

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’NİN ENERJİ YATIRIMLARININ PLANLANMASI SÜRECİNİN
BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhittin Emir ATÇI

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’NİN ENERJİ YATIRIMLARININ PLANLANMASI SÜRECİNİN
BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Muhittin Emir ATÇI
(507091040)**

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR

3 MAYIS 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507091040 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Muhittin Emir ATÇI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“TÜRKİYE’NİN ENERJİ YATIRIMLARININ PLANLANMASI SÜRECİNİN BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Dilay ÇELEBİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür ARAZ
University of Nebraska Medical Center

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **7 Haziran 2012**

Tez çalışmam boyunca, beni daima destekleyen aileme ve hem teknik hem de psikolojik yardımları ile hep yanımda olan Sayın danışmanım Prof. Dr. Demet Bayraktar'a ve Sayın Yard. Doç. Dr. Özgür Araz'a gönülden teşekkürlerimi sunarım,

ÖNSÖZ

Aldığım gemi inşaatı ve gemi makineleri mühendisliği lisans eğitiminin ardından katıldığım İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İşletme Mühendisliği Yüksek Lisans Programını bu tezi tamamlayarak sonlandırıyorum. Gemi inşaatı ve gemi makineleri mühendisliği altyapımın yanında Türkiye'nin sayılı üniversitelerinden İTÜ'de yapmış olduğum bu yüksek lisansın getirmiş olduğu sorumlulukla, ülke yararına bir çalışma yapma gayretimi desteklemesinden ve beni akademik dünyanın derinlerine indirme çabasından dolayı danışmanım Sayın Prof. Dr. Demet Bayraktar'a en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca benim için dualarını eksik etmeyen ve çalışmam için bana en uygun koşulları hayatım boyunca hep sağlamış olan aileme, çalışmamla ilgili yardımlarından dolayı BOREAS Enerji Üretim Sistemleri mühendislik kadrosuna ve tez çalışmam boyunca beni destekleyen, stresimi ve yoğunluğumu hoş gören tüm sevdiklerime teşekkür ederim. Ayrıca, Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmanın, gerçek hayatta uygulanır olmasını ve akademik alanda kullanılıp geliştirilen bir çalışma olmasını temenni ederim...

Temmuz 2012

Muhittin Emir ATÇI
(Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri
Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun Anlamı ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	2
1.3. Enerji Alanındaki Yeni Eğilimler ve Türkiye’deki Yansımaları	3
1.4. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Durum Analizi	7
1.5. Dünya’da ve Türkiye’de Nükleer Enerjiye Bakış.....	9
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ÖNEMİ	13
2.1. Küresel Rekabetteki Anlamı, Değeri ve Rolü.....	13
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Sistemleri ve Özellikleri	17
2.2.1. Rüzgâr enerjisi	17
2.2.2. Güneş enerjisi.....	22
2.2.3. Hidroelektrik enerji	27
2.2.4. Jeotermal enerji	30
2.2.5. Biokütle enerjisi	33
2.2.6. Hidrojen enerjisi.....	36
2.2.7. Dalga enerjisi	37
2.3. Piyasa Yapılandırması için Gerekli Politikalar ve Stratejiler	38
3. TÜRKİYE ENERJİ KAYNAKLARI YATIRIMLARI PLANLAMASI	45
3.1. Optimum Enerji Kaynağı Seçimi ve Önemi	45
3.2. Karar Destek Sisteminin Oluşturulması.....	46
3.3. Literatür Çalışması	49
3.4. Enerji Kaynaklarının Seçiminde Etkili Olan Faktörler	52
3.5. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması	52
3.5.1. Teknik analiz	55
3.5.2. Ekonomik analiz.....	58
3.5.3. Çevresel analiz	67
3.5.4. Sosyal analiz.....	69
3.6. Tasarlanan Bulanık AHP Yapısı Analizi	71
3.7. Tasarlanan Bulanık AHP Algoritması	74
3.8. Model Sonuçları	76

4. ÜLKEMİZ ENERJİ POLİTİKALARI ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRME, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	87
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR

