokütle enerji kaynakları şehirsal atıklar, bitkisel ve hayvansal atıklar ve ayrıca yetiştirilen enerji ormanlarıdır. Bitkisel, hayvansal ve şehirsal atıklardan modern üretim teknikleri ile biyoyakıt elde edilmekte, üretilen bu biyoyakıtlar ise ısı ve elektrik üretiminde de kullanılabilir. Klasik biyokütle olarak tabir olunan biyokütle kaynakları ise çoğunlukla klasik yöntem diyebileceğimiz yakma işlemiyle ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Biyokütle kaynaklarının yakıt, ısı ve elektrik enerjisi olarak değerlendirilebilmesinde çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojik çevrim yöntemleri sayesinde uygulamalar daha verimli hale gelmektedir. Bu yöntemlere aşağıda kısaca değinilmiştir.

Havasız çürütme: en basit tanımıyla, biyokütle içerisinde yer alan bakterilerin oksijensiz ortamda kalması yolu ile sağlanan bir yöntemdir. Özellikle yaş orman atıkları, kent atıkları, kanalizasyon atıkları bu yöntem için uygun biyokütle kaynaklarıdır. Tepkime sonucunda, metan ve karbondioksitten oluşan biyogaz elde edilmektedir. Elde edilen biyogaz, doğalgaza karıştırılarak araçlarda yakıt olarak kullanılabilir (Gülay, 2008, s. 111).

Doğrudan Yakma: Biyokütlelerin ısı enerjisi için doğrudan yakılarak üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmakla birlikte. Son yıllarda verimi arttırmak ve ısı enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle, biyokütle ile kömürün bir arada kullanıldığı (birlikte yakma) termik santrallerde, % 45' in üzerindeki verimlilik oranıyla elektrik üretiminde ticari bir seviyeye ulaşılmıştır.

Fermantasyon: İçeriğinde şeker, selüloz ve nişasta ihtiva eden biyokütlelerin mayalanarak içeriğindeki karbonhidrat türevli bu maddelerin bozunması sonucu alkol elde edilmesi yöntemidir. Bu işlem sonunda üretilen alkol, biyoyakıt (örneğin biyoetanol) olarak benzinle karıştırılarak kullanılmakta, özellikle yeni tasarım araçlarda bu kullanıma uygunluk giderek yaygınlaşmaktadır.

Gazlaştırma: İçeriğinde karbon olan biyokütlelerin 650 °C ile 850 °C gibi sıcaklık aralıklarında bozunması sonucu metan, hidrojen gibi yanıcı gazlar elde edilmesi

işlemidir. Buradan elde edilen yanıcı gazlardan gaz türbinlerinde yakılarak enerji üretilmesi sağlanmaktadır. Bu esnada açığa karbondioksit gibi gazlar da çıkmaktadır. Bu konuyla alakalı yapılan çalışmalar devam etmekte olup, varılan noktanın geliştirilmesi sayesinde bu yöntem diğer sistemlerle yarışabilecek hale gelecektir.

Esterleşme reaksiyonu: Yağlı tohum bitkileri olan kanola, ayçiçeği, aspir, pamuk gibi bitkilerinden elde edilen yağların, bitkisel ve hayvansal atık yağların alkol ve bir katalizör yardımıyla tepkimeye girmesi sonucu gliserin ve biyodizel oluşması reaksiyonudur. Bu yöntemle elde edilen biyodizelin ısı verimliliği motorine çok yakındır. Ayrıca alevlenme noktasının yüksek olması, bu yakıtın kolaylıkla alev almamasını sağlamaktadır. Bu sayede biyodizel daha güvenli bir yakıt halini almaktadır. Ayrıca yakılması sonucu oluşan emisyon değerleri ise daha az olup çevrecidir. Reaksiyon çıktısı olan gliserol ise sağlık ve kozmetik sektöründe kullanılan değerli bir madde olup bu üretim maliyetini düşürücü bir etki sunmaktadır. Biyodizel, motorinle belli oranlarda karıştırılarak yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizelin karışım oranı ne kadar fazlaysa çevreye salınan emisyon değeri de o kadar az olmaktadır. Biyoyakıtların özellikle son dönemde elektrik üretimi içinde kullanılabilmesi hususunda çalışmalar devam etmektedir(Gülay, 2008, s. 113).

Biyokütle enerjisinin yerel üretime kazandırılmasıyla enerjide dışa bağımlılık azaltılabilir. Ekimi, yetiştiriciliği veya enerji üretimi, kullanımı yapılan yerde istihdam yaratarak sosyo-ekonomik gelişime katkı sağlar. Özellikle kırsal kesimlerde, atıl alanların değerlendirilmesinde bir teşvik unsurudur. Diğer yandan değerlendirilebilecek mevcut kentsel yahut orman atıklarının toplanması ve taşınması ekstra maliyet getiren hususlardır. Maliyeti artırarak karı azaltıcı bir hal söz konusu olabilmektedir. Ayrıca biyokütle enerjisi üzerine kurulacak sistemler teknoloji ve kurulum maliyetleri getirmektedir.

2.3.5. Hidrolik enerji

Hidrolik enerjide, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sonucunda elde edilmektedir. Hidroliğin yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul görmesinin altında yatan bazı sebepler vardır. Hidrolik kaynaktan enerji elde edilmesinde yerli kaynak olan akarsular vb. kaynaklar kullanılmaktadır. Ayrıca diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi Güneş'in doğada yatarmış olduğu döngüden meydana gelmektedir. Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi, güneş ışınlarının

yeryüzüne gelmesiyle buharlaşan su kaynakları, bulutların buharlaşan suyu, atmosferik koşullarda rüzgarın da etkisiyle yoğunlaştırarak yağmur yahut kar şeklinde tabiata sunmasıyla tekrar akarsularda, göllerde, denizlerde birikmektedir. Bu sayede kendini sürekli yenileyen bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır(TMMOB, 2011, s. 26).



Şekil 2.4. Su çevrimi

Kaynak: Dalkır, Şeşen, 2011, s. 14

Hidrolik kaynaktan elektrik elde edilmesini sağlayan hidroelektrik potansiyel; teorik, teknik ve ekonomik olmak üzere üç tanımda değerlendirilmektedir. Teorik potansiyel, bir yerde bulunan hidroelektrik potansiyelinin tamamının verimli bir şekilde kullanılmasını varsayarken, teknik potansiyel ise teorik potansiyelin teknik koşullar dikkate alınarak değerlendirilebilecek potansiyelini ifade eder. Ekonomik potansiyel ise var olan teknik potansiyelin ekonomik ölçütlere göre değerlendirilip karlı olmasını dikkate alan potansiyel yaklaşımıdır(Uluatam, 2011, s. 63).

Hidroelektrik enerjisinden elde edilecek faydanın maksimum olabilmesi için, mevcut potansiyelinin yanı sıra, yatırım maliyetinin, elde edilecek aynı miktarda enerjinin başka kaynaklardan elde edilecek enerjiyle üretim maliyetinin kıyaslandığında ne kadar olduğunun da bir anlamı vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen her enerjide bu tür maliyet kıyaslamalarının yapılması doğru tercihler verilmesine de imkan sağlayacaktır.

Hidroelektrik enerjinin üretildiği santralleri baraj, nehir tipi ve pompajlı rezervuarlı incelemek mümkündür. Baraj tipi santrallerde su birikintisinin önü set biçiminde bir barajla kapatılır. Yağışlı havalarda biriken baraj önündeki su hacim

fazlalığından faydalanılarak elektrik üretiminde kullanılır. Akarsu gibi hareket halindeki suyun önüne çekilen regülatörün önü akan suyun debisiyle birlikte yoğun bir hacim haline gelmekte ve bu sayede biriken su ile enerji üretilmektedir. Pompajlı rezervuarlı santrallerde ise, birikimli suyu üst rezervuara alınır ve enerji ihtiyacı hasıl olduğunda üst bölümden alt bölüme aktarılan suyun kinetik enerjisi türbinden geçerek elektrik enerjisine dönüşür (Dalkır, Şeşen, 2011, s. 26). Enerji üretiminde kullanılacak kaynağın ekonomik potansiyeline göre kurulacak elektrik santralının tipi ve büyüklüğü de değişiklik gösterecektir.

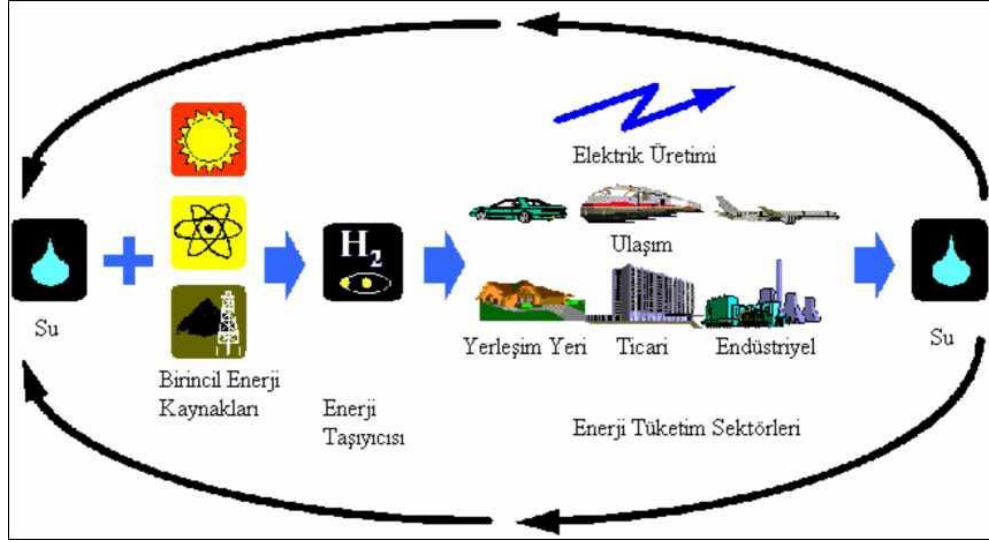
Hidroelektrik enerji, yerli bir enerji türü olup, yatırım maliyeti yeni geliştirilen yenilenebilir enerji sistemlerine göre nispeten daha az olabilmektedir. Yerel su kaynaklarının bu şekilde değerlendirilmesi milli ekonomiye hem enerji arz güvenliğini sağlaması bakımından hem de istihdam yaratması bakımından katkı sağlamaktadır. Özellikle coğrafi yapısı uygun olan yerlerde bu enerji kaynağından elde edilecek enerjinin verimi de fazla olmaktadır. Temiz bir enerji kaynağı oluşu onu avantajlı kılan diğer bir olumlu özelliğidir. Fakat, yerleşim yerlerinin zarar görmesi ve o bölgede yaşayan insanları göçe zorlaması, bölgede iklim değişikliğine sebep olabilmesi ve balık yaşamının zarar görmesi sosyal açıdan kabul edilebilirliğini negatif manada etkilediğinden bu enerji kaynağının olumsuz yönleri olarak sayılmaktadır (Uluatam, 2011, s. 63; Gürsoy, 1999, s. 179).

2.3.6. Hidrojen enerjisi

17. yüzyılda İngiliz bilim adamı Robert Boyle tarafından demir parçasını asit çözeltisinde eritmeye çalışırken tesadüf eseri bulmuştur. Üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda eşsiz özellikleri olduğu keşfedilen hidrojen elementi, 21. Yüzyılın enerji taşıyıcısı olarak dahi nitelendirilmektedir (Ağaçbiçer, 2010, s. 42).

Hidrojen, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını aksine doğada kullanıma hazır halde bulunmamaktadır. Kömür doğalgaz gibi fosil kaynaklardan, biyokütleden, rüzgar güneş gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ve suyun elektrolizi yöntemi ile sudan üretimi mevcuttur. Kullanıldığından çevreye ve insana zararlı bir etkisi tespit edilmemiştir. Uçucu bir gaz olduğundan kullanımı esnasında oluşan bir sızıntıda çevreye yayılarak tehlike arz etmemektedir. Hidrojen üretimi ve elde edilen enerjinin dağıtımı, depolanması gibi sorunlar bugün hidrojen teknolojisinde cevap bekleyen ve geliştirilmeye ihtiyaç duyulan alanlardır.

Hidrojenden elektrik enerjisi, ısı enerjisi ve yakıt enerjisi şeklinde fayda sağlamak mümkündür. Özellikle ısı değeri fazla olduğundan uçaklarda da sıvılaştırılarak yakıt anlamında kullanımı mevcuttur. Hidrojen enerji döngü sistemi Şekil 2.5'te gösterilmiştir(Çelik, 2012, s. 19).



Şekil 2.5. Hidrojen Enerji Döngü Sistemi
Kaynak: www.hidrojen.gen.tr, Erişim tarihi: 08.04.2016.

Hidrojen yakıldığından yanma reaksiyonu sonrasında tekrar su oluşmaktadır. Su hiç kaybolmadığından dolayı hidrojen de yenilenebilir enerji olarak değerlendirilmektedir. Üretiminde kullanılan su, yanması sonunda tekrar açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan atık su ve su buharı olduğundan oldukça çevreci bir yakıt türüdür.

Hidrojen, üretilen enerjinin depolanmasında da alternatif bir kaynak olup, bu alanda çalışmalar devam etmektedir. Özellikle hidrojen enerjisinin yakıt pillerinde depolanması kullanımını da yaygınlaştıracaktır. Bu teknolojinin geliştirilmesi halinde, taşınabilir bilgisayarlardan cep telefonlarına, toplu taşıma araçlarından otomobillere varıncaya kadar geniş bir kullanım alanı oluşacaktır(Adıyaman, 2012, s. 115).

Mevcut sistem geliştirilerek hidrojen enerjisi üretiminde ilerleme kaydedildiğinde özellikle okyanusların hidrojen üretiminde kullanılabilecek olması büyük bir potansiyelin enerji konusunda değerlendirilmesine de imkan sağlayacaktır. Fakat, üretiminin maliyetli oluşu, bu konuda teknik ve teknolojik yetersizlikler hidrojen üretiminin şuan için olumsuz yanlarını ortaya koymaktadır. Hidrojen gaz halinde geniş

bir hacim kapladığından, sıvılaştırılarak kullanılması depolanması ve maliyeti noktasında daha kullanışlı olacaktır. Ancak, -253°C ' de sıvılaştırılabilir olması, bu hale getirilmesinde ekstra enerji harcanması anlamına gelmektedir. Bu ise elde edilen enerjinin %38 inin kaybolması demektir. Üretiminde suyun kullanıldığı hidrojen üretiminde özellikle soğuk iklimli bölgelerde 0°C 'nin altında suyun donması, sistemi çalışamaz hale getirecektir. Bunun önüne geçmek için sağlanacak ısıtma koşulları için enerji sarfıyatı gerektirecek ve sistemin ekonomik verimini düşürecektir. Bu hususlar hidrojen üretiminin dezavantajları olarak sayılabilmektedir.

2.3.7. Deniz kökenli enerji

Dünyanın dörtte üçünün denizlerle kaplı olduğu düşünülürse deniz kökenli enerjinin yenilenebilir enerji kaynağı anlamındaki potansiyeli oldukça fazladır. Dalgaların gücünden faydalanan dalga enerjisi, deniz akıntısından faydalanan deniz akıntısı enerjisi, gel-git olayından yararlanılarak elde edilen gel-git enerjisi ve deniz sıcaklık farkından yararlanılan gradyent enerjisi deniz kökenli enerji çeşitleridir(Koltukçu, 2010, s. 59).

Güneş ışınlarının Dünyamıza farklı yerlerine farklı açılarla düşme sonucu meydana gelen sıcaklık farklarından dolayı oluşan hava hareketleri rüzgarı meydana getirmektedir. Rüzgar, deniz ve okyanuslarda su yüzeyine sürtünerek dalgaları oluşturmaktadır. Dalgalardan elde edilecek olan enerjinin elde edilmesinde, ilk yatırım ve bakım maliyetleri düşüktür. Bunun yanı sıra çevreyi kirletmeyen bir enerji türü olup potansiyeli de oldukça fazladır(Ablabekova, 2008, s. 128).

Dalga enerjisi potansiyelini ölçmek için pahalı ölçüm sistemlerine ihtiyaç vardır. Kesikli bir enerji sistemi olduğundan depolanması gereken dalga enerjisi potansiyelini belirlemede o bölgede etkili olan rüzgar enerjisi kullanılır. Rüzgar enerjisi potansiyeli ölçülerek bunun dalga enerjisi sistemine etki ettiği bir denklem ile bağıntı haline getirilir ve dalga enerjisi potansiyeli yapay bir formül ile elde edilir. Böylece elde edilecek dalga enerjisi de hesaplanabilmektedir(Koltukçu, 2010, s. 60).

Dalga enerjisi elde edilirken, dalganın gücüne karşılık gelebilecek nitelikte bir set dalganın önüne kurulur. Bu sayede gelen dalganın gücünden faydalanılır. Bu sistemler sabit ve hareketli olmak üzere iki kısma ayrılır. Hareketli sistemde, gelen dalga ile birlikte hareket eden bir dönüştürücü vardır. Dalanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Sabit sistemlerde ise gelen dalga yükseltilerek elde edilen su seviyesi yüksekliği

ile potansiyel enerji elde edilmektedir. Dalga enerjisi dönüştürme sistemlerine örnek olarak kıyısal rampa, şamandıra, hava camı ve dalga pompası verilebilir. Şamandıra sisteminde, denizin dibine yerleştirilen şamandıra bir pompaya bağlanır, dalga geldikçe meydana gelen hareketten dolayı pompa çalışır ve buraya bağlı türbinleri çalıştırarak enerji elde edilir. Dalga pompası sisteminde de buna benzer bir çalışma prensibi vardır. Suyun belli bir derinliğine indirilen tek yönlü pompadan içeri giren su pampa içerisinde bulunan türbin içerisinden geçerek elektrik enerjisi üretir. Kıyısal rampa sisteminde ise dalgaların hareketiyle yükselen su denizde oluşan rampaya birikerek oluşan yükselti sonucu burada yer alan türbinleri çevirerek elektrik enerjisi üretilmesini sağlamaktadır. Hava camı olarak adlandırılan sistemde ise deniz yüzeyine ters olarak yerleştirilen ve içinde hava basıncı bulunan camın, dalgaların yükselmesiyle içinde sıkışan hava ile basıncı artar ve yine cam içinde bulunan türbinden bu sayede elektrik üretilmesi sağlanır(Sayın, 2006, s. 18).

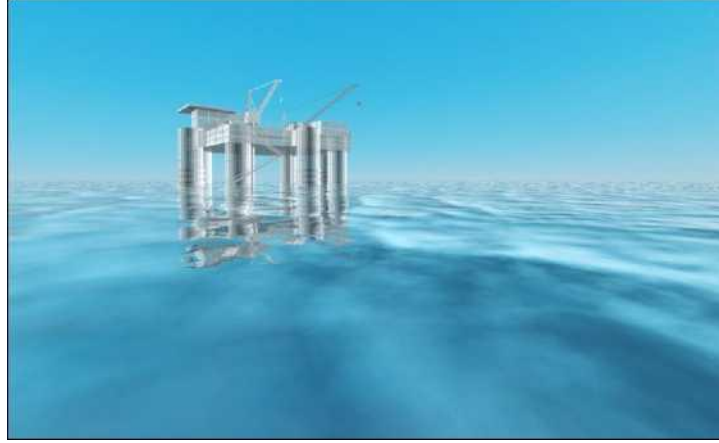


Şekil 2.6. Dalga Enerjisi Sistemi

Kaynak: www.yapihaberleri.net, Erişim tarihi: 08.04.2016

Deniz kökenli enerjide yararlanılan diğer yöntemlerden biri de deniz sıcaklık gradyent enerjisi olarak da ifade edilen okyanus termal enerji dönüşümü(OTEC)'dür. OTEC sistemlerinden faydalanabilmek için, su yüzeyi ile derindeki suyun arasındaki sıcaklık farkının en az 20 derece olması gerekmektedir. Sıcak olan su buharlaştırıcıdan alınarak elde edilen buhar ile türbinden enerji üretilirken yoğunlaştırıcıya gelen kısmı ise soğuk olduğundan okyanusa geri verilir. Bu sayede deniz suyunun ısınmaması da sağlanmış olur. OTEC sistemlerinin deniz ve okyanus ekosistemi içinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Küresel ısınma ile su canlıları da bundan olumsuz etkilenmektedir. Bu sistemde denize verilen soğuk su, deniz suyunun da ısınmasının önüne geçmektedir. Ayrıca bu ve bu gibi sistemlerde, deniz suyu tuzluluğundan arındırıldığı için tarımda ve

sanayide kullanılabilir halde su elde edilmiş olacaktır. Diğer taraftan, kurulum maliyetleri olarak yüksektirler ve kullanımları esnasında, deniz veya okyanus derinliklerinde yaşayan organizmalar yada kalıntılar tarafından borularda tıkanıklık oluşabilmektedir. Bu ise bakım ve onarım maliyetlerine ve üretilen enerjide kesintiye sebep olmaktadır(Ablabekova, 2008, s. 121; Fay, Golomb, 2002, s. 180).



Şekil 2.7. OTEC Enerjisi Sistemi

Kaynak: *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı(ETKB), 2014, s. 5*

Deniz ve okyanuslarda meydana gelen akıntının tanımına bakıldığında, tuzluluk oranı farklılığı, su seviyesi farklılığı ve rüzgar gibi nedenlerden dolayı suyun çok yoğun ortamdan az yoğun ortama kütleler halinde geçişi olarak ifade edilmektedir. Türkiye’den örnek verilecek olursa, örneğin Karadeniz’in, yoğun yağış alması, mevsimsel etkilerden dolayı buharlaşmanın az olması sebebiyle tuz oranı düşüktür. Diğer taraftan ise Ege Denizi, Karadeniz’e göre tuz oranı yüksek bir denizdir. Yoğunluğu fazla olan tuzlu su, alt kısımdan Ege Denizi’nden Karadeniz’e dökülürken, tuzluluk oranı bakımından az olan Karadeniz’in ise az tuzlu kısmı üst bölgeden Ege Denizi’ne dökülür. Bu şekilde etkileşimler Dünya’nın benzer bölgelerinde yaşanır. Yoğun su kütlelerinin hareketi söz konusu olduğundan bunun akıntı bölgelerine kurulacak türbinler vasıtasıyla enerjiye dönüştürülerek değerlendirilmesi sonucunda ciddi bir enerji potansiyelinin oluşacağı düşünülmektedir. Faaliyete geçirilen bir tesis olmadığından maliyet kıyası yapmak için erken olan bir enerji kaynağı türü olan akıntı enerjisinin, ilerleyen dönemlerde geliştirileceği ve hayata kazandırılacağı açıktır(Bülbül, 2007, s. 44).