AHP	: Analytic Hierarchy Process
IRENA	: International Renewable Energy Agency
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
HES	: Hidroelektrik Santrali
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
TEP	: Ton Petrol Eşdeğeri
OECD	: Organizatio for Economic Co-Operation and Development
TETAŞ	: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş
PV	: Güneş Pili (Photovoltoics)
CSP	: Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Concentrated Solar Power)
KW	: Kilowatt
MW	: Megawatt
GW	: Gigawatt
TW	: Terawatt
GJ	: Gigajoule

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı 2010-2014 stratejik planı amaç ve hedefler.....	4
Çizelge 1.2: Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli	7
Çizelge 1.3: HES projeleri ve kapasiteleri.....	8
Çizelge 1.4: Yürütülen projeler ve kapasiteler.	9
Çizelge 1.5: Türkiye kurulu gücünün 2005-2010 yılları arasındaki durumu.	9
Çizelge 1.6: Petrol fiyatlarındaki büyük değişimler ve neden olan olaylar.....	11
Çizelge 2.1: Yenilenebilir enerji kapasiteleri	14
Çizelge 2.2: Yenilenebilir enerji kapasite artışları	14
Çizelge 2.3: Ülkelerin yatırım değerleri.	15
Çizelge 2.4: Ülkelerin yatırımlarındaki büyüme	15
Çizelge 2.5: 2010 yılı sonu rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi.....	17
Çizelge 2.6: 2010 Yılı sonu rüzgar enerjisi kurulu kapasite.....	18
Çizelge 2.7: 2009-2010 eklenmiş kapasite değerleri.....	19
Çizelge 2.8: Rüzgâr türbini teknoloji gelişimi.....	21
Çizelge 2.9: 2010 AB enerji kaynakları yatırım eğilimleri	24
Çizelge 2.10: 2010 yıllı sonu AB kurulu enerji kapasiteleri	26
Çizelge 2.11: Dünya jeotermal enerji potansiyeli.....	30
Çizelge 2.12: Lindal diyagramı.	31
Çizelge 2.13: Jeotermal enerjinin kullanım alanları	31
Çizelge 2.14: En çok jeotermal enerji kullanan ülkeler.....	32
Çizelge 2.15: Yıllık yenilenebilir enerji kaynakları kapasite artışları	35
Çizelge 2.16: Hidrojen üretim yöntemleri.	36
Çizelge 2.17: 2010 yılı enerji sektörü analizi	38
Çizelge 2.18: 2010 yılı kapasite kaynak dağılımı.....	38
Çizelge 2.19: 2010 yılı kapasite kaynak dağılımı.....	39
Çizelge 2.20: 2010 yılı enerji sektörü analizi	40
Çizelge 3.1: Bulanık AHP önem derecesi ölçeği – dilsel ifade skalası	48

Çizelge 3.2: Dilsel ifadeler ölçeği	49
Çizelge 3.3: Yenilenebilir/Sürdürülebilir enerji alanındaki bulanık AHP – AHP çalışmaları	50
Çizelge 3.4: Enerji kaynağı değerlendirme kriterleri.....	52
Çizelge 3.5: Enerji kaynaklarının kapasitesi.....	55
Çizelge 3.6: Enerji kaynaklarının verimlilikleri.	56
Çizelge 3.7: Enerji kaynaklarının tahmini elverişlilik süreleri.	56
Çizelge 3.8: Enerji kaynaklarının yatırım-elektrik üretim maliyetleri.	59
Çizelge 3.9: Enerji kaynaklarının ekonomik analizi.....	59
Çizelge 3.10: Teknoloji risklerinin nitel değerlendirilmesi.	60
Çizelge 3.11: Enerji üretiminde yatırımcılar için temel risk faktörleri.....	60
Çizelge 3.12: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti denklem bileşenleri.	61
Çizelge 3.13: Enerji türlerinin maliyet yapısı.	61
Çizelge 3.14: Güneş enerjisi sistemleri verim-maliyet değişimi	63
Çizelge 3.15: Elektrik üretimi başına düşen CO ₂ emisyon değerleri	68
Çizelge 3.16: 1000 MW kapasiteli nükleer - kömür santrallerinin karşılaştırması ...	68
Çizelge 3.17: Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri	69
Çizelge 3.18: Temel alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi	74
Çizelge 3.19: Üçgensel bulanık sayıların elde edilmesi – I. adım	75
Çizelge 3.20: Üçgensel bulanık sayıların elde edilmesi – II. adım: sentetik boyut ...	75
Çizelge 3.21: Her bir enerji kaynağı için teknik alt-ölçütü açısından ağırlıklar	77
Çizelge 3.22: Her bir enerji kaynağı için ekonomik alt-ölçütü açısından ağırlıklar ..	78
Çizelge 3.23: Her bir enerji kaynağı için çevresel alt-ölçütü açısından ağırlıklar	78
Çizelge 3.24: Her bir enerji kaynağı için sosyal alt-ölçütü açısından ağırlıklar	79
Çizelge 3.25: Enerji kaynaklarının ana ölçütlere göre ağırlık vektörleri.....	80
Çizelge 3.26: 2002-2011 Enerji ithalatı.....	83