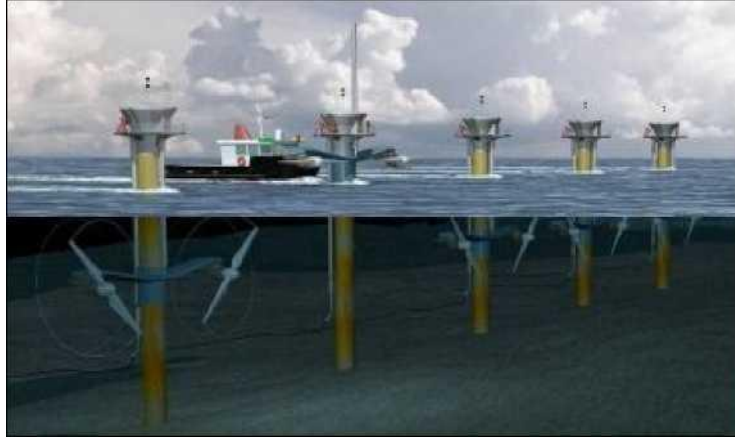


Şekil 2.8. *Deniz Akıntısı Enerjisi Santrali*

Kaynak: <http://enerjiinstitusu.com/2011/12/23/siemens-deniz-akintisi-turbinleri-konusunda-teknoloji-lideri/>, Erişim tarihi: 08.04.2016

Med-cezir olayı, Ay'ın Dünya ile oluşan çekimi sonucunda meydana gelen doğa olayıdır. Çoğunlukla günde iki kez yaşanır ve on iki saat arayla, her gün bir önceki gün meydana geldiği saatin elli dakika sonrasında başlar. Deniz ve okyanuslarda çekilme ve yükselme meydana gelir. Deniz veya okyanusların sahil genişlikleri ve derinlikleri, limanlara yanaşan gemiler için önemlidir. Zira med-cezir esnasında meydana gelen yükselme ve çekilmeler bu durumu olumsuz manada etkileyebilmektedir. (Bülbül, 2007, s. 44).

Med-zecir olayında yaşanan gelgitten enerji elde edilebilmesi için, yükselen ve alçalan su arasındaki yükseklik farkının en az beş metre olması gerekmektedir. Kıyı kesimine yapılacak olan bir baraj ile suyun yükselmesi ve çekilmesi esnalarında, baraja su dolmakta ve türbin su ile döndürülerek ve elde edilen güç ile elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu yolla elde edilecek enerjiden yüksek verim alınmak istendiğinde özellikle okyanusa açık sahillerde bu tarz yatırımların yapılması daha faydalı olacaktır. Okyanusa kıyısı olmayan Türkiye için bu yöntem çok verimli olmayacaktır. Amerika Birleşik Devletleri(ABD), Japonya, Norveç ve İngiltere kıyılarında bu yöntemle enerji eldesi son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.9. Med-cezir Enerjisi Santrali

Kaynak: <http://enerji-iletimi-ve-dagitimi.blogspot.com.tr/2012/03/gelgit-enerjisinden-elektrik-elde.html>, Erişim tarihi: 08.04.2016.

2.4. Dünya’da Yenilenebilir Enerji

Dünyada, yenilenebilir enerji kaynakların diğer fosil kökenli ve yenilenemeyen kaynaklara oranla daha hızlı geliştiği enerji sektörünün gelişimine yönelik yapılan çalışmalarda görülmektedir. Fosil kökenli kaynakların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin ciddi boyutlara varması ve azalan rezervlerin spekülörlerin de etkisiyle yüksek fiyatlara ulaşması yenilenebilir kaynaklara eğilimin temel nedenlerindendir. Enerji arz ve talep dengesinde yenilenebilir enerji kaynakları lehine görülen artışın altında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve faydasının farkına varan devletlerin ve bunların önde gelen şirketlerinin izledikleri ulusal ve bölgesel politikaları değiştirmeleri sebebi yatmaktadır(Ağaçbiçer, 2010, s. 68).

1990-2015 yılları arasında Tablo 2.1’de görüldüğü gibi içerisinde Türkiye ve bazı büyük dünya devletlerinin de yer aldığı enerji tüketimindeki gelişimleri sunulmuştur. Bu yıllar arasında geçen sürede Türkiye için enerji tüketim artışı % 139 olur iken Dünyada ise %50 olmuştur. Birincil enerji tüketimi bakımından Çin’deki enerji tüketim artışı % 243, Hindistan’da %121, Brezilya’da %112 olmuştur. Japonya’da yaşanan ekonomik durağanlaşma beraberinde enerji tüketiminin artışında da bir azalış getirmiştir. Zira enerji, devletlerin üretim ve sanayi kapasitelerinde ve nüfus gibi demografik değişimlerden etkilenen bir unsurdur.

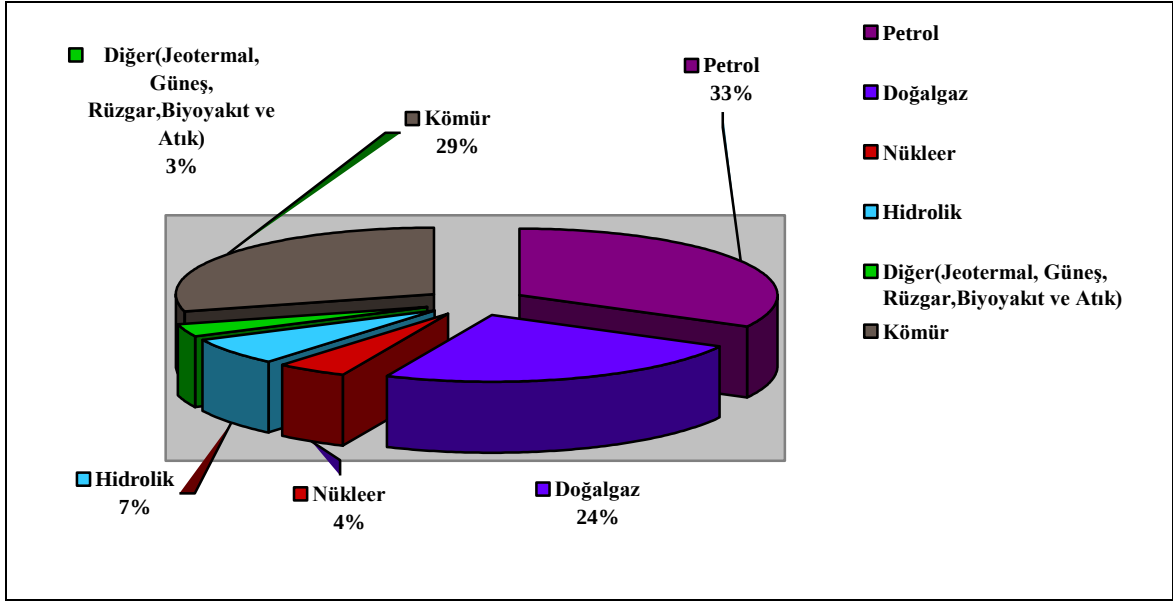
Tablo 2.1. Dünya Birincil Enerji Arzı Gelişimi

1990-2015 Yılları Dünya Birincil Enerji Tüketimi Gelişimi (mtep)			
Ülke	1990	2015	Artış (%)
Çin	879	3014	243
Hindistan	317	701	121
Türkiye	53	131	147
Brezilya	138	293	112
ABD	1915	2281	19
Japonya	439	449	2
OECD	4522	5503	22
Dünya	8769	13147	50

Kaynak: DEK-TMK, 2013; <https://yearbook.enerdata.net>, Erişim tarihi: 01.11.2016.

1990-2015 yılları arasında geçen yirmi beş yılda Dünya’da birincil enerji tüketiminde görülen önemli artışlar, ilerleyen yıllarda da enerjiye olan talebin giderek artacağını göstermektedir. Bu konuda özellikle Uluslararası Enerji Ajansı(IEA) tarafından yapılan talep tahminlerine ilişkin mevcut politikalar ve yeni politikalar senaryolarında bu artışın devam edeceği ifade edilmektedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde, enerji arz talep dengesinin sağlanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin de önemi giderek artacaktır(Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi(DEK-TMK), 2013, s. 4).

2015 yılında Dünya birincil enerji tüketiminde Petrol %33, Kömür %29, Doğal gaz %24, ile toplam arzın %86’sını oluşturmuştur (Şekil 2.10). 1990 yılında 8.769 mtep olan toplam birincil enerji arzı geçen 25 yıl sonra %50 artarak 2015 yılında 13.147 mtep seviyesine ulaşmıştır(BP, 2016b).



Şekil 2.10. 2015 yılı için Dünya Birincil Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı
Kaynak: IEA, 2016, s. 7.

Tablo 2.2’de 1990-2015 yılları arasında Dünya birincil enerji tüketiminde kaynakların miktarları ve toplam enerji arzı içindeki yüzde oranları gösterilmiştir. 1990 yılında yenilenebilir enerji olarak niteleyebileceğimiz hidrolik, biyoyakıt ve atıkların yanı sıra, jeotermal, güneş ve rüzgar enerjilerinin toplan enerji tüketimi içerisindeki paylarında büyük değişimler yaşanmamasına karşın miktar olarak arttıkları gözlenmektedir. Dünya çapında toplam enerji arzı içindeki yenilenebilir enerji kaynakları payının IEA’nın hazırlamış olduğu 2013 World Energy Outlook raporuna göre geliştirilen mevcut senaryolar ve yeni senaryolar politikalarına göre, toplam paylarının %12 ve %15 düzeylerine çıkacağı tahmin edilmektedir (DEK-TMK, 2013, s. 6). Ayrıca IEA’nın 2015 yılına ait World Energy Outlook raporunda, dünya enerji kullanımında karbon salınımının artış oranında azalma olacağından bahsedilmektedir.

Fosil kökenli enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin kullanılması sonucu oluşan karbondioksit(CO₂) emisyon değerlerinin giderek artmakta oluşu ve 2020 yılında ise bu artışın %6 civarında olacağı IEA tarafından öne sürülmüş olup bunun önüne geçilmesi için bazı ek yatırımların yapılması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu durum ise fosil yakıtların kullanım maliyetlerinin de yükselmesine neden olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin, geliştirilen teknolojiler ile giderek ekonomikleşmekte oluşu ise bu kaynakların enerji üretiminde tercih sebebi olması gerektiğine bir başka etkidir.

Tablo 2.2. 1990-2015 Yılları Arasında Dünya Birincil Enerji Tüketimi İçinde Kaynakların Miktarı ve Payı

Yıllar		1990	2015
Kömür	mtep	2230	3813
	%	25	29
Petrol	mtep	3231	4339
	%	37	33
Doğalgaz	mtep	1668	3155
	%	19	24
Nükleer	mtep	526	526
	%	6	4
Hidrolik	mtep	184	920
	%	2	7
Jeotermal, Güneş, Rüzgar, Biyoyakıt ve Atık	mtep	929	394
	%	10	3
Toplam Birincil Enerji	mtep	8779	13147
	%	100	100

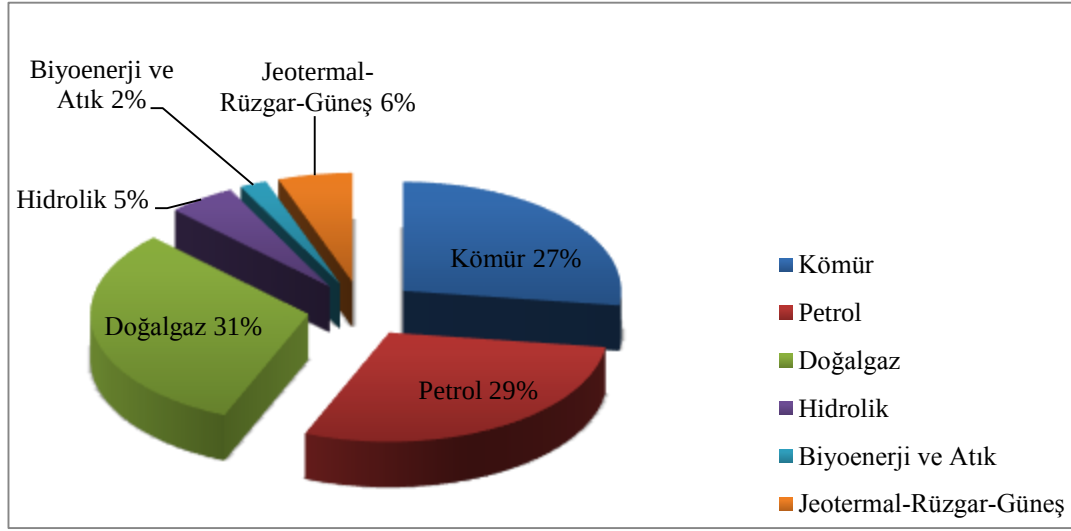
Kaynak: ETKB, 2016; DEK-TMK 2013 Yılı Dünya Enerji Konseyi Değerlendirme Raporu, 2013.

Dünya açısından 2015 yılı enerji verileri incelendiğinde, enerji talebi incelendiğinde son on yılın yıllık ortalaması olan %1,9 büyüme hızından dahi düşük olan %1’lik bir artış gösterdiği görülmüştür. Bu zayıflamaya bir sebep olarak, Çin’in üretim ve sanayi odaklı bir ekonomi anlayışından hizmet sektörüne doğru yönelmesi gösterilebilir. Bu, enerji talebinin artışıdaki azalmaya örnek olarak verilebilir. Doğalgaz ve petrolün enerji arzındaki payında gözlenen artış, kömür arzında ise bir düşüş söz konusu olmuştur. kömür kullanımında yaşanan bu düşüş ile birlikte karbon salınımlarında da bir azalış görülerek çeyrek yüzyılda gözlemlenen en yavaş büyüme gerçekleşmiştir. Karbon salınımlarında gözlenen bu en yavaş büyümenin sebeplerinden biri de dünyada enerji tüketiminde azalan artış oranı ve yakıt karışımlarında yaşanan değişiklik(belirli oranlarda biyodizel katkı vb.) olmuştur. ABD’de kaya gazının bulunması beraberinde bazı büyük petrol ve gaz kaynaklarının kullanılmasını sağlamıştır. Bunlarla birlikte, teknolojik ilerlemelerin kaydedildiği yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde ise artış sağlayarak bu sektörün gelişmesine de katkı sağlamıştır. Yenilenebilir enerji açısından 2015 yılı değerlendirildiğinde, enerji tüketiminde yaşanan artış oranı yavaşlamasının aksine on yıl önce global enerji tüketimi

içerisindeki payı %0,8 iken enerji tüketimi içerisinde %2,8 oranında bir paya sahip olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde yaşanan artış ile % 6,7 üretim payına ulaşmasını sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgardan enerji üretimi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını geride bırakarak bunlardan elde edilen enerjinin toplamı içinde %52,2'lik bir paya sahip olmuştur. Bunda en büyük katkıyı ise, rüzgar enerjisi yatırımları ile Almanya sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji eldesinde diğer önemli kaynak ise güneş olmuştur. Güneşten elde edilen enerji, tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki payı %32,6 olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisinin bu paya sahip olmasındaki katkıyı ise, dünyada en büyük güneş enerjisi üreticisi noktasına gelen Çin sağlamıştır(BP, 2016a, s. 5).

2.5. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji

Türkiye’nin 2015 yılındaki toplam enerji tüketimi ise 131 milyon tep olmuştur. Şekil 2.11’de görüldüğü üzere, tüketim içerisinde en büyük paya %31’lik payı ile doğalgaz sahiptir. Bunu %29’luk pay ile petrol, %27’lik pay ile kömür izlemektedir. Türkiye’nin enerji tüketiminde yüzdelik oranlar dikkate alındığında fosil kökenli enerji kaynakları ilk sıralarda yer almaktadır. Ülkemiz coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülkedir. Bu kaynaklardan azami ölçüde yararlanmak hem enerji arz güvenliğine katkı sağlayacak, hem temiz enerji oranını arttıracak hem de yeni istihdam alanlarının oluşumuna zemin hazırlayacaktır(DEK-TMK, 2013, s. 9).



Şekil 2.11. 2015 Yılı Türkiye Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı
Kaynak: ETKB, 2016.

1990-2015 döneminde, toplam Türkiye toplam birincil enerji tüketimi içindeki kaynakların paylarına Tablo 2.3'te, bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidroliğin payı; 1990 yılında %4 olur iken 2015 yılında tüketim içerisindeki payını %1 artırarak %5 olmuş ve yerli üretimden sağlanan bu tüketim miktarı da son yirmi beş yıl içerisinde yaklaşık üç kat artmıştır. Rüzgâr, jeotermal, güneş gibi yenilenebilir enerjinin toplam payları ise; 1990 da %1 den 2015 yılına gelindiğinde %6 pay oranına sahip olmuştur. Bu enerji türlerinden toplam tüketimimiz ise son yirmi beş yılda 16 kat artış göstermiştir. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan yatırımlar meyvesini vermiş ve yerli enerji üretim miktarında yaşanan bu artışlar, enerji tüketiminde fosil kökenli kaynakların paylarında bir azalmaya vesile olmuştur. Zira 1990 yılında enerji tüketiminde kullanılan petrolün toplam tüketim yüzdesi içindeki oranı %45 iken 2015 yılına gelindiğinde bu rakam %29'lara kadar inmiştir. Kömür rezervinde, dünya rezervlerinin %1'ine sahip olmasına rağmen Türkiye'de 2015 yılında bir önceki yıla nazaran enerji eldesinde kömür kullanımında %4,7 oranında bir azalış yaşanmıştır. Benzer bir durum doğalgaz tüketiminde de gerçekleşmiş olup, bir önceki yıla göre %2,4 tüketim oranında bir azalma söz konusu olmuştur.

2015 yılında, BP Enerji İstatistikleri 2016 Raporu'nda, Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin bir önceki yıla göre %7 oranında arttığı belirtilmiştir. Dünya enerji kullanımı yavaşlama eğiliminde iken Türkiye'de üretim ve sanayileşmenin devam etmekte oluşu, enerjiye olan ihtiyacını ilerleyen yıllarda da tetikleyecektir.

Tablo 2.3. 1990-2015 Yılları Arasında Türkiye Birincil Enerji Tüketimi İçinde Kaynakların Miktarı ve Payı

Yıllar		1990	2015
Kömür	bintep	16,110	35605
	%	30	27
Petrol	bintep	23,01	37775
	%	45	29
Doğalgaz	bintep	3,110	40516
	%	6	31
Hidrolik	bintep	1,991	6640
	%	4	5
Jeotermal, Güneş, Rüzgar	bintep	461	7500
	%	1	6
Biyoenerji ve Atık, odun, çöp vb.	bintep	7,414	3829
	%	14	2
Toplam Birincil Enerji	bintep	53,000	131,000
	%	100	100

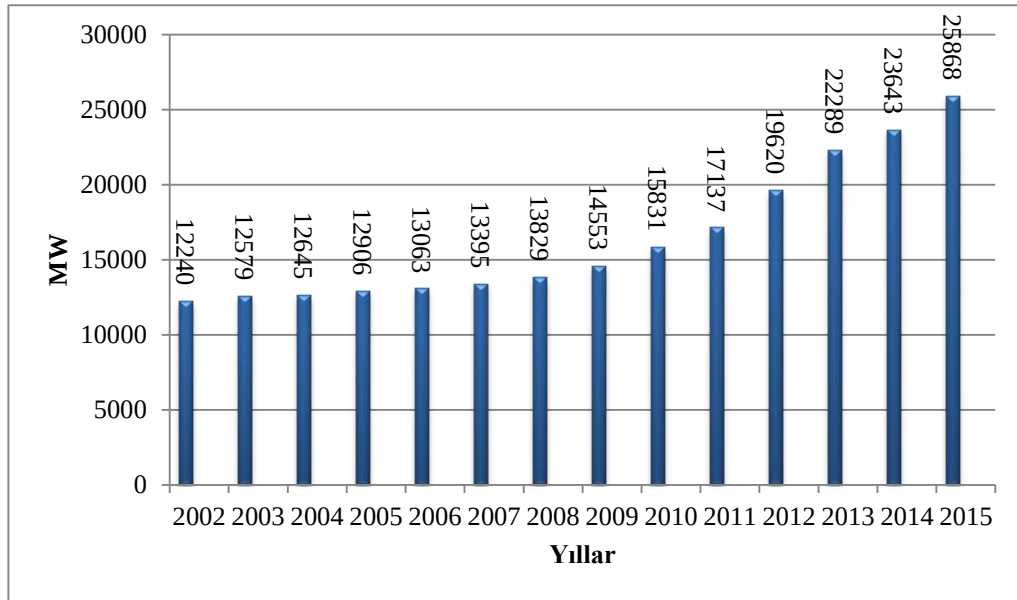
Kaynak: ETKB, 2016; DEK-TMK, 2013.

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke olan Türkiye, bu kaynakların kullanımının yaygınlaşması amacıyla devlet kanalıyla teşvik politikaları da uygulamaktadır. Maddi ve düzenleyici teşvikler olmak üzere iki ana sınıfta değerlendirilebilen bu teşvikler ile yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımı ve ekonomik potansiyellerinden elde edilecek enerji ile enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve hatta bunun önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Türkiye’de teşviklerde özellikle vergi indirimi ve sabit fiyat üzerinden alım garantisi şeklinde enerji üreticisine kolaylıklar sağlanmakta, yatırım teşvikleri sunulmaktadır. Bunun yanında yasal bir takım prosedürlerin azaltılması bürokratik engellerin önüne geçilmesi diğer enerji politikası hedefleri arasındadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde ise Türkiye kurulu üretim gücünün %25,6 sıni hidrolikten, %4,5 ini rüzgardan, %1,3’ünü jeotermal kaynaklardan elde etmektedir. Türkiye’nin kurulu elektrik enerji gücü Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi(TEİAŞ)’nin verilerine göre 2016 yılı eylül ayı sonunda 78,078 MW’a ulaşmış olup toplamda elektrik üretim santral sayısı 2097’ye yükselmiştir. Yeni yenilenebilir enerji santrallerinin de kullanıma açılmasıyla birlikte, Türkiye’de yenilenebilir enerji santralleri; 579 adedi hidrolik, 159 adedi rüzgar, 25 adedi jeotermal,

861 adedi güneş ve 72 adedi diğer yenilenebilir ve atık olmak üzere toplamda 1696 adet yenilenebilir enerji üretim santrali bulunmaktadır.

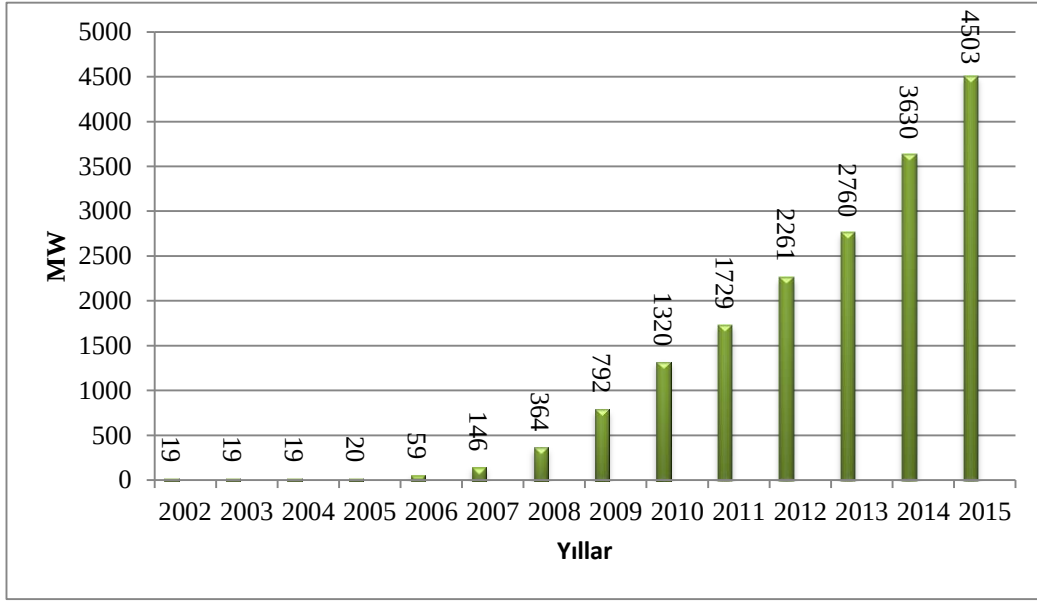
Son yıllarda yaşanan kuraklık, hidroelektrik santrallerden istenen verimin sağlanmasını engellemiş olsa da 2014 yılına göre hidroelektrik santrallerinden elde edilen elektrik enerjisi, 2015 yılında %65'lük bir artış göstererek 67.146 GWh'lık bir üretim söz konusu olmuştur. Şekil 2.12'de Türkiye'deki mevcut hidroelektrik kurulu gücünün 2002-2015 yılları arasındaki değişim grafiği yer almaktadır. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere hidroelektrik kurulu güç, yıllara göre bir artış eğilimi sergilemektedir. Özellikle 2010 yılından sonra bu artış gözle görülür bir olumlu eğilim sergilemektedir. Son yıllarda yapılan yatırımlar ve birtakım bürokratik engellerin aşılması bu tabloya katkı sağlamıştır.



Şekil 2.12. Hidrolik enerji kurulu gücünün yıllara göre değişimi

Kaynak: ETKB, 2015, s. 58

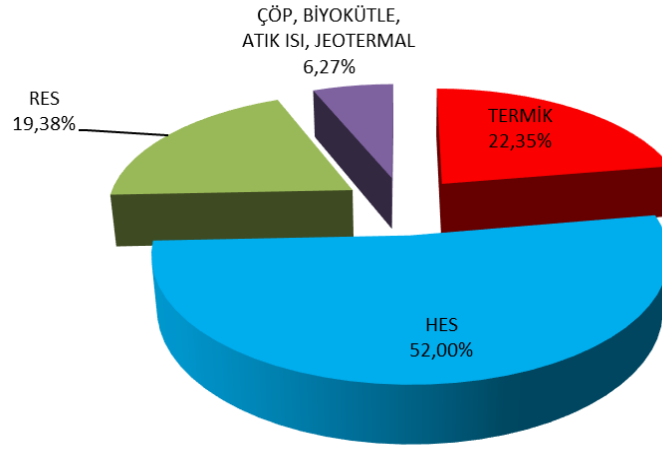
Türkiye rüzgar enerjisi kurulu gücünde de son yıllarda ivmeli bir yükseliş Şekil 2.13'te görüldüğü üzere söz konusudur. Özellikle, rüzgar türbinlerinin yerli üretimine başlanması maliyetlerinde düşmesine vesile olduğundan yatırımcıları da rüzgar enerjisine yatırım yapma noktasında çekici bir unsur olmuştur. Rüzgar gücü izleme ve tahmin merkezleri kurularak, potansiyel teşkil eden yerlerde yapılan ölçümler neticesinde yatırıma müsait noktalara tesisler kurulabilmektedir.



Şekil 2.13. Rüzgar enerjisi kurulu gücünün yıllar içindeki gelişimi
Kaynak: ETKB, 2015, s. 58

Jeotermal enerjide yapılan son yıllardaki çalışmalar ile birlikte sera ve konut ısıtmasında, elektrik üretiminde 2002 yılından bu yana son derece önemli artışlar yaşanmıştır. Sera ısıtmasında kullanılan alan 500 dönümden 3931 dönüme çıkmış, % 686'lık bir artış yaşanmıştır. Konut ısıtmasında kullanılan jeotermal enerjide, 2002 yılında 30.000 konut faydalanırken 2015 yılına gelindiğinde 114.567 konut jeotermal enerjiyle ısınmıştır. Jeotermal alanlardan elektrik üretimine uygun olan alanlardan elde edilen elektrik enerjisi üretimi 15 MW iken 2015 yılında bu sayı %3985'lik artış ile 612,83 MW çıkmıştır(ETKB, 2016).

Enerji ve elektrik üretiminde her ne kadar artış sağlansa da tüketim hızı arttığı sürece enerjide dışa bağımlılık devam edecektir. Bu sebeple yenilenebilir enerji projelerinin desteklenmesi milli enerjimizi üretmemize vesile olacak ve enerji ithalatımızı azaltarak tampon vazifesi görecektir.



Şekil 2.14. 2015 Yılı Enerji Yatırımları
Kaynak: ETKB, 2016.

2015 yılı enerji yatırımları grafiği Şekil 2.14’de gösterilmiştir. Buna göre 2015 yılında en fazla yatırım hidroelektrik enerji santrallerine, daha sonra ise termik santrallere yapılmıştır. Yenilenebilir enerji yatırımları hidroelektrik santralleriyle birlikte toplam yatırımın %77,65’ine karşılık gelmektedir. 2014 yılındaki yatırım tablosu incelendiğinde ise bu miktarın sadece %38,25 olduğu görülmüştür. Bu açıdan değerlendirildiğinde özellikle son bir yılda yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım son derece önemli bir değer kazanmıştır.

Sera gazı emisyon miktarı değerlendirildiğinde; toplam emisyon içerisindeki en yüksek miktarın CO₂ olduğu görülmektedir. CO₂ emisyonunun kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde ülkemizde en çok CO₂ emisyonu elektrik üretiminden kaynaklı oluşmaktadır. Özellikle termik santrallerden sağlanan elektrik enerjisinin yanında çıktı olarak karşımıza çıkan emisyon değerleri atmosferi ve doğayı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu oranın azaltılarak yenilenebilir enerji kaynakları yönünde artışa sürüklenirse, emisyon değerleri açısından oldukça temiz enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakları sayesinde CO₂ emisyonu ve sera gazlarının etkisi de azaltılmış olacaktır.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİMİNDE KULLANILAN KRİTERLERİN BELİRLENMESİ

3.1. Literatür Araştırması

Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine literatürdeki çalışmalardan bazıları incelenmiş olup bunlardan Noble (2004), beş enerji senaryosu üzerinde belirlemiş olduğu kriterler ile AHP analizi gerçekleştirmiştir. Atmosferik emisyon, kaynak verimliliği, enerji güvenliği, ekonomik faktörler, halk sağlığı ve güvenliğini kriterler olarak belirlemiştir. Statüko (hidrogücün baskın bir kaynak olması), doğalgazın öneminin artması, doğalgaz-temiz kömür-yenilenebilir enerji kaynakları, temiz kömürün baskın olduğu senaryo, nükleer enerji senaryosu olmak üzere 5 enerji senaryosu üzerinde değerlendirmeler yapmıştır. Çalışmasında doğalgaz-temiz kömür-yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunduğu üçlü senaryo en iyisi olarak belirlemiştir.

Pabuçcu ve Ayan'ın (2013) çalışmalarında amaç; Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sıralaması belirlemektir. AHP metodu kullanılarak kaynaklar belirlenen kriterlere göre uzman görüşleri de alınarak kıyaslanmıştır. Analiz sonucunda; sırası ile hidroelektrik, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal enerji ve son olarak da güneş enerjisi yatırımlarının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada kriterler; ekonomik, çevresel, kurumsal ve enerji hedefleri olmak üzere dört ana başlık altında değerlendirilmiştir. Ekonomik Hedefler Kriteri; Yerel Ekonomik Gelişime Katkı, Artan İstihdam Yapısı, Ticarileşme Potansiyeli, Pazar Büyüklüğü, Yatırım Maliyetlerinin Uygunluğu, İthalat Riskleri alt başlıklarından oluşmakta olup, Çevresel Hedefler Kriteri; Karbon Salınımının Azaltılması, SO_x ve NO_x Emisyon Oranlarının Azaltılması, Düşük Alan Gereksinimi, Çevreye Uyum Planlarına Uygunluk alt kriterlerinden oluşmaktadır. Enerji hedefi kriteri; Enerji Fiyat İstikrarı, Enerji Arz Güvenliği, Enerji Üretim İstikrarı, Dışa Bağımlılık, Enerji Verimliliği alt başlıklarına ayrılmış olup, Kurumsal Hedefler kriteri ise; Politika Etkinliği ve Yenilikçi ve Destekleyici Olma alt kriterlerinden oluşmaktadır.

Ahmad ve Tahar (2013)'in "Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia" adlı çalışmalarında Malezya için elektrik sistem gelişiminin sürdürülebilir yenilenebilir enerji seçimi AHP prosesi kullanılarak yapılmıştır. Hidro güç, Rüzgar gücü, Biyokütle, Biyogaz ve Katı Belediye Atığı olmak üzere dört alternatif belirlenmiştir. Çalışmanın kriter ve alt kriterleri ise Teknik (vade, verimlilik, teslimat

süresi), Ekonomik (teknoloji maliyeti, işletim süresi, kaynak potansiyeli, besleme tarifiesi) Çevresel (çevresel etkisi, alan gereksinimi, CO₂ emisyon azaltımı) ve Sosyal (toplumsal kabulü, istihdam etkisi) başlıkları altında düzenlenmiştir.

Tasri ve Susilawati'ye (2014) ait çalışmada Endonezya için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçilmesi AHP metodolojisi kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji alternatifleri olarak hidroçü, jeotermal, biyokütle, rüzgar ve güneş enerjisi belirlenmiştir. Kriter ve alt kriterler ise; Enerji kaynağının kalitesi (sürdürülebilirlik, dayanıklılık kullanıcıya uzaklığı), Sosyo-politikai (Hükümet politikası, İşçi üzerindeki etkisi, Sosyal kabul edilebilirlik), Ekonomik (uygulama maliyeti, ekonomik değeri, ödenebilirlik), Teknolojik (Performansın sürekliliğı tahmin edilebilirliğı, Risk Yerel teknolojik bilgi), Çevresel (atık emisyonu, alan gereksinimi, atıklar için gereksinimler) şeklinde oluşturulmuştur.

Tahri ve ark. (2015), çalışmalarında Morocco'nun güneyi için en uygun yerde ve en uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifinin seçilmesini ele almışlardır. Çalışma, coğrafi bilgi sistemi araçlarının ve çok ölçütlü karar verme metodunun kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Lokasyon, alan kullanımı, orografî ve iklim kriterlerini AHP metodu kullanarak ağırlıklandırmıştır.

Tablo 3.1. Literatürde AHS Yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2004	Noble	Atmosferik emisyon, kaynak verimliliği, enerji güvenliği, ekonomik faktörler, halk sağlığı ve güvenliğini	Doğalgaz-Temiz Kömür-Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Nükleer Enerji	AHS	Statüko (hidrogücün baskın bir kaynak olması), doğalgazın öneminin artması, doğalgaz-temiz kömür-yenilenebilir enerji kaynakları, temiz kömürün baskın olduğu senaryo, nükleer enerji senaryosu olmak üzere 5 enerji senaryosu üzerinde değerlendirmeler yapmıştır.
2013	Pabuçcu, Ayan	<u>Ekonomik Hedefler Kriteri:</u> Yerel Ekonomik Gelişime Katkı, Artan İstihdam Yapısı, Ticarileşme Potansiyeli, Pazar Büyüklüğü, Yatırım Maliyetlerinin Uygunluğu, İthalat Riskleri <u>Çevresel Hedefler Kriteri:</u> Karbon Salınımının Azaltılması, sülfür oksit bileşikleri(SO _x) ve azot oksit bileşikleri(NO _x) Emisyon Oranlarının Azaltılması, Düşük Alan Gereksinimi, Çevreye Uyum Planlarına Uygunluk <u>Enerji hedefi kriteri:</u> Enerji Fiyat İstikrarı, Enerji Arz Güvenliği, Enerji Üretim İstikrarı, Dışa Bağımlılık, Enerji Verimliliği <u>Kurumsal Hedefler Kriteri:</u> Politika Etkinliği Yenilikçi ve Destekleyici Olma	Hidroelektrik, Rüzgar, Biyoyakıt Jeotermal Güneş Enerjileri	AHS	Türkiye için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımları arasında bir öncelik sıralaması belirlemek

Tablo 3.1. (Devam) *Literatürde AHS Yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları*

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2013	Ahmad, Tahar	<u>Teknik;</u> vade, verimlilik, teslimat süresi <u>Ekonomik;</u> teknoloji maliyeti, işletim süresi, kaynak potansiyeli, besleme tarifesi <u>Çevresel;</u> çevresel etkisi, alan gereksinimi, CO ₂ emisyon azaltımı <u>Sosyal;</u> toplumsal kabulü, istihdam etkisi	Hidro güç, Rüzgar gücü, BiyokütleBiyogaz, Katı Belediye Atığı	AHS	Malezya için elektrik sistem gelişiminin sürdürülebilir yenilenebilir enerji seçimi
2014	Tasri, Susilawati	<u>Enerji kaynağının kalitesi;</u> Sürdürülebilirlik, Dayanıklılık, Kullanıcıya Uzaklığı <u>Sosyo-Politik;</u> Hükümet Politikası, İşçi Üzerindeki Etkisi, Sosyal Kabul Edilebilirlik, <u>Ekonomik;</u> Uygulama Maliyeti, Ekonomik Değeri, Ödenebilirlik <u>Teknolojik;</u> Performansın Sürekliliği, Tahmin Edilebilirliği, Risk Yerel Teknolojik Bilgi <u>Çevresel;</u> Atık Emisyonu, Alan Gereksinimi, Atıklar İçin Gereksinimler	Hidrogüç, Jeotermal, Biyokütle, Rüzgar Güneş Enerjisi	AHS	Endonezya için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçilmesi
2015	Tahri vd.	Lokasyon, Alan Kullanımı, Orografi ve İklim	Yenilenebilir Enerji Projeleri	AHS	Morocco'nun güneyi için en uygun yerde ve en uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifinin seçilmesini ele almışlardır.

Kaya ve Kahraman'ın (2010) çalışmalarında iki amaç bulunmaktadır. Bunlardan ilki, İstanbul ili için en uygun yenilenebilir enerji kaynağına karar verilmesi, ikincisi ise

İstanbul ilinde en uygun yenilenebilir enerji kaynağı(rüzgar) için en uygun yer seçimidir. Her bir amaç için kriterler belirlenmiştir. Birinci amaç için; Teknik (verimlilik, enerji verimliliği, güvenlik, güvenilirlik, süre), Ekonomik (yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik maliyeti, net durum değeri, geri ödeme periyodu, servis süresi, yıllık eşdeğer maliyet), Çevresel (NOx emisyonu, CO₂ emisyonu, karbonmonoksit(CO) emisyonu, sülfürdioksit(SO₂) emisyonu, partikül emisyonu, metan olmayan uçucu bileşikler, alan kullanımı, gürültü), Sosyal (sosyal kabul edilebilirlik, istihdam yaratması, sosyal faydaları) kriter ve alt kriterleri belirlenmiştir. İkinci amaç için ise diğer amaçta da kullanılan kriter ve alt kriterlerden faydalanılmış olup; teknik verimlilik, maliyet verimliliği, bakım, onarım ve işletim maliyet verimliliği, sosyal kabul edilirlilik, görsel etki, akustik gürültüsü, ekosistem üzerine etkisi gibi kriterler oluşturulmuştur. Üç uzman görüşü alınarak yapılan entegre Fuzzy VIKOR AHS değerlendirmesine göre en uygun yenilenebilir enerji rüzgar enerjisi olmuştur.

Kahraman ve Kaya (2010) diğer bir çalışmalarında Türkiye için ekonomik ve çevresel gelişimi etkileyen en uygun ve önemli enerji politikasının seçimini ele almışlardır. Enerji politikası seçiminde Fuzzy çok ölçütlü karar metodolojisi kullanılmıştır. Çalışmada kriterler dört ana başlık altında toplanmış olup teknolojik, çevresel, sosyo politikal ve ekonomik olarak belirlenmiştir. Teknolojik kriteri; fizibilite, risk, güvenilirlik, hazırlık fazı süreci, işlem fazı süreci, süreklilik ve performans öngörülebilirliği ve yerel teknik bilgisi alt kriterlerinden oluşmuştur. Çevresel kriteri; kirlenici madde emisyonu, alan gereksinimi, atık bertaraf gereksinimi olmak üzere dört alt kriterde değerlendirilmiştir. Sosyo politikal kriteri ise; ulusal politika amaçlarına uygunluğu, siyasi kabul ve emek/işçilik etkisi alt kriterlerinden oluşturulmuştur. Son olarak ekonomik kriteri; uygulama maliyeti, fon kullanılabilirliği ve ekonomik değeri alt kriterlerinden meydana gelmiştir. Türkiye için en uygun enerji politikası seçiminde nükleer, biyokütle, taş kömürü ve linyit, petrol, hidrojen, jeotermal, doğalgaz, rüzgar ve güneş enerjileri alternatifler olarak belirlenmiştir.

Bas'ın (2012) çalışması iki bölümden oluşmaktadır. Çalışmada SWOT-fuzzy TOPSIS metodolojilerinin AHS ile kombinasyonundan söz edilmektedir. Buna göre ilk bölümde kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki çalışma sunulmuştur. Kalitatif çalışmada, literatür araştırmalarına dayanılarak, elektrik tedarik zinciri için genel bir yapı ve üst düzeyde bir planlama çalışması geliştirilmiştir. Daha sonra kalitatif çalışmada elde

edilen aksiyon planının SWOT analizi yapılmıştır. SWOT faktörlerinin öncelik sıralamalarının yapılması için AHS metodu kullanılmış olup bu kısım çalışmanın ikinci kısmını oluşturmuştur. Değerlendirme, Türkiye’deki elektrik tedarik zinciri baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Ertay ve vd. (2013), yenilenebilir enerji alternatifleri olarak rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal ve hidrojenli belirlemiştir. Çalışmalarında Macbeth ve Fuzzy Ahp’yi kullanmışlardır. Fizibilite, risk, güvenilirlik, hazırlık süresi, uygulama süresi, performansın sürekliliği ve öngörülebilirliği, yerel teknik bilgi, emisyon kirliliği, alan gereksinimi, atıkların geri dönüşümü, ulusal enerji politikası amaçlarıyla yarışabilirliği, politik kabulü, sosyal kabul edilebilirliği, istihdama etkisi, uygulama maliyeti ise çalışmada kullanılan kriterlerdir. Teknolojik, ekonomik, çevresel ve sosyo politik kriterler baz alınarak her biri için alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

Li-bo ve Tao (2014), Çin’deki yenilenebilir enerji teknolojilerinin değerlendirilmesi ve seçimine yönelik yapmış oldukları çalışmalarında yenilenebilir enerji alternatifleri olarak; rüzgar, güneş, hidro, okyanus enerjisi, jeotermal ve biyokütle enerjilerini değerlendirmeye almışlardır. Ekonomik İndeks (yatırım maliyeti, işletim ve bakım maliyeti, işletim kapasitesi), Teknik İndeks (ekipman kullanım saati, güç kapasitesi, teknik verimlilik) Sosyal İndeks (sosyal kabul edilebilirlik derecesi, alan kullanımı, sağladığı iş sayısı), Çevresel İndeks (alan kullanımı, SO₂ emisyonu, CO₂ emisyonu) ise çalışmada belirlenen kriter ve alt kriterlerdir.

Kluczek ve Gladysz’a (2015) ait çalışma incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, boyama sürecinin çevresel etkilerini önlemek veya kısıtlamak amacıyla olası fırsatların belirlenmesidir. Değerlendirme problemi çok etkili karar verme modeli olarak modellenmiş ve AHS ve TOPSIS yaklaşımları kullanılarak çözülmüştür. Bu değerlendirme ile temiz ve kirliletmeyen teknolojinin faydalarını özetlenmiştir. Kriterler olarak; yatırım maliyeti, ham madde, enerji tüketimi, atık miktarı, sağlık ve güvenlik, işletim maliyeti, güvenilirlik, işlem süresi olmak üzere toplamda sekiz kriter belirlenmiştir. Kriterler uzman görüşleri alınarak oluşturulmuştur. Çalışmada üç farklı merkezi ısıtıcı alternatif olarak seçilmiş, AHS ve TOPSIS yaklaşımları ile değerlendirilmiştir.

Arce vd. (2015), çalışmalarında, sürdürülebilir enerji sistemlerinin çok ölçütlü karar analizi metodu ile değerlendirilmelerine ilişkin yapılan çalışmalara göz atmışlardır. Bu konu üzerine yapılan çalışmalarda teknik kriteri en çok değerlendirilen

kriter olmuştur. Bunu gaz emisyonlarından dolayı çevresel kriteri izlemiştir. Analitik hiyerarşi prosesi metodu ise kriterlerin ağırlıklandırılmasında en popüler yöntem olmuştur. Çalışmada incelenen kaynaklara göre bazı kriter ve bunların alt kriterleri performans ölçümlerine göre sınıflandırıldığında; teknik (verimlilik, enerji verimliliği, birincil enerji oranı, vade), ekonomik (yatırım maliyeti, işletim bakım maliyeti, yakıt maliyeti), çevresel (gaz emisyonu), sosyal (insan ve teknolojik etkisi) şeklinde olmuştur. Araştırma, kullanılan analiz yöntemlerine göre sınıflandırıldığında, en çok kullanılanlar sırasıyla AHS metodu, Fuzzy metodu, Taguchi metodu ve Topsis ve Fuzzy gibi birlikte kullanılan yöntemler olmuştur.