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Enerji kaynakları dağılımı -1.....	16
Şekil 2.2: Enerji kaynakları dağılımı -2.....	16
Şekil 2.3: İlk 10 Türbin Üreticisi	18
Şekil 2.4: AB eklenmiş kapasiteler.....	20
Şekil 2.5: Almanya, İspanya ve Danimarka pazar payları	20
Şekil 2.6: Türbin kısımları.....	21
Şekil 2.7: 1995-2010 AB enerji kaynakları eklenmiş kapasiteler	25
Şekil 2.8: 1990-2008 Hidroelektrik gelişim	28
Şekil 2.9: 2008 Yılı hidroelektrik üretim oranları	28
Şekil 2.10: Hidroelektrik potansiyel kullanımı.....	29
Şekil 2.11: En çok hidroelektrik kullananlar	29
Şekil 2.12: Biokütle/Yenilenebilir kapasiteler.....	34
Şekil 2.13: Yenilenebilir kaynakları elektrik üretim kapasiteleri.....	34
Şekil 2.14: Elektrik üretim değerleri	35
Şekil 3.1: Enerji kaynağı seçimi problemi hiyerarşik yapısı	53
Şekil 3.2: Enerji kaynaklarının ana ölçütlere göre önem ağırlıkları.....	81
Şekil 3.3: Enerji kaynaklarının göreceli önem ağırlıkları	81

TÜRKİYE’NİN ENERJİ YATIRIMLARININ PLANLANMASI SÜRECİNİN BULANIK AHP YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Son yıllarda enerji alanındaki gelişmelere paralel olarak ülkeler ileriye dönük enerji arz paket planlamalarını çok detaylı bir şekilde ele almaya başlamışlardır. Fosil kaynaklı enerjilerin gün geçtikçe ülke ekonomilerine oluşturdukları baskının artması farklı enerji alternatiflerinin ele alınması konusunu net bir şekilde ortaya çıkarmaktadır. Bununla beraber bir ulusun kalkınabilirliği, o ulusun çağdaş bir medeniyet haline gelmesi sürecinde enerji kullanımını dışarıya en az bağımlı olacak seviyeye getirebilmesiyle direkt olarak ilişkili olduğundan, konunun ne kadar önemli ve üzerinde durulması gerektiğini göstermektedir. Türkiye, enerji kaynaklarına sahiplik bakımından çok önemli bir konumda bulunmaktadır ancak kullandığımız enerjinin büyük bir kısmını ithal ederek karşılamaktayız.

Son yıllarda özellikle küresel enerji piyasasındaki değişimlerde göz önünde bulundurularak Türkiye’nin önemli adımlar attığını görmekteyiz. Alternatif enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar ve pazar dinamiklerinin oluşturulması için yapılan teşviklerin ne kadar olumlu bir etki yarattığı üzerinde hem bilim dünyası hem de iş dünyası aynı fikirde olup, daha alınması gereken çok mesafe olduğunun da ayrıca altını çizmektedirler. Rüzgâr enerjisi tarafındaki gelişmeler bunun sadece bir örneği olarak nitelendirilebilir. Bilim dünyasının desteğinin burada önemli bir paya sahip olması gerektiğinin de altı çizilmelidir. Yenilenebilir enerji alanında son dönemlerde yapılan çalışmaların da iş ve politik alandaki karar vericilerin kullanabileceği şekilde yapılması dikkat çekicidir. Karar vermenin karışık olduğu durumlarda sistemin tasarlanması ve karar sürecine bu etkinin en az şekilde etki etmesini sağlamak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan Bulanık AHP yöntemi son zamanlarda enerji alanında farklı alternatiflerin ulusal düzeyde değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Analiz tarafında her bir detayın sistem içindeki önemi büyüktür ve birçok karar vericinin sürece alınması ve kararların birleştirilmesi tarafında önemli artıları bulunan bu yöntemin kullanılması da buna dayanmaktadır. Tez kapsamında son yıllarda önemli gelişmelere tanıklık eden enerji kaynakları ele alınmıştır. Küresel eğilimin nereye gittiği ülkemizdeki durum analizlerinin yapılması ile sentezlenerek ulusal düzeyde nasıl bir yol haritası çizilmesi gerektiğine yönelik değişik seçimlere ulaşmamızda yardımcı olabilmesi amaçlanarak detaylandırılmıştır. Karar vericilerin mühendislerden oluştuğu göz önünde bulundurularak, iş dünyasının görüşleri de önemli ölçüde verilerek kararın daha efektif olması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu tezde yapılan çalışmanın enerji alanında ileriye dönük çalışmalara yardımcı olacağı ve bu tarz katma değeri büyük ölçekteki çalışmalara teşvik eden bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

TURKEY'S ENERGY INVESTMENT PLANNING PROCESS EVALUATION BY USING FUZZY AHP METHOD

SUMMARY

Countries started to consider their future energy supply packages planning in a very detailed manner in recent years in parallel with the developments in the energy field. Increase of the pressure day by day that fossil based energies create on countries' economies, reveals clearly the subject that it has to be addressed other different energy alternatives. However, the progress of a nation is directly related with the least level of dependency to abroad energy use during the nation has become a modern civilization and this fact shows how important the topic is and how we should focus on it. Turkey has a very important position in terms of ownership of energy resources but we meet a large amount of the energy by importing. In recent years, especially considering the variations in the global energy market, we see that Turkey has taken important steps.

Regarding to Turkey's development process, it is necessary that new energy sources have to be considered for future. Energy usage is really important for a country like Turkey because growing is related with the energy dependency in the international market. If you have the power, you can consume it for your next generations' life standardization. More sustainable energy means a more acceleration in terms of progress from each perspective.

It is not easy to obtain the optimal energy supply combination for a country. The internal dynamics and external factors directly influence the decisions. The first thing is that a deep market analysis has to be done for gathering in depth information about the trends in the global world. While doing this, another search has to be conducted for understanding the general case at national level.

Energy planning has a complex nature, for decreasing this problematic side; researchers have to deploy the model via objective values rather than using subjective judgments. At this point, the balance between these two opposite sides has to be obtained. For providing a realistic solution, you have to give importance to the consistency of comments. When you decide to create a group of people; it would be good to choose them from the sector that have got good level of know-how and can assume the strategic actions that companies can take for their future development in the energy industry.

Scientific and business world agree on the positive impact of the investments in alternative energy resources and the incentives for the creation of the market dynamics but they also underline that there is still a far distance to be taken. The developments in the wind energy side can be regarded as just one example of this

case. It must be mentioned that the support of the scientific community has to have an important share in this process. It is also remarkable that the studies in the field of renewable energy in recent years are made in a way that the decision makers in business and political area can use effectively. There are lots of methods which provide to design the system and to minimize the negative effects to decision making process when decision making is complex.