Tablo 3.2. *Literatürde AHS ile diğer yöntemleri birlikte kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları*

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2010	Kaya, Kahraman	Teknik; Verimlilik, Enerji Verimliliği, Güvenlik, Güvenilirlik, Süre Ekonomik; Yatırım Maliyeti, İşletme ve Bakım Maliyeti, Yakıt Maliyeti, Elektrik Maliyeti, Net Durum Değeri, Geri Ödeme periyodu, servis süresi, yıllık eşdeğer maliyet Çevresel; NOx Emisyonu, CO₂ Emisyonu, CO Emisyonu, SO₂ Emisyonu, Partikül Emisyonu, Metan Olmayan Uçucu Bileşikler, Alan Kullanımı, Gürültü Sosyal; Sosyal Kabul Edilebilirlik, İstihdam Yaratması, Sosyal Faydaları	Jeotermal, Güneş, Rüzgar, Hidrolik, Biyokütle	entegre Fuzzy VIKOR AHS	İstanbul ili için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının ve bunun için en uygun yerin seçimi

Tablo 3.2. (Devam) *Literatürde AHS ile diğer yöntemleri birlikte kullanarak yapılan çalışmalardan bazıları*

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2010	Kaya, Kahraman	<u>Teknolojik;</u> Fizibilite, Risk, Güvenilirlik, Hazırlık Fazı Süreci, İşlem Fazı Süreci, Süreklilik ve Performans <u>Öngörülebilirliği,</u> Yerel Teknik Bilgisi <u>Çevresel;</u> Kirleticiler, Madde Emisyonu, Alan Gereksinimi, Atık Bertaraf Gereksinimi <u>Sosyo Politik;</u> Ulusal Politika Amaçlarına Uygunluğu, Siyasi Kabul ve Emek/İşçilik Etkisi <u>Ekonomik;</u> Uygulama Maliyeti, Fon Kullanılabilirliği ve Ekonomik Değeri	Nükleer, Biyokütle, Taş Kömürü ve Linyit, Petrol, Hidrojen, Jeotermal, Doğalgaz, Rüzgar, Güneş Enerjileri	Fuzzy VIKOR-AHS	Türkiye için ekonomik ve çevresel gelişimi etkileyen en uygun ve önemli enerji politikasının seçimi
2012	Bas	Kalitatif ve Kantitatif		SWOT-fuzzy TOPSIS yöntemlerini n AHS ile kombinasyonu	Değerlendirmede Türkiye'deki elektrik tedarik zinciri baz alınmıştır.
2013	Ertay vd.	Rüzgar, Güneş, Biyokütle, Jeotermal Ve Hidrojen	Fizibilite, risk, güvenilirlik, hazırlık süresi, uygulama süresi, performansın sürekliliği ve öngörülebilirliği , yerel teknik bilgi, emisyon kirliliği, alan gereksinimi, atıkların geri dönüşümü, ulusal enerji politikası amaçlarıyla yarışabilirliği, politik kabul, sosyal kabul edilebilirliği, istihdam etkisi, uygulama maliyeti	Macbeth ve Fuzzy AHS	Teknolojik, ekonomik, çevresel ve sosyo politik kriterler baz alınarak her biri için alternatiflerin sıralaması yapılmıştır.

Tablo 3.2. (Devam) *Literatürde AHS ile diğer yöntemleri birlikte kullanarak yapılan çalışmalardan bazıları*

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2014	Li-bo, Tao	<u>Ekonomik İndeks;</u> yatırım maliyeti, işletim ve bakım maliyeti, işletim kapasitesi <u>Teknik İndeks;</u> ekipman kullanım saati, güç kapasitesi, teknik verimlilik <u>Sosyal İndeks;</u> sosyal kabul edilebilirlik derecesi, alan kullanımı, sağladığı iş sayısı <u>Cevresel İndeks;</u> alan kullanımı, SO ₂ emisyonu, CO ₂ emisyonu	Rüzgar, Güneş, Hidro, Okyanus Enerjisi, Jeotermal Biyokütle Enerjileri	AHS, Veri Zarflama Analizi	Çin'deki yenilenebilir enerji teknolojilerinin değerlendirilmesi ve seçimi
2015	Kluczek, Gladysz	Yatırım Maliyeti, Ham Madde, Enerji Tüketimi, Atık Miktarı, Sağlık ve Güvenlik, İşletim Maliyeti, Güvenilirlik, İşlem Süresi	Üç Farklı Merkezi Isıtıcı	AHS, TOPSIS	Boyama sürecinin çevresel etkilerini önlemek veya kısıtlamak amacıyla olası fırsatların belirlenmesi
2015	Arce vd.	<u>Teknik;</u> verimlilik, enerji verimliliği, birincil enerji oranı, vade <u>Ekonomik;</u> yatırım maliyeti, işletim bakım maliyeti, yakıt maliyeti <u>Cevresel;</u> gaz emisyonu Sosyal; insan ve teknolojik etkisi	Hidro, Jeotermal, Biyokütle, Güneş, Rüzgar	AHS, Fuzzy metodu, Taguchi metodu ve Topsis ve Fuzzy, literatürde en çok kullanılan yöntemler olmuştur.	Sürdürülebilir enerji sistemlerinin çok ölçütlü karar analizi metodu ile değerlendirilmeleri ne ilişkin yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Mourmouris ve Potolias (2013), çalışmalarında, yerel düzeyde yenilenebilir enerji kaynaklarının yerel düzeydeki kullanımını çok seviyeli karar yapısıyla çok kriterli enerji planlaması analizi yapmayı amaçlamışlardır. Çalışma Yunanistan için ele alınmıştır. Enerji üretilen yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal ve hidro enerji belirlenmiştir. Ana kriterler olarak çevresel, ekonomik, sosyal ve teknolojik kriterleri seçilmiştir. Bunların alt kriterleri ise sırasıyla; (yatırım maliyeti, net şimdiki değer, işletim ve bakım maliyeti, geri ödeme periyodu, yakıt maliyeti, servis ömrü), (sera gaz emisyon birikimi, alan kullanımı, görsel etki), (sosyal kabul edilebilirlik, istihdam, sosyal fayda), (verimlilik, güvenlik, ulaşılabilirlik,

güvenilebilirlik) olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin değerlendirilmesi REGIME metodu kullanılarak yapılmıştır.

Troldborg vd. (2014), çalışmalarında İskoçya’da en uygun ve sürdürülebilir yenilenebilir enerji teknolojisinin veya enerji planının çok ölçütlü analizini ele almışlardır. Bunu Monte Carlo simulasyonu kullanarak çalıştırmışlardır. Sonucu etkileyen belirsiz girdilerin neler olduğunu araştırmışlardır. 11 yenilenebilir enerji kaynağı seçilmiştir. Kriter ve alt kriterleri sırasıyla; teknik (potansiyel toplam enerji üretimi, teknoloji olgunluğu, enerji arz güvenilirliği) , çevresel (sera gaz emisyonu, beğeni etkisi, alan gereksinimi), sosyoekonomik (seviyelendirilmiş enerji maliyeti, ekonomiye etkisi, sosyal kabul edilebilirlik) şeklindedir. Yenilenebilir enerji alternatifleri olarak ise onshore rüzgar, offshore rüzgar, hidro gücü, dalga, gelgit, jeotermal, fotovoltaik, solar termal, biyokütle, atıktan enerji ve ısı pompaları şeklinde belirlenmiştir. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin sıralanmasında ise fotovoltaik birinci sırada yer almıştır.

Şengül ve vd. (2014), çalışmalarında yenilenebilir enerji alternatifleri olarak hidro güç, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi seçilmiştir. biyoyakıt ve hidrojen enerji türlerini Türkiye’deki kullanımı çok fazla olmadığı ve maliyetli oldukları için değerlendirmeye alınmamışlardır. Çalışmada Teknik (verimlilik, enerji verimliliği, birincil enerji oranı, güvenlik, güvenilirlik, vade), Ekonomik (yatırım maliyeti, işletim ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik maliyeti, net şimdiki değer, geri dönüş periyodu, servis ömrü, yıllık eşdeğer maliyet), Çevresel (NO_x emisyonu, CO₂ emisyonu, CO emisyonu, SO₂ emisyonu, Partikül emisyonu, metan olmayan uçucu organik bileşenleri, alan kullanımı) Sosyal (sosyal kabul edilebilirlik, istihdam, sosyal fayda) olmak üzere temelde dört kriter üzerinde değerlendirme yapılmıştır.

Klein ve Whalley (2015) ise çalışmalarında, Birleşik Devletler için sürdürülebilir elektrik alternatiflerinin çok ölçütlü karar analizi ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Bu alternatifler yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan elektrik enerjisi alternatifleridir. Çalışmada 8 alt kriter ve 10 örnek karar verici tercih senaryosu ele alınmıştır. Kriterler ise; ekonomik (enerji maliyet düzeyi), çevresel (sera gazı emisyonu yaşam döngüsü, hava kirliliği, alan kullanımı, su kullanımı), sosyal (kaza durumu, istihdam), teknik(kapasite faktörü) şeklinde belirlenmiştir. Çalışma alt kriterleri tercih senaryolarına göre ağırlıklandırmıştır. Buradaki senaryolar ise; eşit, ulaşılabilirlik, iklim değişikliği, iklim değişikliği-ekonomi, ekonomik, çevresel, istihdam, istihdam-iklim

değişikliği-ekonomi, istihdam-ekonomi, sosyo-ekonomik şeklinde belirlenmiştir. Kömür, doğalgaz, nükleer, hidroçü, kıyıda rüzgar, karada rüzgar, biyogüç, foto voltaik, flash jeotermal, ikili jeotermal, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi-minimal yedekleme, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi-fosil yakıt enerji yedeklemesi, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi-termal enerji depolama enerji alternatifleri çok kriterli karar verme analizi metodu kullanılarak analiz edilmiştir.

Zhang vd. (2015), ise çalışmalarında teknik (okunamayan teknoloji seviyesi, güvenlik), ekonomik (yatırım maliyeti, tarife beslemesi), çevresel (CO₂ emisyonu, alan kullanımı), sosyal (istihdama etkisi) kriterlerini kullanmışlardır. Çalışmada, kriterlerin ağırlıklandırılmasında Choquet İntegrali kullanılmıştır. Yöntem olarak ise Fuzzy metodu tercih edilmiştir. Entropi ağırlıklandırma metodu, düzgün değerlendirme ve marichal entropi yöntemlerinin bileşimi bu çalışmada, fuzzy değerlendirmesinin amacına hizmet etmiştir. Çin'in Jiangsu ili için en temiz enerji fırsatının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Purwanto vd. (2015), Endonezya için yapmış oldukları çalışmada, maliyet ve CO₂ emisyonları olmak üzere iki kriter üzerine yoğunlaşmışlardır. İki hedef fonksiyonu ile çok amaçlı optimizasyon modeli kullanılan çalışmada dört senaryo üzerinde durulmuş ve çıkan sonuç ise, Endonezya'nın yenilenebilir enerji üzerine yoğunlaşması gerektiği diğer yandan maliyet kriteri göz önüne alınarak ve CO₂ emisyon sınırlarını aşmadan kömür ve doğalgaz ithal edebileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.3. *Literatürde AHS yöntemi harici diğer yöntemleri kullanarak yapılan çalışmalardan bazıları*

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2013	Mourmour is ve Potolias	<u>Ekonomik</u> ; yatırım maliyeti, net şimdiki değer, işletim ve bakım maliyeti, geri ödeme periyodu, yakıt maliyeti, servis ömrü <u>Cevresel</u> ; sera gaz emisyon birikimi, alan kullanımı, görsel etki <u>Sosyal</u> ; sosyal kabul edilebilirlik, istihdam, sosyal fayda <u>Teknik</u> ; verimlilik, güvenlik, ulaşılabilirlik, güvenilebilirlik	rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal ve hidro enerji	REGIME	Yunanistan için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi hedeflenmiştir.
2014	Troldborg vd.	<u>Teknik</u> ; potansiyel toplam enerji üretimi, teknoloji olgunluğu, enerji arz güvenilirliği, <u>Cevresel</u> ; sera gaz emisyonu, beğeni etkisi, alan gereksinimi <u>Sosyoekonomik</u> ; seviyelendirilmiş enerji maliyeti, ekonomiye etkisi, sosyal kabul edilebilirlik	onshore rüzgar, offshore rüzgar, hidro gücü, dalga, gelgit, jeotermal, fotovoltaik, solar termal, biyokütle, atıktan enerji ve ısı pompaları	Monte Carlo Simulasyonu (Çok ölçütlü karar modeli çalıştırılmıştır.)	İskoçya’da en uygun ve sürdürülebilir yenilenebilir enerji teknolojisinin veya enerji planının çok ölçütlü analizini ele almışlardır.
2014	Şengül vd.	<u>Teknik</u> ; verimlilik, enerji verimliliği, birincil enerji oranı, güvenlik, güvenilirlik, vade, <u>Ekonomik</u> ; yatırım maliyeti, işletim ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti, elektrik maliyeti, net şimdiki değer, geri dönüş periyodu, servis ömrü, yıllık eşdeğer maliyet, <u>Cevresel</u> ; NOx emisyonu, CO ₂ emisyonu, CO emisyonu, SO ₂ emisyonu, Partikül emisyonu, metan olmayan uçucu organik bileşenleri, alan kullanımı <u>Sosyal</u> ; sosyal kabul edilebilirlik, istihdam, sosyal fayda	hidro güç, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi	Fuzzy Topsis	Türkiye için yenilenebilir enerji kaynağı alternatifinin seçiminin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 3.3. (Devam) *Literatürde AHS yöntemi harici diğer yöntemleri kullanarak yapılan çalışmalardan bazıları*

Yayın Yılı	Yazar	Kriterleri	Alternatifler	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
2015	Klein ve Whalley	<u>Ekonomik</u> ; enerji maliyet düzeyi <u>Çevresel</u> ; sera gazı emisyonu yaşam döngüsü, hava kirliliği, alan kullanımı, su kullanımı <u>Sosyal</u> ; kaza durumu, istihdam, <u>Teknik</u> ; kapasite faktörü	Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan elektrik enerjisi alternatifleri	Çok ölçütlü karar verme yöntemi	Birleşik Devletler için sürdürülebilir elektrik alternatiflerinin çok ölçütlü karar analizi ile karşılaştırması yapılmıştır.
2015	Zhang vd.	<u>Teknik</u> ; okunamayan teknoloji seviyesi, güvenlik <u>Ekonomik</u> ; yatırım maliyeti, tarife beslemesi <u>Çevresel</u> ; CO ₂ emisyonu, alan kullanımı <u>Sosyal</u> ; istihdama etkisi	Rüzgar, Nükleer, Biyokütle, Solar Fotovoltaik	Çok ölçütlü karar verme- Fuzzy	Çin'in Jiangsu ili için en temiz enerji fırsatının değerlendirilmesi.
2015	Purwanto vd.	maliyet ve CO ₂ emisyonları	Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Kömür, Doğalgaz	İki hedef fonksiyonu ile çok amaçlı optimizasyon modeli	Endonezya'nın yenilenebilir enerji üzerine yoğunlaşması gerektiği diğer yandan maliyet kriteri göz önüne alınarak ve CO ₂ emisyon sınırlarını aşmadan kömür ve doğalgaz ithal edebileceği sonucuna varılmıştır.

3.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Yenilenebilir enerji alternatiflerinin seçimine yönelik literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri genellikle ana kriterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kriterlerin başlığı altında alt kriterler literatür çalışmalarında çeşitlilik göstermektedir. Önemli olan seçilen konuya ilişkin doğru kriter ve alt kriterleri belirlemek olduğundan alt kriterlerin sınıflandırılması da karar verici tarafından kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, benzer konularda olan literatür çalışmalarından farklı olarak sürdürülebilirlik kriteri ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerjilerin teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan değerlendirilmelerinin yanı sıra

sürdürülebilirlikleri ana bir kriter olarak ele alınmıştır. Bunun yanı sıra ekonomik kriteri adı altında teşvik politikaları alt kriter olarak bu çalışmada ele alınmış olup literatürde nadiren incelenen diğer bir faktördür. Çalışmada teknik, ekonomik, sosyal, çevresel, sürdürülebilirlik kriterleri altında incelenen alt kriterler de literatürde olmadığı kadar geniş bir yelpazede değerlendirilmiş olup kapsamı geniş tutulmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmede kullanılan kriterlerin açıklamaları ve hiyerarşik gösterimi aşağıda yer almaktadır.

Teknik:

- a) Teknolojik yeterlilik: Seçilecek yenilenebilir enerji kaynağı için yapılacak yatırımda teknik bilgi eşliğinde, teknolojik alt yapının var olması gerekir. Teknolojik alt yapı, sistemin çalıştırılması ve enerji eldesinde önemli bir başlangıç noktasıdır. Teknolojik yeterlilik düzeyinin zayıf olduğu bir yatırım projesi, mali açıdan uygun olmayan koşullar doğurabilir. Ekstra ar-ge gerektirebilir. Bu da hem zaman hem de para kaybı demektir.
- b) Teknik gelişim potansiyeli: Enerji üretim teknolojilerinde var olan mevcut teknik potansiyelin yanı sıra gelişime açık yollarının da ele alındığı bir değerlendirme kriteridir. Üretim teknolojiler ve özellikle yenilenebilir enerji üzerinde her geçen gün yeni çalışmalar ortaya çıkmaktadır. Enerjinin daha verimli elde edilmesi, çevreye daha az zarar verir olması ve dağıtımından kullanımına tedarik her basamağı teknik gelişme potansiyelinin varlığı, o enerji kaynağını daha tercih edilebilir yapacaktır.
- c) Kurulum süresi: Yenilenebilir enerji kaynağından üretilen enerji için kurulacak tesisin inşa edilip işler hale gelene kadar ki geçen süreyi ifade eder.
- d) Yatırımın Geri dönüş süresi: Yatırım yapıldığı kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Burada geçen süre, yasal mevzuat hükümleri çerçevesinde yerine getirilmesi gereken işlevlerin tamamlanması, varsa ortaklık anlaşmalarının yapılması süreci, teknik alt yapının zeminin hazırlanması ve benzer durumları kapsamaktadır. Yatırımcılar, yatırım süresi kısa olan enerji kaynağını da bu bakımdan olumlu değerlendirmektedirler.
- e) İşlem süresi: Sistemin çalıştığı süre boyunca geçen zamanı ifade etmektedir.
- f) Verimlilik: Üretilen enerjiden elde edilen maksimum çıktıdır. Üretim esnasında; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarının önlenmesi, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, ileri teknoloji ve gelişmiş endüstriyel süreçler ile enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı faaliyetlerin varlığı enerji verimliliğini artırıcı bir unsurdur. 02/05/2007 tarih ve 26510 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Enerji

Verimliliği Kanunu ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu 2020 yılına kadar %15 azaltmayı hedeflemektedir. Bu hedefle, aynı enerji ile daha fazla üretimin önünü açması, enerji yatırım ihtiyaçlarını ve ithalat bağımlılığını azaltması ve temiz çevrenin korunmasına fayda sağlaması amaçlanmaktadır(Pabuçcu ve Ayan, 2013).

g) Güç kapasitesi: Kurulabilirliği olan enerji üretim tesislerinin elde edecekleri kurulu gücü ifade eder.

Ekonomik: Ekonomi kriteri, yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının ekonomik durumunu ele almıştır. Projelerin yatırım maliyetleri, işletim maliyetleri dağıtım maliyetleri, istihdam maliyetleri, pazar büyüklüğü, ticarileşme potansiyelleri ve bunların gelişimine hizmet edecek olan teşvik politikaları ise çalışmada alt kriterler olarak belirlenmiştir.

a) Yatırım maliyeti: Yenilenebilir enerjiye ilişkin risk ve yatırım maliyetleri halen çok yüksek olduğu için ekonomik bakışa göre karlı bir yatırım olarak görülmemektedir. Birçok çalışmada yenilenebilir enerji yatırım maliyetlerinin dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir. Yatırım maliyeti, yenilenebilir enerji kaynağı için uygun olan bir projenin faaliyete geçirilmesi için başlangıç aşamasından işler hale gelene kadar geçen maliyeti kapsamaktadır.

b) İşletim maliyeti: Yenilenebilir enerji kaynağı için kurulan tesisin işletimi için gerekli maliyeti ifade etmektedir.

c) İşgücü maliyeti: Yenilenebilir enerji kaynaklarının ticari işletmeler haline gelmesi onların aynı zamanda bir istihdam kapısı olmalarına da vesile olmaktadır. Bu çalışmada ele alınan istihdam maliyeti ise, yenilenebilir enerji kaynağının tesisinden fayda sağlamada destek olan insan gücünün istihdam yönüyle maliyetini ifade etmektedir.

d) Enerji dağıtım maliyeti: Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji eldesi sağlanmasının yanında önem arz eden bir diğer husus ise dağıtım kanallarının varlığıdır. Bu aynı zamanda ticarileşme potansiyeli de oluşturan bir husustur. Dağıtım kanallarının varlığı, elde edilen enerjinin ihtiyaç sahiplerine dağıtılmasında oldukça önemlidir. Çünkü enerjinin dağıtımı, dağıtım kanallarının varlığı sayesinde olacaktır. Bu bakımdan dağıtım maliyeti, enerjinin dağıtımında gündeme gelen maliyeti ifade etmektedir. Dağıtım kanalı yok ise, enerjinin kullanımı sınırlı bir çevre tarafından olacaktır.

e) Pazar büyüklüğü: Ekonomik büyüme sağlamak ve artan istihdamı teşvik eden ekonomik hedeflere ulaşabilmek için, yurt içi ve yurt dışındaki yenilenebilir enerji pazar

potansiyelleri ve ilgili teknolojiler dikkatlice değerlendirilmelidir. Endüstriyel rekabetin oluşturulmasında, yenilenebilir enerji teknolojilerinin potansiyel pazar büyüklüklerinin çok önemli bir rolü vardır ve bu kriterde bu açıklamalar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

f) Ticarileşme potansiyeli: Yenilenebilir enerji kaynakları, potansiyelleri itibari ile fosil kökenli enerji kaynaklarının yerini alabilecek nitelikte olmakla birlikte geliştirilmeye müsait teknolojileri nedeniyle hali hazırda yeterli düzeyde ekonomik gelişime ve istihdama katkı sağlayamamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları, teknolojik yeterlilik ve alt yapılarının gelişmişliği sebebiyle ticari potansiyelde ivme kazanmıştır. Üretiminde maliyet girdilerinin azaltılmasına yönelik çalışmaların devam ettiği yenilenebilir enerji kaynakları ticarileşme potansiyeli bakımından gelecek vaat etmektedir. Bu bağlamda yüzünü yenilenebilir enerji kaynaklarına dönmüş ülkeler, ekonomik ve ticari hedeflerini bu temel üzerinden devam ettirmeye başlamışlardır. Özellikle gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının ticarileşme potansiyelleri de fazla olmuştur. Bunda, yapılan yatırımların büyük ölçekte olması da etkili olmuştur. Ticarileşme potansiyeli; yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen verimlilik düzeyine göre ticari bir kaynak olarak ele alınması ve alım satımının ticari kazanç açısından bir anlam ifade etme halidir.

g) Teşvik politikaları: Enerjiye ihtiyacın giderek arttığı günümüz dünyasında, devletler de üretmiş oldukları enerjinin kaynak dağılımında yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmaya çalışmaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları kamu eliyle yapılandırılmakla birlikte özel sektöre de cazip hale getirebilmek için teşvikler sağlamaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından avantajlı olan ülkemiz, bu enerji kaynaklarından yeterince faydalanamamaktadır. Bazı Avrupa ülkelerinde, yenilenebilir enerji kullanma zorunluluğu, sabit fiyat, sermaye indirimi, kamu kredileri v.b. teşvik politikaları uygulanmaktadır. Ülkemizde çıkarılan kanun ve değişikliklerle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjiye olan teşvikler söz konusu olmuştur. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimine sabit fiyat garantisi adı altında teşvik verilmekte olup bu en önemli teşvikler arasında yer almaktadır. Bu uygulama ile elektrik üreten firmalar, belirlenmiş sabit fiyat üzerinden üretmiş oldukları elektriği satabilmektedirler. Ayrıca kendi elektrik ihtiyacını karşılayan üreticiler, arta kalan enerjiyi, enerji dağıtım şirketlerine de satabilmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynak türüne göre farklılık göstermekle birlikte enerji üretimi yerli

teknik ve mekanikle yapıldığında bunun içinde bir teşvik verilmekte ve sabit fiyat teşvikine eklenerek 31.12.2020 tarihine kadar uzatılmıştır. Türkiye’de Lisans Yönetmeliği kapsamında lisanslı işletmelerden yıllık lisans ücreti alınmakta olup, işletmeler ilk 8 yıl bu ücretten muaf tutulmaktadır. Lisans zorunluluğu 500 kWh enerji üretiminin altında olan tesislerde aranmamaktadır. Bununla birlikte bu üretim tesislerinde sabit fiyat garantisi ile elde edilen enerjinin fazlası satılabilmektedir. Ayrıca 1000 kWh’a kadar kendi enerji ihtiyacını karşılayacak olan işletmelerden plan ve proje bedelleri için hizmet bedeli alınmamaktadır. Bunların yanı sıra, mülkiyeti hazineye ait olan orman, mera, yayla v.b. taşınmazlar yenilenebilir enerji eldesi için kullanımında bedeli karşılığında üretim yapacak işletmelere kiraya verilebilmektedir. Ülkemizde vergisel teşvikler ise yeterinde farklılaştırılmamıştır. Yenilenebilir kaynaklara yönelik olarak 2012 yılına kadar verilen tek vergisel teşvik damga vergisi istisnasıdır. Bunun dışında Avrupa Birliği(AB) ülkelerinde olduğu gibi emlak, özel tüketim vergisi(ÖTV)AB, enerji vergileri vb. vergilerle yenilenebilir kaynaklara talebi arttıracak bir mali teşvik mekanizması geliştirilmemiştir. Ülkede elektrik üretimine yönelik olarak genel teşvik uygulamaları bağlamında gümrük vergisi muafiyeti, katma değer vergisi(KDV) istisnası, gelir vergisi stopajı desteği gibi teşvikler uygulanmaktadır. Ayrıca bölgesel teşvik uygulamaları bağlamında genel teşviklere ilave olarak vergi indirimi, sigorta primi işveren hissesi desteği, sigorta primi desteği, faiz desteği, yatırım yeri tahsis destekleri uygulanmaktadır. Fakat burada sorun oluşturan husus yenilenebilir enerji kaynaklarını cazip hale getirecek farklılaştırılmış ve yeterli denebilecek düzeyde mali teşviklerin olmamasıdır(Eser ve Polat, 2015).

Sürdürülebilirlik: Sadece yenilenebilir enerji kaynaklarında değil, uzun vadeli olması istenen her yatırım projesinde sürdürülebilirlik faktörü olmazsa olmaz bir unsurdur. Sürdürülebilirlik, bir sistemin gerileme olmadan uzun süre çalışma kabiliyeti anlamını taşımaktadır. Enerji alanında sürdürülebilirlik, tüm çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler göz önüne alınarak uzun vadede etkin ve ihtiyaçlara cevap veren bir sistemin yerleştirilmesi olarak ifade edilebilir. Sürdürülebilirlik, kelime anlamı olarak herhangi bir sistemin bir gerileme olmadan uzun süre çalışma yeteneği anlamına gelmektedir. Enerji alanında sürdürülebilirlik, tüm çevresel, ekonomik ve sosyal faktörler dikkate alındığında uzun vadede etkin ve ihtiyaçlara cevap veren bir sistemin yerleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Türkiye için Yenilenebilir enerji kaynaklarının analizini ele alan bu çalışmada, sürdürülebilirlik kriteri, literatürde incelenen çalışmalardan farklı olarak

ayrı bir kriter olarak ele alınmış ve alt kriterler ile detaylandırılmıştır. Zira, yenilenebilir enerji üretim tesisleri, kurulumları itibarıyla maliyetlidirler. Bunun yanı sıra, tesislerin fizibilite çalışmaları ve güç potansiyellerine göre lisanslandırılması ve belgelendirilmesi de süreç alan işlemlerdir. Bu sebeple, tesislerin kullanım ömürlerinin uzun olması, hammadde kaynak potansiyellerinin fazla olması, elde edilen enerjinin dağıtımının kolay ve depolanabilir olmasının yanında tesislerin dayanıklılıklarının fazla olması aynı zamanda sürdürülebilir olmalarını da sağlamaktadır. Sürdürülebilirlik alt kriteri olarak belirlenen bu kriterlerin açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

a) Hammadde kaynak potansiyeli: yenilenebilir enerji kaynaklarında, ilgili projelerin değerlendirmeye alınması ve lisanslandırılması için hammadde kaynak potansiyeli önemli bir etkidir. Potansiyelin fazla oluşu, yatırım projelerinin hayata geçirilmesine vesile olacaktır. Bu aynı zamanda kurulacak tesislerin sürdürülebilirliğini etkileyen oldukça önemli bir unsurdur. Hammadde kaynak potansiyeli, aynı zamanda tesisten elde edilecek enerji miktarının da alt yapısını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerjinin en yaygın kabul gören dezavantajı kaynak gücünün hava koşullarıyla sürekli değişkenlik göstermesi sebebiyle elektrik üretiminin kesintili gerçekleşmesi ve kaynak gücü değişiminin tahmin edilememesidir. Bu açıdan değerlendirildiğinde yenilenebilir enerji elektrik üretimi için kullanıldığında, özellikle rüzgâr ve güneş enerjileri çok elverişli olmamakta ve bu da üretim istikrarını etkilemektedir(Ayan ve Pabuçcu, 2013).

b) Tesis kullanım ömrü: Mevcut potansiyeli araştırılıp tesis kurulumuna karar verilen bir yenilenebilir enerji üretim tesisinin kullanım ömrü, ondan alınacak faydanın ve verimin belirlenmesinde önemli bir etkidir. Tesisin kurulduğu yerin tesisin yapısal durumuna etki eden bir konumda olup olmadığı dikkat edilecek hususlar arasındadır. Bununla birlikte, proses çıktısının üretim tesisine zarar veren bir boyutunun olup olmadığı, varsa bunların nasıl önlenebileceği araştırılması gereken noktalardan biridir. Literatür çalışmaları incelendiğinde, tesis kullanım ömrünün bir kriter olarak değerlendirilmesi az rastlanılan bir durum olmakla birlikte önemine binaen bu çalışmada yer bulmuştur.

c) Dağıtım kanallarının varlığı: Enerji kaynaklı yatırım projelerinde, enerjinin dağıtımının sağlanacağı kanalların varlığı oldukça önemlidir. Enerji üretim tesislerinde, üretilen enerjinin kullanıcılara ulaştırılabilmesi için dağıtım kanalları mutlaka olmalıdır. Tesiste üretilen enerji, şayet yine tesis bünyesinde bir departmanda kullanılacaksa veya tesise yakın bir alana aktarılacaksa, dağıtım kanallarının geniş ve yaygın oluşu gerekli

olmasa da, artan enerji miktarının dağıtımı veya depolanması gerekecektir. Bu çalışmada, literatürdeki çalışmalarda sıkça işlenmeyen veya ele alınmayan bir durum olan dağıtım kanallarının varlığı kriteri seçilerek, kullanılacak yenilenebilir enerji kaynağının seçiminde önemli rol oynayacağı düşünülmüştür.

d) Depolanabilirlik: Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanabilirliği de çok önemlidir. Yenilenebilir enerjilerde en önemli sorunlardan bir tanesi üretilen enerjinin depolanması sürecidir. Örneğin güneş pilleri kullanılarak üretilen elektrik enerjisinin depolanması maliyetli bir işlemdir. Maliyet açısından, elde edilen faydayı gölgelediğinden enerjinin depolanması tercih edilmeme sebebi olabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen enerji, meteorolojik koşullara bağlıdır. Gündüz güneş enerjisinden faydalanılırken gece güneş enerjisinden enerji elde etmek mümkün olmamaktadır. Benzer şekilde rüzgar enerjisinden enerji, ancak rüzgarın hakim olduğu mevsimsel şartlarda daha verimli bir şekilde elde edilmektedir. Enerji potansiyelinin yoğun olduğu zamanlarda gereksinim fazlası olan enerjiyi depolamak için depolama tesislerine ihtiyaç vardır. Böylece sabit enerji arzı sağlanacaktır. Günümüzde özellikle hidroelektrik santrallerden elde edilen enerjiyi depolamak için pompaj depolamalı santraller tercih edilmektedir. Ayrıca hidrojen gazından elde edilen enerjiyi depolamak için hidrojen depolama sistemleri üzerinde ar-ge çalışmaları devam etmektedir. Yeraltı depolama sistemlerine örnek olarak ise doğalgaz verilebilir. Yenilenebilir enerjinin metan gazına dönüştürülerek depolanması sürecinde, elde edilen enerjinin üçte bir oranında bu işe harcanması bu yöntemin geliştirilmeye ihtiyacı olduğunu göstermektedir.

e) Dayanıklılık: Bu kriter, enerji kaynağının kullanımının periyot uzunluğunu ölçer. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dayanıklılık süreleri aynı değildir. Örneğin biyokütle enerjisi mevsimsel değişkenlere bağlı bir enerji türü olmakla beraber, biyolojik proseslerde ve alan kullanımında meydana gelebilecek değişkenlikler enerji kaynağını ve enerji üretim tesisinin dayanıklılığını etkileyen faktördür. Üretim tesisinin dayanıklılığı, özellikle üretim alanının mevcut yapısından da etkilenmektedir. Üretim tesisinin dayanıklılığı, enerji eldesinin sürekliliği açısından da önemlidir. Bu alt kriterde, yenilenebilir enerji kaynaklarının tesis ve üretim sürecindeki dayanıklı olabilmeleri dikkate alınmıştır.

Sosyal: Belirlenen bu kriterde yenilenebilir enerji kaynaklarının sosyal açıdan etkileri iç alt başlık altında değerlendirilmiş olup aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Sosyal etki, literatürde bir çok çalışmada ana kriterlerden biri olarak tercih edilmiştir. Muhakkak ki yenilenebilir enerji projelerinin sosyal gelişime katkısı, sosyal açıdan kabul edilebilirlikleri yadsınamaz bir gerçektir.

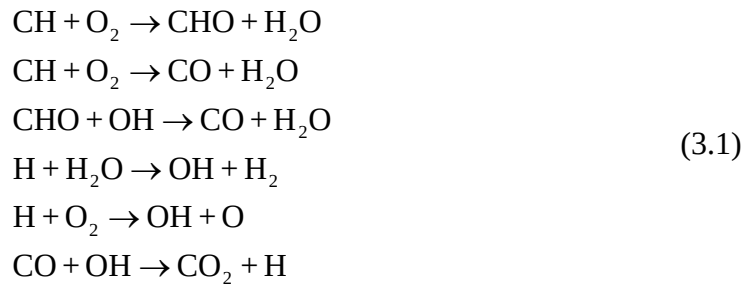
a) Ekonomik gelişime katkı: Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı beraberinde ekonomik gelişime katkıyı da getirecektir. Gerek elde edilen maddi kazanç gerekse istihdam oranına olumlu yöndeki etkisi ile bu tarz projeler sayesinde ülkelerin ekonomik gelişmişlikleri artış göstermektedir. Enerjide dışa bağımlılığın önüne geçilmesi, yerel enerji üretim miktarının artması bu amaca hizmet eden hususlardır. Bu bağlamda yenilenebilir enerji projeleri ekonomik gelişime katkı sağlaması bakımından sosyal algısı olumlu olabilecek girişimlerdir. Burada önemli olan, ortaya konacak çalışmanın ve bunun somut hali olan tesis ağının verimliliği, elde edilen ekonomik kazanç ve bunun ülkenin ekonomik gelişimine ne oranda yansıdığıdır.

b) İstihdama katkı: Türkiye ve dünyada son yıllardaki küresel krizin de etkisiyle işsizlik oranları her geçen gün artmakta ve bu sorun oldukça önemli hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji politikalarının bir diğer hedefi de yeni iş imkanları yaratarak işsizlik sorununu çözmeye katkıda bulunmaktır. Yenilenebilir enerji projelerinin işlerlik kazanması ve tesislerin üretime başlamasıyla üretimin ve tedarik zincirinin her basamağında istihdam olanağı olmakta ve bu durum sosyal algı bakımından insanların olumlu tepkisini çekmektedir. Bu sayede yenilenebilir enerji projelerine halkın desteği de artmakta, ve bu çalışmalara farkındalık oluşmaktadır.

c) Sosyal açıdan kabul edilebilirlik: bu kriterde, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak oluşturulan tesislerin sosyal açıdan kabul görüşleri ele alınmıştır. İstihdama olan olumlu katkıları, sürdürülebilir ve yerel bir enerji üretim merkezi olma yönüyle milli bilinç açısından olumlu etkisi, fosil kaynaklı enerji türlerine göre çevreci oluşları onları sosyal açıdan kabul edilebilir yapan yanlarıdır. Diğer yandan, kapasitelerine göre kurulum aşamasında geniş alana gereksinim duymaları, hidrolik enerjide olduğu gibi bulunduğu yerlerde geniş bir alanı kaplamaları ve buradaki çevresel ve tarihi dokuyu tahrip etmeleri açısından toplumun çevre bilinciyle ters düşen yönleri de mevcuttur. Zira rüzgar türbinlerinin çıkarmış olduğu sesin özellikle göç yolunda olan kuşların güzergahlarını değiştirmelerine ve hatta ölmelerine sebebiyet vermeleri de bir diğer olumsuz etkindir.

Çevresel: Dünyada giderek artan sera gazı emisyon miktarı iklim değişikliğine sebep olarak dünyayı olumsuz yönde etkilemeye devam etmektedir. Atmosferin ozon tabakasında biriken sera gazları, bu tabakada delikler oluşturmakta ve Güneş'ten gelen ışınlar doğrudan Dünya'mıza gelmektedir. Dünyamız her zamankinden daha fazla ısınmakta ve yaşanan iklim değişikliği ile birlikte özellikle dünyanın bazı noktalarında ısınma oranının artması çevreyi, bitki ve hayvan ekosistemini olumsuz olarak etkilemektedir. Sera gazı emisyonları, enerji üretimi ve tüketimi esnasında yoğun bir şekilde ortaya çıkmakta ve bu soruna ilişkin çözüm önerilerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi ve tüketimi uluslararası platformlarda sıkça dile getirilmektedir. Bu çalışmada çevresel kriterinin seçilmesindeki ana sebeplerden biri budur. Çevresel kriteri altında, bazı alt kriterler belirlenmiştir. Bunlar; CO salınımı, SO₂ salınımı, NO₂ emisyon miktarı, partikül emisyon miktarı, atıkların geri dönüşüm imkanı, gürültü seviyesi, alan gereksinimi olmak üzere toplamda yedi alt kriter belirlenmiştir.

a) CO emisyon miktarı: Karbonmonoksit, tatsız ve kokusuz bir gazdır. Havadan ağır olduğu için birikinti oluşturma ihtimali yüksektir. Karbon ve hidrojen içeren yakıtların oksidasyonu sonucu oluşur. Yaratmış olduğu en önemli problemlerden biri de kandaki hemoglobinle benzerlik göstermesi ve birleşmesidir. Bu sebepten dolayı kandaki hemoglobin kendi işlevini yerine getiremez hale gelmektedir. Kanda CO ile bileşime giren hemoglobin seviyesi %40 seviyesine ulaştığında ölüm tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Yanma reaksiyonu sonucu oluşan CO, oksijen(O₂) ile reaksiyona girerek CO₂ oluşur. Aşağıda CO ve CO₂ oluşum reaksiyonları verilmiştir.



b) SO₂ emisyon miktarı: Fosil yakıtların büyük bir kısmının bileşiminde kükürt ve azot bulunmaktadır. Kükürt yanma reaksiyonu sonucu SO_x emisyonuna dönüşür ve insanlarda solunum rahatsızlıklarına yol açar(Ayan ve Papuçcu, 2013). Fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanımının azaltılması, bunun yerine yenilenebilir enerji

kaynaklarının kullanılarak SO_x emisyonunun minimuma indirgenmesi çevresel ve sosyal açıdan son derece önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları emisyon miktarlarının ne denli az oluşu onları o denli çevresi enerji kaynakları ve yakıtları yapacaktır.

c) NO₂ emisyon miktarı: Fosil yakıtların yanması sonucu ve kirletici olan NO_x emisyonu ortaya çıkmaktadır. NO_x emisyonu solunması halinde akciğer dokusunu tahrip eden halinin yanı sıra, bitki örtüsünü en fazla etkileyen ve sera etkisine sebep olan gazlardandır(Ayan ve Papuçcu, 2013). Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji eldesinde NO_x emisyon miktarı yok denecek kadar azdır. Biyoyakıtların kullanımında, azotun oksijenle yanma reaksiyonuna girmesi sonucu NO_x bileşikleri meydana gelmektedir.

d) Partikül emisyon miktarı: Partikül maddelerin basit kimyasal formülleri olmayıp içeriğinde karbon ihtiva eden değişik kimyasal bileşenleri oluşturduğu bir karışımdır. Özellikle solunum yollarının tahrişine neden olmakta, öksürük ve astımı tetiklemektedir. Partiküllerin bir kısmı yanmamış hidrokarbonları da içerisinde bulundurmakta olup bunlar ise kanserojen içeriktedirler. Özellikle yakıt olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarında görülebilecek olan emisyon türüdür.

e) Atıkların geri dönüşüm imkanı: Bu kriterde, yenilenebilir enerji projelerinde kurulan tesislerde muhtemel meydana gelebilecek atıkların geri dönüşümlerinin yapılabıyıp yapılamayacağı, bunların ekonomik düzeylerinin ve gerekli teknolojik alt yapının hangi ölçülerde olduğu veya olacağı konusu ele alınmıştır. Oluşan atıkların çevreye zarar vermeden ve ekonomik bir biçimde geri dönüşümlerinin yapılabilmesi büyük önem taşımaktadır.

f) Gürültü seviyesi: Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji anlamında faydalanmanın çevre kirliliğine emisyon olarak etkisi az olsa da gürültü anlamında aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Özellikle rüzgar enerjisi eldesinde kullanılan rüzgar türbinlerinin çıkarmış olduğu ses, çevreye gürültü rahatsızlığında bulunmakla birlikte, türbinlerden çıkan bu sesler kuşların göç yolu güzergahlarında değişiklik yapmalarına sebep olmaktadır. Rüzgar türbinlerinin diğer bir çevresel olumsuzluğu da kartal ve doğan türü kuşların, bunlara çarparak ölmesidir. Bu konuda türbin üreten firmalar bir takım önlemler almak için araştırmalarını yoğunlaştırmaktadır.

g) Alan gereksinimi: Rüzgar ve güneş kaynakları kullanılarak yapılan üretimde enerji yoğunluğunun düşük olması nedeniyle, birim alan başına düşen enerji miktarı düşük

olmaktadır. Enerji yoğunluğunun düşük ve bazı enerji tesislerinin de çok geniş alana gereksinim duyması, özellikle bazı araç ve makineler için, yüksek maliyetli olmaktadır. Bu sebeple kaynak seçiminde bu değişkenin çok önemli bir rolü vardır. Bu çalışmada kullanılan alan gereksinimi kriteri, enerji tesisi için gerekli alanı ifade etmektedir.

4. KRİTERLERİN ANALİTİK SERİM SÜRECİ METODU İLE AĞIRLIKLANDIRILMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı, onların etki ettiği ortam koşullarına dikkat edilerek projelendirilmesiyle doğrudan alakalıdır. Bu enerji kaynaklarından elde edilecek enerji bazı kriterlere ve bunları oluşturan alt kriterlere bağlıdır. Birden fazla kriter içeren kriterli karar verme problemlerinin çözümünde etkin iletişim ve bağlantı sağlayan ve seçilen alternatifin kabul edilmesini kolaylaştırıp uygulama açısından kolaylık sunduğundan, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçimi probleminin çözümünde ASS yöntemi kullanılmıştır.

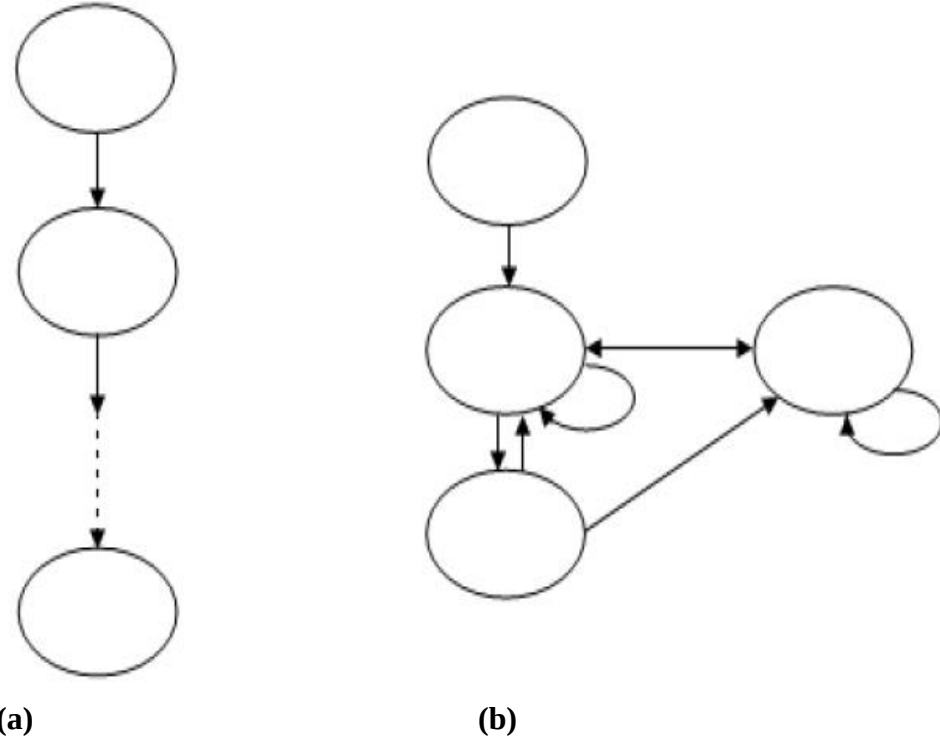
Çalışmanın amacı, çok ölçütlü karar modeli kullanarak Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçilmesidir. Yenilenebilir enerji kaynağı alternatifi olarak güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, biyokütle, hidrojen, deniz kökenli enerji gibi alternatifler belirlenmiştir.

4.1. Analitik Serim Süreci Metodu (ASS)

Günümüz rekabet ortamında işletmelerin en önemli hedeflerinden biri kararların hızlı ve etkin bir şekilde verilmesidir. Hızla değişen çevresel koşullara karşı çabuk uyum sağlamaları ve bu değişime paralel olarak etkin kararlar alabilmeleri için karar sürecinde çok sayıda nitel ve nicel faktörü bir arada değerlendirebilen bilimsel yöntemleri kullanmaları ile mümkün olacaktır. Bu süreçte kullanılabilecek alternatif bir yöntem olarak ASS seçilebilir.

Gerçek hayatta karşımıza çıkan karar verme problemlerinin hiyerarşik bir yapı kurarak modellenmesi mümkün değildir. Kriterlerinin karşılıklı etkileşimlerinin bulunduğu, güçlü ve zayıf yönlerinin irdelendiği ve karmaşık bir ilişki ağının olduğu gerçek bir problemde, kriterler arasındaki ilişki ağını göz önünde bulunduran bir yöntem olan Analitik Serim Süreci, Saaty tarafından ortaya atılmıştır(Göze, 2008).