The Fuzzy AHP method has been used recently in energy field to evaluate different alternatives at national level. In the analysis side, every detail has an importance in the system and the reason to use this method based on the number of the decision makers and combining process of their decisions. The energy sources that witnessed to important developments in recent years are discussed in the scope of this thesis. Global trend is synthesized by making different case analysis within our country to provide drawing a national road map that ensures reaching different choices at national level.

It has to known that the optimization process has always a tendency which aims to reach a better solution. Each step will make you closer to the optimal point that you want to get. This model can be developed and provided for obtaining more effective results from the existing system. There are lots of views of this big question but every single detail can add you an information even maybe a vision.

These scientific searches must be supported by the business world. These two sides contribution has an essential meaning for the upcoming projects. In today's world, all of big scale researches are done with the help of funds. Global companies possess an important position in these developments. If we can secure this relationship and make it stronger, we will definitely get more concrete results from the studies. All of them are performed to make an added value for any chain in its environment. The significant point is that globalization influences the whole world; markets are getting closer, the interaction between them is higher than the past and the economies are connected at the moment. A crisis that can occur in one country can easily affect the other countries in the same region even globally. When we look from this perspective, to create a better condition for every situation, both scientific and business communities have to work together by showing solidarity, confidence and substantiality. For every sector, the studies must be done by taking this philosophy as a fundamental. The nations which can realize this sooner, they will be the ones which can reach to a higher modern civilization level at the earliest.

Taking into consideration that decision makers are consisted of engineers but it is also given the business worlds views in an important scale to get a more valid decision. By providing this, we are aiming to get the optimal solution from the model. When it is time to make an investment, the management level is taking the decisions. Engineers have technical profiles and they are dealing with other responsibilities. Management level is commercial, sales and marketing oriented. People, who are at this stage, have different working attitudes and responsibilities. They are the ones who are managing the whole financial situation for the company. They have strategic visions, ideas which can lead and drive the company in the business effectively. That's why, business worlds view has taken into consideration in this thesis.

Study that is made in this thesis would be helpful in future studies in energy area and it was thought to encourage this kind of large scale studies. Getting the most added

values is the important thing. In this study, there is a huge literature overview which creates the union of lots of large scale articles and studies with updated data for energy field. This can be used for other projects in the same area. From the business side, there is a picture which includes different comments and evaluations of big companies in the market both globally and locally. The trends, last developments in the technology for each specific energy sources are analyzed. The main idea behind this in depth search is that to better understand the principle subject and its refractions. To manage this complex decision system, the details were the crucial factors that have to be considered blow by blow. As a result, this study combined technical knowhow with business approach for getting a more realistic decision. The methodology that is implemented is chosen after the scanning all of the researches related with this thesis. In further study, this model can be used for a specific energy area or this can be combined with a cost analysis modeling for a specific energy source.

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Anlamı ve Önemi

Günümüzde toplumların elde edip kullandığı enerji miktarı, ulaştıkları refah seviyesinin en önemli göstergelerinden biridir. Bu durumda gelişmişlik düzeyinin sürdürülebilmesi ve gerek duyulan enerjinin sağlanabilmesi enerji ve enerji kaynaklarının stratejik bir önem kazanmasına sebep olmuştur [1].

Tarih boyunca enerjiyi etkin kullanan ve enerji kaynaklarına sahip olan devletler her zaman gücü elinde bulundurmuştur. Kömürün bulunmasıyla Avrupa, sanayi devrimini başlatmış ve kazandığı güç ile dünyaya hükmetmiştir. İlerleyen senelerde bulunan petrol dünya savaşlarının sebebi olmuştur. Geçmişten bu güne kadar olan ülkeler arası çatışmaların neredeyse tamamı hep enerji yataklarını kontrol etme sebebinden ortaya çıkmıştır. Fosil tabanlı kaynakların rezervlerinin sınırlı olması ve bu kaynakların kullanımının beraberinde getirdiği küresel ısınma sorununun dünya açısından önemi de göz önünde bulundurulduğunda, enerji alanında artık yeni stratejilerin ve politikaların uygulanması gerekliliği karşımıza çıkmaktadır [2].