Çok kriterli karar verme problemlerinde etkili çözümler sunan Analitik Serim Süreci metodu, birbirleri ile ilişkileri olmadığı varsayımı yapılmadan, kriterler arasındaki etkileşimleri basite indirmeden çözümü mümkün kılmaktadır. Analitik Serim Süreci metodu, sadece kriterleri değil aynı zamanda bunların birbirleriyle olan etkileşimlerinin olumlu ve olumsuz bildirimlerini de dikkate almaktadır(Çakın, 2013).



Şekil 4.1. Hiyerarşik yapı ile bir ağ yapısı arasındaki fark (a) hiyerarşik yapı, (b) ağ yapısı

Kaynak: Özçelik, 2011

Şekil 4.1.'deki ağ modelinde, iki yönlü oklar kümeler arası karşılıklı bağımlılığı (geribildirim), döngüye sahip oklar aynı küme içindeki bağımlılığı (içsel bağımlılık), ters yönlü oklar ise tek bir kriterin diğer kümeyi etkilediğini (dışsal bağımlılık) ifade etmektedir.

ASS yöntemi, karar probleminin elemanların birbirleriyle olan karmaşık ilişki ve etkileşimleri dikkate alan, amaç, kriter, alternatif, karar vericiler ve aktörleri tek bir model içinde toplayarak bunlar arası etkileşim ve geribildirimlerin küme içi ve kümeler arası gösterimini mümkün kılan bir yöntemdir.

ASS'de, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasında, kriter ve alt kriterlerin belirlenmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci metodunda olduğu gibi Saaty tarafından belirlenen ve aşağıdaki tabloda belirtilen önem tablosu kullanılmaktadır (Özçelik, 2011).

ASS metodunun kolay uygulanabilirliği, kriter, alternatif ve aktörler arası karmaşık yapıdaki bağlantıları ifade etmeye uygun yapısı ile ürün planlama, stratejik karar alma, çevre planlama, kentsel dönüşüm, kuruluş yeri seçimi, personel seçimi, tedarikçi seçimi gibi farklı alanlarda kendi başına, veya farklı yöntemlerle birlikte tercih edilen bir kullanıma alanına sahiptir.

Tablo 4.1. ASS metodunda kullanılan önem değerleri

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur.
3	Birinin diğerine göre orta derece daha önemli olması	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettirir.
5	Kuvvetli düzeyde önemli	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğerine kuvvetli bir şekilde tercih ettirir.
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür.
9	Kesin önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir.
2, 4, 6, 8	Ortalama ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler

Kaynak: Saaty, 1990.

4.1.1. Analitik Serim Süreci uygulama adımları

ASS yöntemi kullanılarak doğru ve etkin bir kararın alınması için bu yönetime ait bazı adımlar bulunmaktadır. Bunları kısaca aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

- Problemin tanımlanması ve karar modelinin oluşturulması

Bir karar problemi açık bir şekilde tanımlanmalıdır. Karar sürecinde amaç belirlenmelidir. Belirlenen bu amaç doğrultusunda kriter ve alternatifler oluşturulmalı daha sonra ise bunların birbirleri ve kendileri ile olan ilişkileri, bağılılıkları ortaya konmalıdır.

Ağ yapısı, kümeler ile birlikte bunları oluşturan faktörlerden oluşmaktadır. Problemdeki tüm değişkenler, kriterler, alt kriterler, alternatifler belirlenmelidir. Bunlar seçildikten sonra, kümeler ve faktörler arasındaki ilişkiler, geri bildirimler ve bağımlılıklar ortaya konulmalıdır. Ağ yapısında herhangi bir kümedeki bir faktör diğer bir kümedeki faktörler ile ya da herhangi bir kümedeki faktörler birbirleriyle ilişki içinde olabilmektedir. Bunların da yapı içerisinde göz önüne alınması gerekmektedir.

- İkili karşılaştırmaların yapılması ve göreceli öncelik değerlerinin hesaplanması

İkili karşılaştırmalar, probleme etki eden tüm unsurlar bir ağ yapısı şeklinde modellendikten sonra oluşturulmalıdır. İkili karşılaştırma matrislerinde, karşılaştırılan iki kriter veya eleman için yapılan tercihler sunulmaktadır. İkili karşılaştırmada AHS’de olduğu gibi Saaty tarafından önerilen ve Tablo 4.1’de gösterilen 1-9 ölçeği kullanılmaktadır. ASS’deki ikili karşılaştırmalar ağ yapısı dikkate alınarak birbirleriyle

ilişkili kümeler ve faktörler arasında yapılmalıdır. Ağdaki elemanların birbirleri üzerindeki etkileri ASS'nin temelini oluşturmaktadır.

İkili karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra öncelik değerler hesaplanmalıdır

$$A = \lambda_{\max} w \quad (4.1)$$

denkleminin çözülmesi ile elde edilen özvektör belirlenmesi uygulamada en çok tercih edilen uygulamalardan biridir. Söz konusu ikili karşılaştırmalar her alt kriter ele alınarak alternatifler, her ana kriter ele alınarak alt kriterler ve amaç ele alınarak ana kriterler için yapılır. İkili karşılaştırmalar yapıldıktan sonra tutarlılık oranı (CR) kontrol edilmelidir. Elde edilen ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları, karar vericilerin yapabilecekleri tutarsız değerlendirmelerin tespit edilmesinde önemli bir sağlamadır. Tutarlılık oranı genellikle 0,10 limitine kadar kabul edilmektedir. Fakat bazı araştırmacılar tarafından 0,20 limitinin de kabul edilebilir olduğu öne sürülmektedir(Burhan, 2015, s. 42). Tutarlılık oranının hesaplanmasında 4.2'deki formül

$$CR = CI / RI \quad (4.2)$$

kullanılmakta olup burada RI rasgele değer endeksini temsil etmekte ve tutarlılık oranının hesaplanmasında karar problemi dahilindeki kriter sayısına göre Tablo 4.2'deki uygun değer seçilerek işleme devam edilmelidir.

Tablo 4.2. *Rasgele değer endeksi tablosu*

Kriter Sayısı (n)	Rasgele Değer Endeksi
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Kaynak: Timor, 2011, s.45

4.2'deki formülde CI ile ifade edilen değer 4.3'deki formülle hesaplanmaktadır.

$$CI = (\lambda - n) / (n - 1) \quad (4.3)$$

Buradaki λ değeri ise aşağıdaki (4.4) formülünden hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \left(\sum_{i=1}^n (E_i) \right) / n \quad (4.4)$$

Denklem 4.4’de görülen E_i değeri D sütun vektörü ile W sütun vektörünün karşılıklı elemanlarının bölümünden elde edilmekte ve formülü (4.5)’te verilmektedir.

$$E_i = d_i / w_i \quad (4.5)$$

E_i değerlerinin ortalaması λ değerini vermektedir. Bundan dolayı E_i değerlerinin sonrasında ise tutarlılık oranının hesaplanması için hem D sütun vektörü hem de W görelî önem vektörü meydana getirilmelidir. Burada D sütun vektörü ikili karşılaştırma matrisi ile W görelî önem vektörünün çarpılması yoluyla ortaya çıkarılmaktadır.

Kriter sayısı kadar elde edilen sütun vektörlerinin bir araya getirilerek oluşturulan matrisin satırlarının, 4.6’da formül yardımıyla aritmetik ortalaması alınarak W görelî önem vektörü bulunmaktadır.

$$w_i = \left(\sum_{j=1}^n b_{ij} \right) / n \quad (4.6)$$

$$b_{ij} = (a_{ij}) / \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (4.7)$$

Burada a_{ij} , karşılaştırma matrisindeki i. satır ve j. sütunun 1-9 ölçeğine göre ikili karşılaştırma değerini ifade etmektedir.

Tüm matrislerde istenen tutarlılık oranına ulaşılan kadar matrisler tutarlı hale getirilmeye çalışılmalı, bu hale gelene kadar tekrar ikili karşılaştırmalar yapılmalıdır.

- Süpermatrisin oluşturulması

Süpermatriste ağ yapısında bulunan tüm faktörlerin birbirleri ile olan ilişkileri gösterilir. Süpermatris aslında parçalı matrislerden oluşmakta olup içinde yer alan her bir matris ağ yapısındaki iki faktörün birbiri ile olan bağlantısını gösterir. İkili karşılaştırmalardan elde edilen lokal öncelik vektörleri süpermatrisin sütunlarına yazılır. Şayet bir kümede yer alan kriterlerden hiç biri diğer bir kümedeki kriterler ile etkileşim halinde değilse süpermatriste bunu gösteren yere sıfır yazılmalıdır.

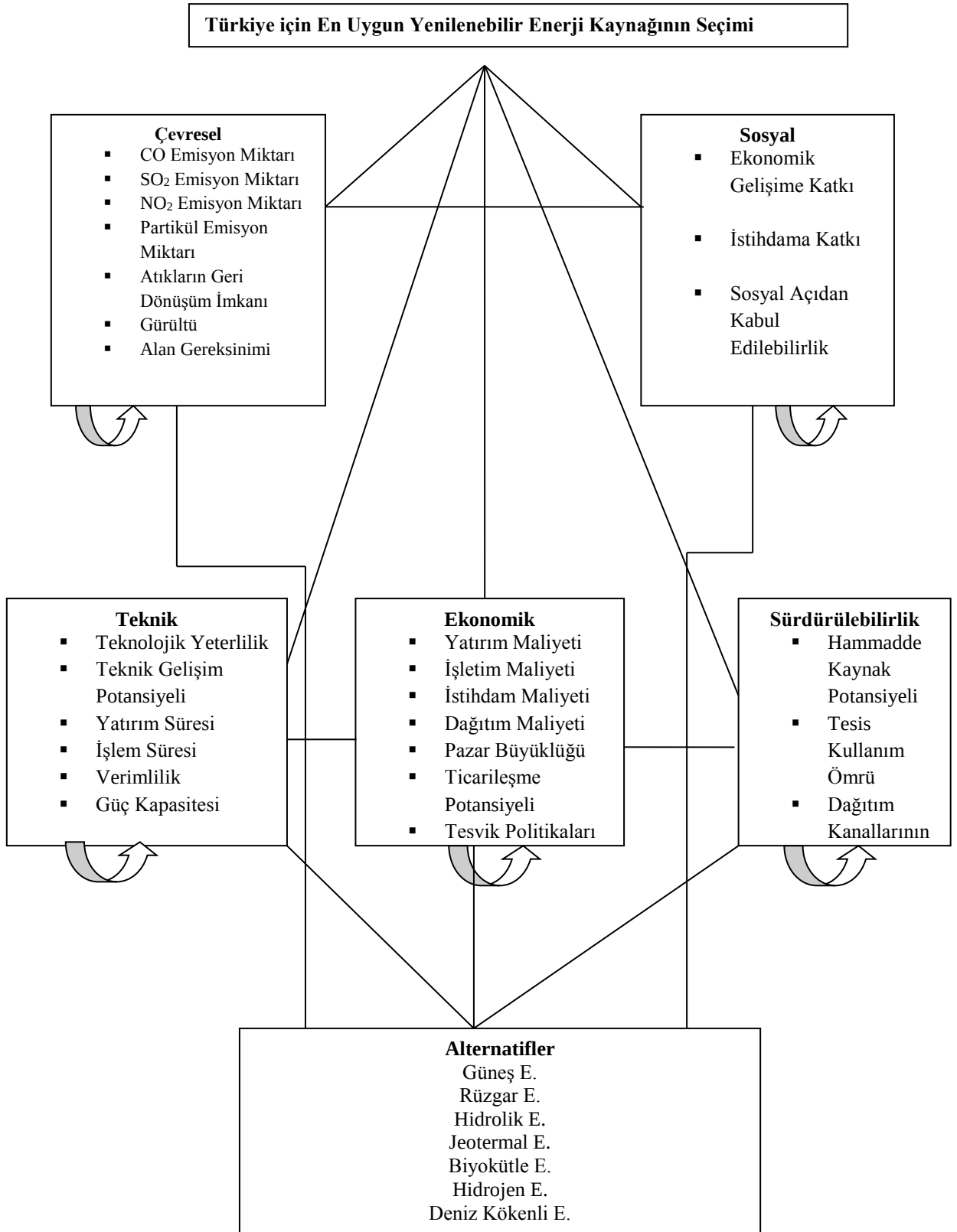
Ağ yapısındaki kriterler C_h ($h = 1, \dots, n$) ile gösterilirken bu kriterler n_h tane alt kritere sahip olduğunu düşünerek bunları da $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{h n_h}$ şeklinde olduğu varsayılabilir. Bir kriter içerisinde yer alan alt kriterlerin sistemdeki diğer alt kriterler üzerindeki etkisi ikili karşılaştırmalardan elde edilen öncelik vektörlerinin süpermatris yapısına dahil

edilmektedir. Faktörlerin birbirleri üzerindeki uzun dönemli kısmi etkileri süpermatrisin kuvveti alınarak hesaplanır. Süpermatrisin $(2k + 1)$ kuvveti alınarak önem ağırlıklarının bir noktada eşitlenmesini sağlanır. k rasgele seçilmiş büyük bir sayı olup elde edilen yeni matris limit süpermatris olarak adlandırılır(Çakın, 2013, s. 57).

- Global öncelik değerlerinin elde edilmesi

Limit süpermatris ile alternatiflere veya karşılaştırılan kriterlere ilişkin ağırlıklar belirlenmiş olur. Limit süpermatrisin belli bir satırındaki değerler o satırdaki kriterin global öncelik değerini vermektedir. Seçim probleminde en yüksek ağırlığa sahip olan alternatif en iyi alternatif, ağırlıklandırma probleminde ise en yüksek ağırlığa sahip olan kriter karar sürecini etkileyen en önemli kriter olmaktadır(Yetiz vd., 2009, s. 6).

4.2. Kriterlerin Ağırlıklandırılması



Şekil 4.2. Hiyerarşik gösterim

Şekil 4.2.'de de görüldüğü üzere yenilenebilir enerji alternatifleri; güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, biyokütle, hidrojen ve deniz kökenli enerji olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. *Kriterlerin birbirleri ile ikili karşılaştırma matrisi*

	Teknik	Ekonomik	Sürdürülebilirlik	Çevresel	Sosyal
Teknik	1	1/2	3	3	3
Ekonomik		1	3	3	3
Sürdürülebilirlik			1	2	3
Çevresel				1	3
Sosyal					1

Her bir kriterin kendi içinde, diğer kriterlerle ve alternatiflerle olan ilişkisi ele alınmıştır. Çalışmada belirlenen kriter ve alt kriterler bir uzman görüşü dikkate alınarak hazırlanmış olup bunların ikili karşılaştırma matrisleri uzman tarafından doldurulmuştur. Bu çalışma için seçilen uzman; özel bir şirkette yenilenebilir enerji projeleri ve yeni teknoloji uygulamalarından sorumlu iş geliştirme müdürü olarak görev yapmaktadır. 2000 yılından beri yurtdışında ve Türkiye’de enerji sektöründe yer almakta olup 2011 yılından beri de yenilenebilir enerji projelerinde öncelikli olarak iş yaşamına devam etmektedir.

Tablo 4.1’de belirtilen önem değerleri kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve Super Decision programı kullanılarak çözüme ulaşılmıştır.

Tablo 4.3.’te amaca göre kriterler karşılaştırılmış olup, bu ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0.0703 olarak gözlenmiş ve tutarlı olduğu görülmüştür. Ekonomik kriterinin diğer kriterlere göre %37.1 daha önemli olduğu gözlenmiştir. Ekonomi kriterini Şekil 4.3’te görüldüğü gibi sırasıyla teknik, sürdürülebilirlik, çevresel ve sosyal kriterleri izlemiştir.

Ana kriterlerin alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisleri Ek-1’de sunulmuştur.

Teknik kriterinin, sonucu etkileyen en etkili alt kriteri yatırımın geridönüş süresi, sürdürülebilirlik kriterinin sonuçta en etkili alt kriteri dağıtım kanallarının varlığı olmuştur. Çevresel kriterinin göreceli öncelik değeri en fazla olan alt kriteri SO₂, NO₂

emisyona miktarı iken sosyal kriterinin en etkili alt kriteri ise ekonomik gelişime katkı kriteridir.

1. Choose	2. Cluster comparisons with respect to EN UYGUN YENİLENEBİL~	3. Results
Node Cluster Choose Cluster EN UYGUN YENİL~	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct 2 EKONOMİK is equally to moderately more important than 1 TEKNİK 1. 1 TEKNİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 2 EKONOMİK 2. 1 TEKNİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 3 SÜRDÜRÜLEBİL~ 3. 1 TEKNİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 4 SOSYAL 4. 1 TEKNİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 5 CEVRESEL 5. 2 EKONOMİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 3 SÜRDÜRÜLEBİL~ 6. 2 EKONOMİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 4 SOSYAL 7. 2 EKONOMİK >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 5 CEVRESEL 8. 3 SÜRDÜRÜLEBİL~ >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 4 SOSYAL 9. 3 SÜRDÜRÜLEBİL~ >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 5 CEVRESEL 10. 4 SOSYAL >=+8.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=+8.5 No comp 5 CEVRESEL	Normal Hybrid Inconsistency: 0.07034 1 TEKNİK 0.28318 2 EKONOMİK 0.37140 3 SÜRDÜRÜ~ 0.15530 4 SOSYAL 0.07171 5 CEVRESEL 0.11841

Şekil 4.3. Amaca göre kriterlerin karşılaştırılması

Şüphesiz ki bir yatırımın ekonomik olması bir yatırımcı için en başta aranan şarttır. Türkiye için en uygun yenilenebilir enerjinin seçiminde etkili olan ikinci faktörümüz teknik kriteridir. Teknik kriterinin teknolojik yeterlilik, teknik gelişim potansiyeli, verimlilik ve güç kapasitesi alt kriterleri ekonomik ana kriterinin en önemli alt kriteri olan ticarileşme potansiyelini etkilemektedir. Teknik ve ekonomik kriterleri bu anlamda etkileşim halindedir. Ticarileşme potansiyeli, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı analizinde en etkili alt kriter olmuştur. Bir yenilenebilir enerji yatırımının ticarileşmesi, orada üretilen enerjinin alıp satılabilmesi ve ticari bir getiri oluşturması anlamına gelmektedir. Yatırımcıya getirisinin maliyetinden daha düşük olması ve kar sağlıyor olması, yenilenebilir enerji kaynağından enerji elde edilmesinde en önemli sebeptir. Ticarileşme potansiyelinin fazla olması, yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin dağıtım kanallarının varlığıyla da doğrudan alakalıdır. Zira dağıtım kanallarının varlığı, enerjinin ihtiyaç olunan yerlere ulaştırılmasında en önemli unsurdur. Dağıtım kanallarının varlığı, geliştirilebilir olması, kurulan tesisin sürdürülebilirliği açısından da son derece önemlidir.

Ticarileşme potansiyeli alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı 0,01677 olarak hesaplanmıştır. Her bir ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olması, kısaca literatürde C.R ile gösterilen tutarlılık oranının 0,10'dan küçük olması gerekmektedir. Burada olduğu gibi, tüm ikili karşılaştırma matrislerinde tutarlılık oranı 0,1'den küçük olarak hesaplanmış olup tutarlı oldukları gözlenmiştir.

Aşağıdaki tablolarda, her bir ana kriterin kendi içerisinde göreceli öncelik değeri en fazla olan, yani o ana kriteri en çok etkileyen alt kriterinin alternatifler ile karşılaştırmalarına yer verilmiş olup, diğer alt kriterlerin alternatifler ile karşılaştırmaları eklerde sunulmuştur.

Tablo 4.4. Ticarileşme potansiyeli alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi

EKONOMİK Ticarileşme Potansiyeli	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	5	5	5	3
Rüzgar E.		1	3	5	5	5	3
Hidrolik E.			1	3	3	3	2
Jeotermal E.				1	1	1	1/3
Biyokütle E.					1	1	1/3
Hidrojen E.						1	1/3
Deniz Kökenli E.							1

Inconsistency: 0.01677		
1GÜNEŞ EN~		0.29609
2RÜZGAR E~		0.29609
3HİDROLİK~		0.14278
4JEOTERMA~		0.04953
5BİYOKÜTL~		0.04953
6HİDROJEN~		0.04953
7DENİZ KÖ~		0.11646

Şekil 4.4. Ticarileşme potansiyeline göre alternatiflerin öncelik değerleri

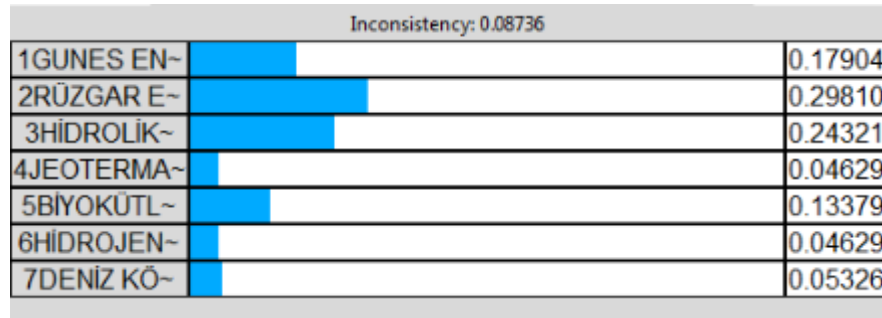
Türkiye için en uygun yenilenebilir enerjinin seçiminde etkili olan ikinci faktörümüz teknik kriterinin öncelik değeri en yüksek, dolayısı ile karar almada en etkili alt kriteri yatırımın geridönüş süresi kriteridir. Yatırımın geridönüş süresi; yasal mevzuat hükümleri çerçevesinde yerine getirilmesi gereken edimlerin tamamlanması, varsa ortaklık anlaşmalarının yapılması, teknik alt yapı zeminin hazırlanması vb. yatırımdan fayda/kazanç sağlayana değin geçen süredir.

Yatırımın geridönüş süresi alt kriterinin alternatifler üzerindeki etkisi incelenmiş olup Tablo 4.5’de sunulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,08736 olduğu

gözlemlenmiştir. Ekonomik kriterinin diğer alt kriterlerinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisleri Ek-2’de sunulmuştur.

Tablo 4.5. Yatırımın geridönüş süresi alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi

TEKNİK Yatırımın Geri Dönüş Süresi	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1/2	1/3	5	3	5	2
Rüzgar E.		1	1	5	5	5	5
Hidrolik E.			1	5	1/2	5	5
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1



Şekil 4.5. Yatırımın geridönüş süresine göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri

Üretilen enerjinin kullanım yerlerine ulaştırılabilmesi dağıtım kanallarının varlığı ile mümkündür. Çalışmada, dağıtım kanallarının varlığı, her bir enerji kaynağı için önemli olmakla birlikte rüzgar ve güneş enerjileri için daha fazla bir öncelik değerine sahip olmuştur. Jeotermal enerji doğası gereği yerinde kullanılan bir enerji türü olup, geniş bir dağıtım kanalına ihtiyaç duymamaktadır. Biyokütleden özellikle ısınma ve yakıt anlamında faydalandığından, enerji dağıtım kanallarının varlığı olmazsa olmaz bir unsur teşkil etmemektedir. Hidrolik enerjide ise, ülkemiz kurulu gücü ve dağıtım alanı olarak mevcut bir yapı olduğundan, dağıtım kanallarının varlığı kriteri, ilk yatırım aşamasında yatırım kararını belirleyen etkili bir unsur olmamaktadır.

Hidrojen ve deniz kökenli enerji için dağıtım kanallarının varlığı eşit öneme sahip olarak gözlenmiş olup tablo 4.6’da dağıtım kanallarının varlığı kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi ve buna ilişkin program çıktısı Şekil 4.6’da sunulmuştur. Teknik kriterinin diğer alt kriterlerinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisleri Ek-3’de sunulmuştur.

Tablo 4.6. *Dağıtım kanallarının varlığı alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi*

<i>SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK</i> <i>Dağıtım Kanallarının</i> <i>Varlığı</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	1	1	2	2
Rüzgar E.		1	3	1	1	2	2
Hidrolik E.			1	1/3	1/3	2	2
Jeotermal E.				1	1	1	1
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

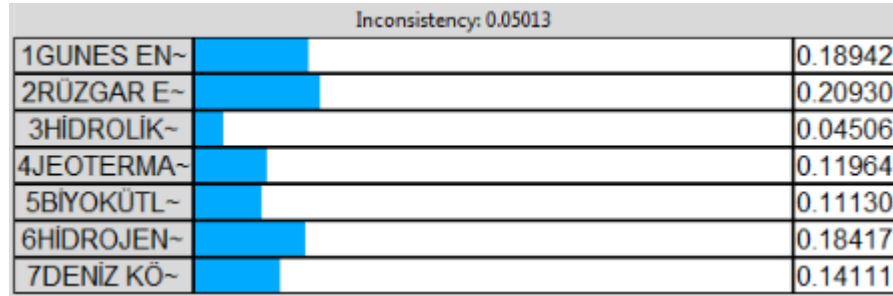
Inconsistency: 0.05758		
1GÜNEŞ EN~		0.18784
2RÜZGAR E~		0.18784
3HİDROLİK~		0.09909
4JEOTERMA~		0.16048
5BİYOKÜTL~		0.16048
6HİDROJEN~		0.10214
7DENİZ KÖ~		0.10214

Şekil 4.6. *Dağıtım kanallarının varlığına göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri*

Ekonomik gelişime katkı kriterine göre alternatiflerin Tablo 4.7’de görülen ikili karşılaştırmasında öncelik değeri en yüksek rüzgar enerjisi olmuştur (Şekil 4.7). İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0.05 olmuş ve 0,1’den küçük bir değer olduğu için tutarlı olduğu görülmüştür. Rüzgar enerjisinin yaygınlaşan uygulama alanları ile birlikte kullanılan rüzgar santralleri ve ekipmanların artık ülkemizde de üretilebiliyor oluşu, yerli ekonomiye katkı sunmaktadır. Sürdürülebilirlik kriterinin diğer alt kriterlerinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisleri Ek-4’te sunulmuştur.

Tablo 4.7. Ekonomik gelişime katkı alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi

SOSYAL Ekonomik Gelişime Katkı	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	5	1	3	1	1
Rüzgar E.		1	5	3	3	1/2	1
Hidrolik E.			1	1/3	1/3	1/3	1/2
Jeotermal E.				1	1	1	1
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

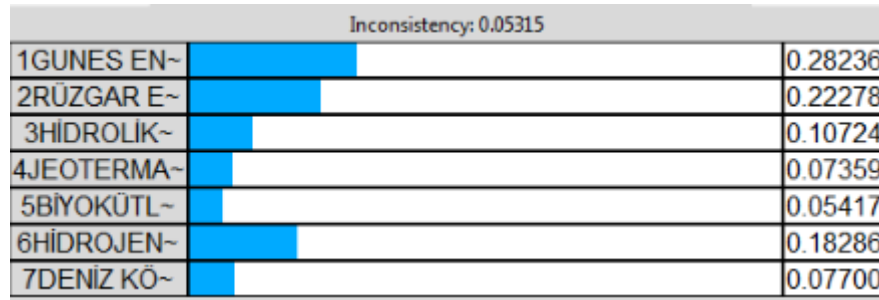


Şekil 4.7. Ekonomik gelişime katkıya göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri

SO₂ emisyon miktarı alt kriterine göre alternatifler Tablo 4.8’de görüldüğü şekliyle karşılaştırılmıştır. SO₂ emisyon miktarı açısından en az sorun teşkil eden enerji Şekil 4.8’de de görüldüğü üzere güneş enerjisidir. Onu rüzgar ve hidrolik, hidrojen enerjileri izlemektedir. SO₂ emisyon miktarı, özellikle biyokütle enerjisinde açığa çıkan bir emisyon türüdür. Biyoyakıtların yanması sonucu çevreye verilen bu emisyon miktarı, fosil yakıtlara oranla az da olsa atmosferi olumsuz anlamda etkileyebilmektedir. Jeotermal alanlarda SO₂(sülfürdioksit) üretebilmektedirler. Sosyal kriterinin diğer alt kriterlerinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisleri Ek-5’te sunulmuştur.

Tablo 4.8. SO₂ alt kriterinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisi

ÇEVRESEL SO₂ Emisyon Miktarı	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	3	5	3	3
Rüzgar E.		1	3	3	5	1	2
Hidrolik E.			1	3	3	1/3	1
Jeotermal E.				1	1	1/3	2
Biyokütle E.					1	1/3	1
Hidrojen E.						1	2
Deniz Kökenli E.							1



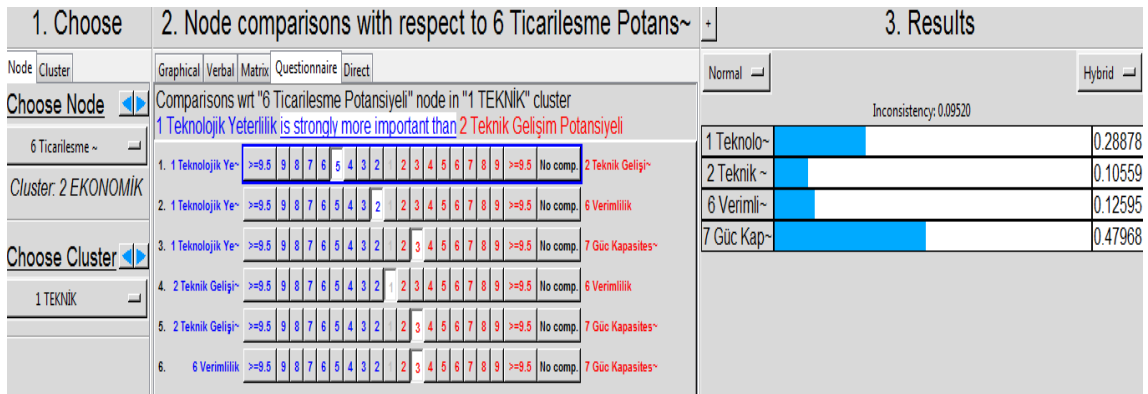
Şekil 4.8. SO₂ emisyon miktarına göre alternatiflerin göreceli öncelik değerleri

ASS metodu, AHP metodunda kullanılan hiyerarşik yol haritasının aksine, kriter ve alt kriterlerin birbirleri üzerinde olan etkileşimleri dikkate alan bir yapıya sahip olduğu daha önceki konu başlıklarında bahsedilmişti. Bu açıdan bakıldığında, ASS metodu ile daha gerçek sonuçlara ulaşılmaktadır. Nitekim bu çalışmada da, buna bir örnek olarak ekonomi kümesinin elemanı olan ticarileşme potansiyelinin, teknik kümesi üzerindeki etkisi Tablo 4.9 ve Şekil 4.9’da görüldüğü gibi olmuştur. Çevresel kriterinin diğer alt kriterlerinin alternatifler ile ikili karşılaştırma matrisleri Ek-6’te sunulmuştur.

Tablo 4.9. Ticarileşme potansiyelinin teknik kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması

Ticarileşme potansiyeli	Teknolojik yeterlilik	Teknik gelişim potansiyeli	Verimlilik	Güç kapasitesi
Teknolojik yeterlilik	1	5	2	1/3
Teknik gelişim potansiyeli		1	1	1/3
Verimlilik			1	1/3
Güç kapasitesi				1

Teknik kümesinin alt kriterleri üzerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının ticarileşme potansiyeli etkisi incelenmiş ve ticarileşme potansiyeli, Şekil 4.9'da da görülebileceği gibi teknik kümesi içinde en çok güç kapasitesi ile etkileşim halindedir.



Şekil 4.9. Ticarileşme potansiyeline göre teknik alt kriterlerinin karşılaştırılması

Yenilenebilir enerji kaynağının ticarileşme potansiyeli güç kapasitesi ile doğrudan alakalıdır. Güç kapasitesi fazla olmayacak bir tesisin ticarileşmesi de söz konusu olmayacaktır. Bununla birlikte ticarileşmeyi etkileyen önemli bir unsur da teknolojik yeterliliktir. Teknolojik alt yapının yeterli düzeyde olmayışı, bu alt yapıyı sağlamada maliyetleri artırıcı bir unsur teşkil edecek ve dolayısı ile ticari anlamda fayda anlayışını maliyetleri artırıcı bir unsur olarak olumsuz etkileyecektir.

Tablo 4.10. Ticarileşme potansiyelinin sürdürülebilirlik kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması

<i>Ticarileşme potansiyeli</i>	Dağıtım kanallarının varlığı	Hammadde kaynak potansiyeli
Dağıtım kanallarının varlığı	1	1/3
Hammadde kaynak potansiyeli		1

Yenilenebilir enerji kaynağından elde edilecek enerjinin ticarileşme potansiyelinin fazla olması, yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen enerjinin dağıtım kanallarının varlığıyla da doğrudan alakalıdır. Zira dağıtım kanallarının varlığı, enerjinin ihtiyaç olunan yerlere ulaştırılmasında en önemli unsurdur.

Tablo 4.11. Yatırım maliyetinin teknik kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması

<i>Yatırım maliyeti</i>	Kurulum süresi	Yatırımın geridönüş süresi
Kurulum süresi	1	3
Yatırımın geridönüş süresi		1

Yatırım maliyeti alt kriteri, tablo 4.11'deki ikili karşılaştırma matrisinde gösterildiği gibi, teknik kümesinin elemanlarından olan kurulum süresi ve yatırımın geridönüş süresi alt kriterlerinden etkilenmektedir. Kurulum süresi, yatırım maliyeti açısından, yatırımın geridönüş süresine göre orta derecede daha önemlidir. Yatırımın geridönüş süresinden kasıt, yasal mevzuat hükümleri çerçevesinde yerine getirilmesi gereken edimlerin tamamlanması, varsa ortaklık anlaşmalarının yapılması, teknik alt yapı zeminin hazırlanması vb. yatırımdan fayda/kazanç sağlayana değin geçen süredir. Uzman görüşü açısından kurulum süresinin kısa olması, yatırımın geridönüş süresine göre daha önemli görülmüştür.

Tablo 4.12. Sosyal açıdan kabul edilebilirliğin, çevresel kümesinin alt kriterleri ile karşılaştırılması

<i>Sosyal açıdan kabul edilebilirlik</i>	Atıkların geridönüşüm imkanı	Gürültü seviyesi	Alan gereksinimi
Atıkların geridönüşüm imkanı	1	1/3	1/3
Gürültü seviyesi		1	1
Alan gereksinimi			1

Tablo 4.12’de görüldüğü gibi, sosyal kriterinin alt ve sonucu etkileyen en önemli kriteri olan sosyal açıdan kabul edilebilirlik kriteri, çevresel kriterinin alt kriterleri atıkların geridönüşüm imkanı, gürültü seviyesi ve alan gereksinimi alt kriterlerinden etkilenmektedir. Sosyal açıdan kabul edilebilirlik kriteri, gürültü seviyesi ve alan gereksinimi kriterlerinden, atıkların geridönüşüm imkanı alt kriterine göre orta derecede daha fazla etkilenmektedir. Bir diğer deyişle, gürültü seviyesi ve alan gereksinimi, yenilenebilir enerji kaynağının sosyal açıdan kabul edilebilirliğine atıkların geridönüşüm imkanına göre eşit derecede, daha çok etki etmektedir.

Tablo 4.13. Kriter ve alt kriterlerin göreceli öncelik değerleri

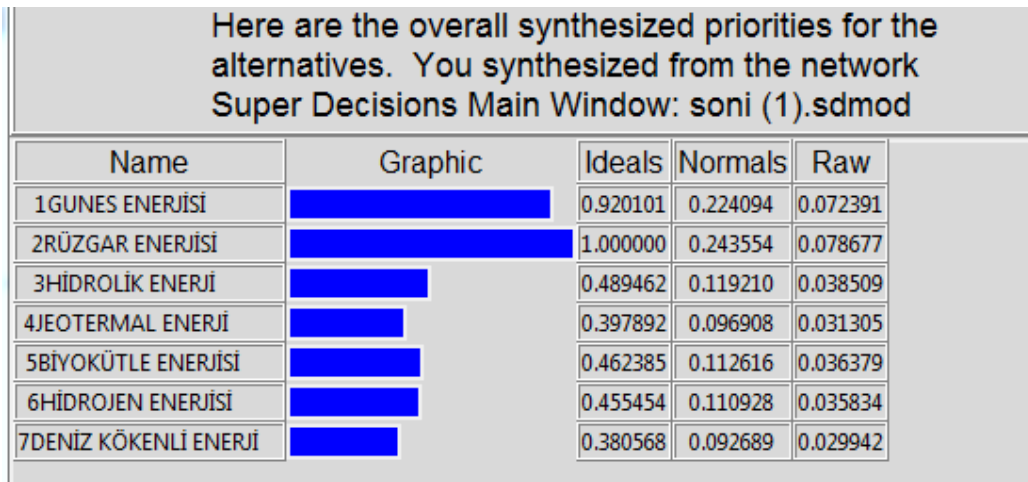
Ana kriterler	Alt kriterler	Göreceli Öncelik değerleri	Genel göreceli öncelik değerleri
Teknik (0,28318)	Teknolojik yeterlilik	0,09638	0,027293
	Teknik gelişim potansiyeli	0,07698	0,021799
	Kurulum süresi	0,17372	0,049194
	Yatırımın geridönüş süresi	0,20806	0,058918
	İşlem süresi	0,12971	0,036731
	Verimlilik	0,19016	0,053850
	Güç kapasitesi	0,12499	0,035395
Sürdürülebilirlik (0,15530)	Hammadde kaynak potansiyeli	0,27832	0,043223
	Tesis kullanım ömrü	0,12826	0,019919
	Dağıtım kanallarının varlığı	0,28188	0,043776
	Depolanabilirlik	0,15350	0,023839
	Dayanıklılık	0,15804	0,024544
Ekonomik (0,37140)	Yatırım maliyeti	0,10211	0,037924
	İşletim maliyeti	0,10682	0,039673
	İşgücü maliyeti	0,09197	0,034158
	Enerji Dağıtım maliyeti	0,11890	0,044159
	Pazar büyüklüğü	0,19049	0,070748
	Ticarileşme potansiyeli	0,20079	0,074573
	Teşvik politikaları	0,18893	0,070169
	Ekonomik gelişime katkı	0,47000	0,033704
Sosyal (0,07171)	İstihdama katkı	0,23045	0,016526
	Sosyal açıdan kabul edilebilirlik	0,29956	0,021481
Çevresel (0,11841)	CO emisyon miktarı	0,15117	0,017900
	SO₂ emisyon miktarı	0,15663	0,018547
	NO₂ emisyon miktarı	0,15663	0,018547
	Partikül emisyon miktarı	0,14225	0,016844
	Atıkların geri dönüşüm imkanı	0,15322	0,018143
	Gürültü seviyesi	0,11362	0,013454
	Alan gereksinimi	0,12648	0,014976
	TOPLAM		1,000000

Ana ve alt kriterlerin eklerde sunulan ikili karşılaştırmaları sonucu elde edilen göreceli öncelik değerleri ve genel göreceli öncelik değerleri Tablo 4.13’de gösterilmiştir. Ana kriterlerin birbirleri ile karşılaştırılmasında Ekonomik kriterinin diğer kriterlere göre %37.1 daha önemli olduğu ve sonucu etkilediği görülmüştür. Ekonomi kriterini sırasıyla teknik, sürdürülebilirlik, çevresel ve sosyal kriterleri izlemiştir. Alt kriterler genel göreceli öncelik değerleri dikkate alındığında Ticarileşme Potansiyeli alt kriteri 0,074573 genel göreceli öncelik değeri ile diğer alt kriterlere göre daha önemli olduğu gözlemlenmiştir.

Uzman görüşü neticesinde oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin değerlendirilmesi ve çalışmada kullanılan Super Decision programının vermiş olduğu sonuçlar Tablo 4.14 ve Şekil 4.10’da sırasıyla sunulmuştur. Buna göre mevcut sonuç incelendiğinde Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının rüzgar enerjisi olduğu görülmektedir.

Tablo 4.14. Alternatiflerin öncelik ve yüzde değerleri

Alternatifler	Öncelik Değerleri	% Değerleri
1) Rüzgar Enerjisi	0,243554	24,4
2) Güneş Enerjisi	0,224094	22,4
3) Hidrolik Enerji	0,119210	12
4) Biyokütle Enerjisi	0,112616	11,2
5) Hidrojen Enerjisi	0,110928	11
6) Jeotermal Enerji	0,096908	9,7
7) Deniz Kökenli Enerji	0,092689	9,3



Şekil 4.10. Alternatiflerin sıralanması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağının seçilmesi amaçlanmıştır. Problem ASS yöntemi ile bu yönetime uygun olarak geliştirilen Super Decision programı kullanılarak çözülmüştür. Değerlendirmede kullanılan kriterler yenilenebilir enerji kaynakları ve yatırım projeleri üzerine tecrübe sahibi uzman görüşü dikkate alınarak belirlenmiş ve oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri uzman görüşü doğrultusunda ağırlıklandırılmıştır.

Fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenmekte oluşu enerji alanında fosil kaynaklı enerjinin sürdürülebilir bir gelişim göstermesini de kısıtlamaktadır. Ülkemiz için değerlendirildiğinde, fosil kaynaklar bakımından sınırlı bir zenginliğe sahip oluşumuz, ülkemizi enerjide dışa bağımlı bir ülke yapmaktadır. Diğer yandan, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çeşitliliği bakımından Türkiye oldukça zengin bir ülkedir. Halen gelişmekte olan ülkeler arasında değerlendirilen Türkiye'nin gelişiminde rol oynayacak en büyük etkenlerden biri şüphesiz enerji ithalatının azaltılması olacaktır. Dış ticaret açığının önemli bir kısmını oluşturan enerji ithalatı, ülkeyi dışa bağımlı kılmakta ve cari açık nedeniyle ülke ekonomisini de olumsuz olarak etkilemektedir.

Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ışık tutması bu çalışmanın amacına hizmet edebilecek diğer bir husus olmakla birlikte milli ve tükenmez bir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerjilerin Türkiye açısından değerlendirilmesi, çalışmayı konusu itibari ile diğer literatür çalışmalarından ayıran bir özellik olmuştur.

Yalnız ülkemizde değil aynı zamanda dünyada da enerji üretiminin önemli bir kısmı fosil kökenli kaynaklardan elde edilmektedir. Gelişmiş ülkelerin yenilenebilir enerji projeleri üzerine yaklaşımları pozitif yönde ilerlemektedir. Enerji politikalarının ekonomik büyüme ve sosyal kalkınma hedeflerini sürdürülebilir şekilde gerçekleştirilmesindeki önemi ise son derece büyüktür.

Bu çalışmada, kriterlerin altını dolduran alt kriterler ise geniş kapsamda tutularak her birinin amaç üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Böylece daha sağlıklı sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla, elde edilen sonuçların doğruluk payı, çalışmada kullanılan ASS yöntemi ile de doğrudan alakalıdır. Daha önceki başlıklarda da değinildiği üzere ASS yöntemi, kriter kümelerini hem kendi içlerinde hem de diğer kriter kümeleri ile etkileşimlerini ele alan bir yöntem olması sebebiyle gerçeğe çok daha yakın sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. AHS,

bu çalışmada tercih edilen konuya benzer diğer literatürde çalışmalarında sıkça tercih edilen bir yöntem olmuştur. AHS'nin hiyerarşik bir yapısının olması, ve belirlenen kriter ve alt kriterlerin kendi içlerinde ve birbirleriyle olan ilişkilerini dikkate alan bir yöntem olmayışı beraberinde elde edilen sonuçlarında doğruluğunu tartışmada eksik bir yön olarak ortaya çıkmaktadır. AHS yöntemiyle elde edilen sonuçların tutarlılık ve doğruluk payları ASS yöntemine göre düşük olmaktadır. Bu yönüyle ASS, gerçek hayat problemlerine uyarlanabilecek bir yöntem olduğu gerçeğini taşımaktadır. Nitekim Kriterlerin Ağırlıklandırılması başlıklı bölümde bu etkileşimlere tablo ve şekillerle desteklenerek yer verilmiştir.

Çalışmada, teknik, ekonomik, sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik kriterleri ana kriterler olarak belirlenmiştir. Çalışma için yapılan literatür araştırmasında teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri ile sıkça karşılaşılmış olup, bu çalışmayı diğerlerinden farklı kılan bir özelliği olan, sürdürülebilirlik kriteri de ana başlık olarak ele alınmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretim tesislerinde sürdürülebilirlik önemli bir unsurdur. Enerji kaynağı, her ne kadar tükenmeyen bir kaynak olsa da elde edilen enerjinin depolanabilirliği, dağıtımının nasıl yapılacağı, üretim tesisine kaynak sağlayacak enerjinin potansiyel durumu ve tesis kullanım ömrünün ne olacağı gibi hususlar sürdürülebilirliğin alt girdilerini oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutunun yanı sıra projelerin devamlılığı açısından sürdürülebilir temelli olmaları da önem arz eden bir durumdur. Çalışmada bu noktaya da dikkat çekilmek istenmiş olup farklı bir yön sunulmuştur.

Teknik kriter içerisindeki alt kriterlerden teslimat süresi ve işlem süresinin yanında yatırımın geridönüş süresi de uzman tavsiyesi doğrultusunda alt kriterlere eklenmiştir. Özellikle projelerin hayata geçirilmesi aşamasında, yasal mevzuatların ve prosedürlerin tamamlanması, projelerin bunlara uyumlu hale getirilmesi gibi aşamalar belli bir süre dahilinde gerçekleşmektedir. Dolayısı ile yatırımın geridönüş süresi alt kriteri ile bu ifade edilmiştir. Çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalardan farkını ortaya koyabilecek bir diğer unsur da budur.

Çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, Türkiye için en uygun yenilenebilir enerji kaynağı alternatifleri rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle, hidrojen, jeotermal ve deniz kökenli enerji şeklinde sıralanmıştır.

Güneş enerjisi, elde edilen sonuçta rüzgar enerjisine yakın bir değerdedir. Özellikle elde edilen enerjinin depolanması ve transferi noktasında yaşanan teknolojik

eksiklik ve maliyetlerin yüksek olması bu analizde güneş enerjisi için etkili olmuştur. mevsimsel olarak özellikle kış aylarında ülkemizde kullanışlı olmayışı, güneş enerjisi toplama panellerinin geniş alanlara kurulması, güneş enerjisinin yaygınlaşmasının önünde bir engeldir.

Hidrolik enerji üretim santrallerinde, yapımlarının uzun sürmesi kurulum süresini ve maliyeti artırmaktadır. Yağışlara bağımlı olması ise diğer bir dezavantajdır. Sonuçlarda öncelik değerinin düşüklüğünde yatan sebepler bunlardır.

Jeotermal enerji üretiminde, bakteri oluşumu ve çökelme ve kabuklaşmayı önlemek için çeşitli kimyasallar kullanılmakta fakat bunların çevreye karışması ve beraberinde olumsuz etkileri olmaktadır. Özellikle yoğunlaşmayan ve buharla taşınan emisyonlar önemli problemlerdendir. CO₂, hidrojen sülfür(H₂S) bu kimyasallardandır. Bu gibi kimyasallar tesisatın çabuk çürümesine, kireçlenmesine ve paslanmasına sebep olur. Jeotermal enerji üretiminde, sondaj süresinde çevresel bir diğer etki ise ekosistemin bozulmasıdır. Jeotermal sıvının ekstraksiyonu esnasında arazinin çökme riski ise bir diğer yatırım fizibilite araştırma konusudur. Yerinde kullanılabilen bir enerji olduğundan, sadece kaynak alanına yakın yerlerle sınırlı bir kullanıma sahip olabilir. Bu ise enerjinin kullanım yaygınlığını ve ticarileşme potansiyelini etkileyen önemli bir husustur.

Hidrojen enerjisi doğada serbest halde bulunmayıp bileşikler halinde su vb. içinde bulunduğu maddelerden başka bir enerji kaynağı kullanılarak elde edilmektedir. Bundan dolayı büyük yatırımlara ihtiyaç duyulmakta ve maliyetler diğer enerji üretim maliyetlerinin yaklaşık 3 daha fazlası olabilmektedir. Bunun yanı sıra depolanmasında yaşanan sıkıntı ve teknolojik yetersizlikler ise hidrojen enerjisinin Türkiye için uygulanmasında tercih edilmeme sebepleri arasında gösterilebilir. Teknolojik alt yapı ve Ar-Ge ile geliştirilmelidir.

Deniz kökenli enerji, uygulama olarak yeni yaygınlaşan bir enerji türü olup, kurulum ve yatırım maliyetleri rüzgar ve güneş enerjilerine göre daha yüksektir. Kıyıları tahrip eden yapısı ile çevresel anlamda negatif etki yaratmakta olup, kıyı turizmini, balıkçılığı ve taşımacılığı olumsuz etkilemektedir. Bu anlamda çalışmada yer alan kriterler ile değerlendirildiğinde, sosyal, ekonomik ve çevresel açıdan en uygun yenilenebilir enerji seçiminde sıralamada en sonda yer almıştır.

Türkiye için en uygulanabilir yenilenebilir enerji rüzgar enerjisi olmuştur. Rüzgar enerjisinin giderek yaygınlaşması, rüzgar türbinlerine ulaşımı kolaylaştırmakta ve

maliyetleri dolaylı olarak düşürmektedir. Bu yönde gelişen rüzgar enerjisi piyasası, yeni yatırımcıları da teşvik etmektedir. Ayrıca devlet katkısı ve Türkiye'nin rüzgar haritasının enerji elde edilmesine uygun oluşu yeni yatırım projelerinin artmasını da desteklemektedir. Rüzgar enerjisi santralleri, toplam santral sahasının %1'ini işgal ederler. Geri kalan kısım tarımsal ve hayvansal faaliyetler için kullanılabilir. Bu da rüzgar enerjisinin en uygun yenilenebilir enerji seçiminde etkili olan hususlardan biri olmuştur.

KAYNAKÇA

- Ablabekova A. (2008). *İktisadi etkinlik açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlar ile karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Acaroğlu, M. (2007). *Alternatif enerji kaynakları*. Ankara: Nobel Yayınları.
- Adıyaman, Ç. (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Niğde: Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ağaçbiçer, G. (2010). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ekonomisine katkısı ve yapılan swot analizler*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale: Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ahmad, S., Tahar, R. M. (2013). Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *ScienceDirect, Renewable Energy*, 63, 458-466.
- Alemdaroğlu, N. (2007) *Enerji sektörünün geleceği, alternatif enerji kaynakları ve Türkiye'nin önündeki fırsatlar*, İstanbul: İstanbul Ticaret Odası Yayınları, Yayın No: 2007-29.
- Arce, M. E., Saavedra, A., Miguez, J. L., Granada, E. (2015). The use of grey based methods in multi-criteria decision analysis for the evaluation of sustainable energy systems: A review. *Science Direct Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 924-932.
- Aslan, Ö. (2007). Hidrojen ekonomisine doğru. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11, 283-298.
- Ayan, T., Pabuçcu, H. (2013). Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım projelerinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, C.18, S.3, s.89-110.
- Bas, E. (2012). The integrated framework for analysis of electricity supply chain using an integrated SWOT-fuzzy TOPSIS methodology combined with AHP: The case of Turkey. *Science Direct, Electrical Power and Energy Systems*, 44, 897-907.
- Bayındır, S. (2010). *Yenilenebilir enerji kaynakları Avrupa Birliği ve Türkiye uygulamaları*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Politikası Ana Bilim Dalı.

- BP. (2016a). *Statistical review of energy*.
<http://www.bp.com/statisticalreview> (Erişim tarihi: 01.10.2016)
- BP. (2016b). *Dünya enerji istatistikleri raporu*.
http://www.bp.com/content/dam/bpcountry/tr_tr/pdf/BP_Enerji__statistikleriRaporu_2016_BB.pdf (Erişim tarihi: 01.10.2016)
- Bülbül, İ. (2007). *Tipik bir karargahta yenilenebilir enerji uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakın, E. (2013). *Tedarikçi seçim kararında analitik ağ süreci(aas) ve electre yöntemlerinin kullanılması ve bir uygulama*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.
- Çelik, S. (2012). *Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Dalkır, Ö. Şeşen, E., (2011). *Çevre ve temiz Enerji: hidroelektrik*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2014). *Enerji raporu 2013*. Ankara.
- Enerdata. (2016). *Global energy statistical yearbook*.
<https://yearbook.enerdata.net/> (Erişim tarihi: 10.11.2016)
- Ertay, T., Kahraman, C. ve Kaya, I. (2013). Evaluation of renewable energy alternatives using MACBETH and fuzzy AHP multicriteria methods: the case of Turkey. *Technol. Econ. Dev.Econ*, 19(1), 38–62.
- Eser, L. Y., Polat. S. (2015). Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik teşvikler: Türkiye ve İskandinav ülkeleri uygulamaları. *Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi*. Gümüşhane: Gümüşhane Üniversitesi (12).
- ETKB. (2015). *2015 Yılı faaliyet raporu*.
<http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fFaaliyet%20Raporu%2f2015.pdf>. (Erişim tarihi: 01.10.2016)
- ETKB. (2016). *2015 Yılı enerji değerlendirme tabloları*.
<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari> (Erişim tarihi: 10.11.2016)
- Fay, J. Golomb, D. (2002). *Energy and the environment* 2nd edition. Newyork: Oxford University Press.
- Göze, E. A. (2008). *Analitik ağ süreci ile sürdürülebilir bir üçüncü parti lojistik servis*

- sağlayıcısı seçimi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 68-84.
- Gülay, A. N. (2008). *Yenilenebilir enerji kaynakları açısından Türkiye'nin geleceği ve Avrupa Birliği ile karşılaştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı.
- Gürsoy, U. (1999). *Dikensiz Gül Temiz Enerji*. İskenderun: *İskenderun Çevre Koruma Derneği*.
- International Energy Agency. (2016). *Key World energy statistics*.
- Kaya, T., Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Science Direct, Energy*, 35, 2517-2527.
- Klein, S. J. W., Whalley, S. (2015). Comparing the sustainability of U.S. electricity options through multi-criteria decision analysis. *Science Direct, Energy Policy*, 79, 127-149.
- Kluczek, A., Gladysz, B. (2015). AHP/TOPSIS-based approach to the generation of environmental improvement options for painting process e Results from an industrial case study. *Science Direct, Journal of Cleaner Production*, xxx, 1-8.
- Koltukçu, H. (2010). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından swot analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü işletme Anabilim Dalı.
- Li-bo, Z., Tao, Y. (2014). The evaluation and selection of renewable energy technologies in China. *ScienceDirect, Energy Procedia*, 61, 2554 – 2557.
- Lund, J. W. Lineau, P. J., Lunis, B. C. (2004). *Jeotermal enerji doğrudan kullanım ve tasarım el kitabı*, Ankara: Makina Mühendisleri Odası, 7-26.
- Mourmouris, JC., Potolias, C. (2013). A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: a case study Thassos, Greece. *Energy Policy*, 52, 522–30.
- Noble, BF. (2004). A multi criteria analysis of Canadian electricity supply futures. *Can. Geog./Le Geog.Can*, 48(1), 11–28.
- Özçelik, G. (2011). *Toplam iş yükünü etkileyen faktörlerin analizi için yapısal eşitlik modelleme ve analitik ağ süreci ile bütünleşik bir model önerisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü.

- Purwanto, WW., Pratama, YW., Nugroho, YS., Warjito, Hertono, GF., Hartono, D., Deendarlianto, Tezuka, T. (2015). Multi-objective optimization model for sustainable Indonesian electricity system: analysis of economic, environment, and adequacy of energy sources. *Renew Energy*, 81, 308–18.
- Saaty L. T. (1990). *The analytic hierarchy process in conflict management*. International Journal of Conflict Management, Vol. 1 Iss 1 pp. 47 – 68.
- Sayın, S. (2006). *Yenilenebilir enerjinin ülkemiz yapı sektöründe kullanımının önemi ve yapılarda güneş enerjisinden yararlanma olanakları*. Yüksek Lisans Tezi. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şen, Z. (2002). *Temiz enerji ve kaynakları*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., ve Gezder, V. (2014). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Science Direct, Renewable Energy*, 75, 617-625.
- Tahri, M., Hakdaoui, M. Ve Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354–1362.
- Tasri, A., Susilawati, A. (2014). Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia. *ScienceDirect, Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 34-44.
- Timor, M. (2011). *Analitik hiyerarşi prosesi*. İstanbul: Türkmen Kitabevi.
- TMMOB. (2011). *Tmmob Hidroelektrik Santralleri Raporu*. Ankara.
- TMMOB. Makine Mühendisleri Odası. (2012). *Türkiye'nin enerji görünümü oda raporu*. Ankara: Yayın Numarası MMO/588, 2. Baskı.
- Troldborg, M., Heslop, S. ve Hough, R. L. (2014). Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. *ScienceDirect, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39, 1173–1184.
- Uluatam, E. (2011). Türkiye'de hidroelektrik politikaları ve yatırımlarına bakış. *Tobb Ekonomik Forum Dergisi*. s. 63-64.

- Utlu, Z. Hepbaşlı, A. (2006). Analyzing the energy utilization efficiency of renewable energy resources. *Part 1: Energy Analysis Method, Energy Source, Part B: Economics, Planning, and Policy*. s.341-353.
- Üçgül, İ. Acar, M. ve Koyun, T. (2005). Jeotermal buhar enjektörlü soğutma sistemi tersinmezliklerinin incelenmesi, *MMO Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 88.
- Yalçınkaya, R. (2013). *Jeotermal kaynaklı güç üretim sisteminin termodinamik analizi*. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Yetiz, E., Alcan, P., Özkır, V. ve Başlıgil, H. (2009). Application of Fuzzy AHP and ANP Methods for Chemical Reactions in Nitrochlorobenzene Formation. *Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma* 27. ss. 177-189.
- Zhang, L., Zhou, P., Newton, S., Fang, J. Ve Zhou, D. (2015). Evaluating clean energy alternatives for Jiangsu, China: An improved multi-criteria decision making method. *Science Direct, Energy* 90, 953-964.
- <http://www.yapihaberleri.net/haber/Maine-Korfezine-4mv-kapasiteli-Dalga-Enerjisi-Santrali-kuruluyor.html>-Dalga Enerjisi Sistemi
- www.hidrojen.gen.tr, Erişim tarihi: 08.04.2016.
- <http://enerji-iletimi-ve-dagitimi.blogspot.com.tr/2012/03/gelgit-enerjisinden-elektrik-elde.html>, Erişim tarihi: 08.04.2016.
- <http://enerjienstitusu.com/2011/12/23/siemens-deniz-akintisi-turbinleri-konusunda-teknoloji-lideri/>, Erişim tarihi: 08.04.2016.

EKLER

Ek-1 Ana Kriterlerin Alt Kriterlerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması

<i>TEKNİK</i>	Teknolojik Yeterlilik	Teknik Gelişim Potansiyeli	Teslimat Süresi	Yatırım Süresi	İşlem Süresi	Verimlilik	Güç Kapasitesi
Teknolojik Yeterlilik	1	3	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3
Teknik Gelişim Potansiyeli		1	1/5	1/7	1/5	1/5	1/5
Teslimat Süresi			1	1/3	1	1	1
Yatırım Süresi				1	3	1	3
İşlem Süresi					1	1/3	3
Verimlilik						1	5
Güç Kapasitesi							1

<i>EKONOMİK</i>	Yatırım Maliyeti	İşletim Maliyeti	İstihdam Maliyeti	Dağıtım Maliyeti	Pazar Büyüklüğü	Ticarileşme Potansiyeli	Teşvik Politikaları
Yatırım Maliyeti	1	1/3	7	1/3	1/5	1/5	1/7
İşletim Maliyeti		1	5	1/3	1/7	1/7	1/7
İstihdam Maliyeti			1	1/5	1/9	1/9	1/7
Dağıtım Maliyeti				1	1/5	1/7	1/3
Pazar Büyüklüğü					1	1	1
Ticarileşme Potansiyeli						1	1
Teşvik Politikaları							1

Ek-1 (Devam) Ana Kriterlerin Alt Kriterlerinin Birbirleri İle Karşılaştırılması

<i>SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK</i>	Hammadde Kaynak Potansiyeli	Tesis Kullanım Ömrü	Dağıtım Kanallarının Varlığı	Depolanabilirlik	Dayanıklılık
Hammadde Kaynak Potansiyeli	1	3	1	3	3
Tesis Kullanım Ömrü		1	1/3	1/3	1/3
Dağıtım Kanallarının Varlığı			1	5	3
Depolanabilirlik				1	1
Dayanıklılık					1

<i>SOSYAL</i>	Ekonomik Gelişime Katkı	İstihdama Katkı	Sosyal Açıdan Kabul Edilebilirlik
Ekonomik Gelişime Katkı	1	5	3
İstihdama Katkı		1	1/3
Sosyal Açıdan Kabul Edilebilirlik			1

<i>ÇEVRESEL</i>	CO salınımı	SO₂ Emisyon Miktarı	NO₂ Emisyon Miktarı	Partikül Emisyonu	Atıkların Geri Dönüşüm İmkânı	Gürültü	Alan Gereksinimi
CO salınımı	1	1	1	1	1	3	5
SO₂ Emisyon Miktarı		1	1	1	1	5	5
NO₂ Emisyon Mik.			1	1	1	5	5
Partikül Emisyonu				1	1	3	3
Atıkların Geri Dönüşüm İmkânı					1	3	3
Gürültü						1	1/5
Alan Gereksinimi							1

Ek-2 Ekonomik Kriterinin Alt Kriterleri ile Alternatifler Arasındaki İkili Karşılaştırma Matrisleri

EKONOMİK <i>Yatırım maliyeti</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	2	3	3	3	2
Rüzgar E.		1	3	4	4	3	5
Hidrolik E.			1	5	3	4	3
Jeotermal E.				1	1	2	3
Biyokütle E.					1	5	5
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

EKONOMİK <i>İşletim maliyeti</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	2	3	4	3	4
Rüzgar E.		1	2	4	4	4	4
Hidrolik E.			1	2	2	2	1
Jeotermal E.				1	1	1	1/2
Biyokütle E.					1	1	1/2
Hidrojen E.						1	1/2
Deniz Kökenli E.							1

EKONOMİK <i>İşgücü maliyeti</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	1	2	2	2	1
Rüzgar E.		1	1	3	3	3	2
Hidrolik E.			1	3	3	3	2
Jeotermal E.				1	1	1	1/3
Biyokütle E.					1	1	1/3
Hidrojen E.						1	1/3
Deniz Kökenli E.							1

Ek-2 (Devam) Ekonomik Kriterinin Alt Kriterleri ile Alternatifler Arasındaki İkili Karşılaştırma Matrisleri

EKONOMİK <i>Enerji dağıtım maliyeti</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	1	3	3	3	6
Rüzgar E.		1	1	3	3	3	6
Hidrolik E.			1	3	3	3	6
Jeotermal E.				1	1	1	2
Biyokütle E.					1	1	2
Hidrojen E.						1	2
Deniz Kökenli E.							1

EKONOMİK <i>Pazar büyüklüğü</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	4	4	4	2
Rüzgar E.		1	3	4	4	4	2
Hidrolik E.			1	2	2	2	1
Jeotermal E.				1	1	1	1/2
Biyokütle E.					1	1	1/2
Hidrojen E.						1	1/2
Deniz Kökenli E.							1

EKONOMİK <i>Teşvik politikaları</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	2	4	4	4	2
Rüzgar E.		1	2	4	4	4	2
Hidrolik E.			1	2	2	2	1
Jeotermal E.				1	1	1	1/2
Biyokütle E.					1	1	1/2
Hidrojen E.						1	1/2
Deniz Kökenli E.							1

Ek-3 Teknik Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

TEKNİK Verimlilik	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1/2	1/3	4	3	4	2
Rüzgar E.		1	1	5	5	5	5
Hidrolik E.			1	5	1/2	5	5
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

TEKNİK Kurulum Süresi	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1/2	1/3	4	2	4	2
Rüzgar E.		1	1	4	4	4	4
Hidrolik E.			1	4	1/2	4	4
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

TEKNİK İşlem süresi	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1/2	1/3	3	2	3	2
Rüzgar E.		1	1	3	3	3	3
Hidrolik E.			1	3	1/2	3	3
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

Ek-3 (Devam) Teknik Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

TEKNİK <i>Güç kapasitesi</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	1/2	3	3	3	3
Rüzgar E.		1	1/2	3	3	3	3
Hidrolik E.			1	3	3	3	3
Jeotermal E.				1	1	1	1
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

TEKNİK <i>Teknolojik yeterlilik</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1/2	1/3	3	2	3	4
Rüzgar E.		1	1	5	4	5	7
Hidrolik E.			1	5	4	4	4
Jeotermal E.				1	1/2	1	2
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	2
Deniz Kökenli E.							1

TEKNİK <i>Teknik gelişim potansiyeli</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	1/2	2	1	2	3
Rüzgar E.		1	1	3	3	3	5
Hidrolik E.			1	3	3	3	3
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

Ek-4 Sürdürülebilirlik Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK <i>Hammadde kaynağı potansiyeli</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	2	1	2	2
Rüzgar E.		1	3	2	1	2	2
Hidrolik E.			1	1/3	1/3	1	1
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK <i>Dayanıklılık</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	3	3	3	3
Rüzgar E.		1	3	3	3	3	3
Hidrolik E.			1	1	1	1	1
Jeotermal E.				1	1	1	1
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK <i>Depolanabilirlik</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	3	1	5	2
Rüzgar E.		1	3	2	1	5	2
Hidrolik E.			1	1	1/3	2	1/2
Jeotermal E.				1	1/2	2	1
Biyokütle E.					1	4	1/2
Hidrojen E.						1	1/2
Deniz Kökenli E.							1

Ek-4 (Devam) Sürdürülebilirlik Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK <i>Tesis Kullanım ömrü</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	2	2	1	2	2
Rüzgar E.		1	3	3	1	2	2
Hidrolik E.			1	1	1/2	1	1
Jeotermal E.				1	1/2	1	1
Biyokütle E.					1	2	2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

Ek-5 Sosyal Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

SOSYAL <i>Sosyal açıdan kabul edilebilirlik</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	5	1	2	1	1
Rüzgar E.		1	5	1	2	1	1
Hidrolik E.			1	1/5	1/2	1/5	1/5
Jeotermal E.				1	2	1	1
Biyokütle E.					1	1/2	1/2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

SOSYAL <i>İstihdama katkı</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	1	2	2	2	2
Rüzgar E.		1	1	2	2	2	2
Hidrolik E.			1	2	2	2	2
Jeotermal E.				1	1	1	1
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

Ek-6 Çevresel Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

ÇEVRESEL NO₂ Emisyon Miktarı	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	3	5	3	3
Rüzgar E.		1	3	3	5	1	2
Hidrolik E.			1	3	3	1/3	1
Jeotermal E.				1	1	1/3	2
Biyokütle E.					1	1/3	1
Hidrojen E.						1	2
Deniz Kökenli E.							1

ÇEVRESEL Atıkların geridönüşüm imkanı	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	4	5	1	3
Rüzgar E.		1	3	4	5	1	2
Hidrolik E.			1	1	2	1/3	1
Jeotermal E.				1	2	1/4	1/2
Biyokütle E.					1	1/3	1/2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

ÇEVRESEL CO emisyon miktarı	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	2	3	3	1	3
Rüzgar E.		1	2	3	3	1	2
Hidrolik E.			1	1	2	1/2	1
Jeotermal E.				1	2	1/3	1/2
Biyokütle E.					1	1/3	1/2
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

Ek-6 (Devam) Çevresel Kriteri Alt Kriterlerinin Alternatifler ile İkili Karşılaştırma Matrisleri

ÇEVRESEL <i>Partikül emisyon miktarı</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	2	3	5	2	3
Rüzgar E.		1	2	3	5	2	2
Hidrolik E.			1	2	3	1	1
Jeotermal E.				1	2	1	1
Biyokütle E.					1	1/2	1/3
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

ÇEVRESEL <i>Alan gereksinimi</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	5	3	2	3	3
Rüzgar E.		1	4	3	2	2	2
Hidrolik E.			1	1/2	1/2	1/2	1/2
Jeotermal E.				1	1	1	2
Biyokütle E.					1	1	1
Hidrojen E.						1	1
Deniz Kökenli E.							1

ÇEVRESEL <i>Gürültü seviyesi</i>	Güneş E.	Rüzgar E.	Hidrolik E.	Jeotermal E.	Biyokütle E.	Hidrojen E.	Deniz Kökenli E.
Güneş E.	1	1	3	3	3	3	4
Rüzgar E.		1	3	3	3	3	4
Hidrolik E.			1	1	1	1	2
Jeotermal E.				1	1	1	2
Biyokütle E.					1	1	2
Hidrojen E.						1	2
Deniz Kökenli E.							1