Enerjiye olan ihtiyaç, hem dünya nüfusunun artması hem de gelişmekte olan ülkelerde yaşam standartlarının iyileştirilmesi için artan talep nedeniyle artış göstermektedir. Dünya enerji talebinin %65 gibi büyük bir kısmı ulaşılabilirlik ve kullanıma uygunluk nedenlerinden dolayı petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Yapılan çalışmalarda dünyanın fosil yakıt üretiminin kısa süre içinde en yüksek seviyeye ulaşacağı ve daha sonra azalmaya başlayacağı ortaya konmuştur [3]. Enerji arz güvenliğinin sağlanması, fosil yakıtların kullanımının oluşturduğu sera etkisinin sebep olduğu küresel ısınma ve bu anlamda iklim değişikliğine ilişkin kaygılar, çevre dostu yeni teknolojilerin kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır [4]. Bu çerçevede ülkelerin karbondioksit emisyonlarını azaltan, elektrik arz kaynaklarının çeşitliliğini arttıran, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini teşvik eden uygulamaların desteği ile yeni bir sistemin hızlı bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji

kaynaklarına yönelik çalışmalar 1973 enerji krizinden sonra artmış fakat sonra bir azalma eğilimi göstermiştir. Kyoto protokolü ile küresel ısınma probleminin net bir şekilde vurgulanması neticesinde tekrardan bu kaynaklara ilgi artmıştır. Bu enerji türlerinden en önemlileri güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjisi olarak gösterilmektedir. Türkiye zengin enerji kaynaklarına sahip olmasına rağmen enerji ihtiyacının yaklaşık %74'ünü ithal ederek karşılamaktadır. Dışa olan bu bağımlılık ise ekonominin giderek güçlenmesi ve buna bağlı olarak enerji kullanımındaki artış yüzünden gün geçtikçe daha da artmaktadır [3]. Ülkenin sanayi, konut, ısıtma, soğutma, ulaşım ve tarım gibi farklı alanlarda kullandığı her türlü enerjinin toplam maliyeti, petrol fiyatlarındaki değişimle birlikte, yıllık toplam 15-20 Milyar Euro arasında değişmektedir [2].

1.2. Çalışmanın Amacı

Ekonomik olarak büyük bir yük getiren, çevreyi kirleten ve tüketilmesi şu an için kaçınılmaz olan birincil kaynakların yerini alabilecek kaynaklara yatırımların yapılması şarttır. Türkiye bu anlamda enerji alanında yeni stratejiler oluşturmalı ve bunları kalıcı hale getirmeyi başarmalıdır. Bu çalışmada nükleer enerji bir tercih olabilir mi sorusuna ise net olarak bir cevap getirilmesi için bu enerji kaynağı da detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Diğer bütün yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırması yapıp, bilimsel yöntemlerle bir sonuca varılmaya çalışılmıştır. Yıllardan beri süregelen tartışmaların bu çalışma neticesinde daha doğru bir tarafa yönleneceği düşünülmektedir.

Gelişmekte olan ülkemiz için enerjinin önemi büyüktür. Ülkemizin yenilenebilir enerji alanındaki kaynak zenginliğinin bilinmesi gerekir. Yatırımların ve teşviklerin sağlayacağı ivme ile gereken altyapının kurulması sonucunda kendi enerjimizin büyük bir kısmını kendimiz üretebilir hale gelmeliyiz. İşte bu yüzden ele alınan bu çalışmada öncelikle, Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılması gereken yatırımlar; iş dünyasının tecrübesi ve bilgi birikimi de dikkate alınarak teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla bilimsel yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak geçerli ve sürdürülebilir bir durum analizi çalışmasının ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.3. Enerji Alanındaki Yeni Eğilimler ve Türkiye’deki Yansımaları

Ülkemiz enerji kaynaklarının %70’ten fazlasını ithal eden bir sisteme sahiptir. Fosil yakıt tüketimine olan gereksinim dışa bağımlılığımızı arttırmakta ve ülke ekonomisinin gelişmesine engel teşkil etmektedir. Günümüzde artık tüm ülkeler *enerji arz güvenliği, sürdürülebilir kalkınma* ve *iklim değişikliği* gibi üç temel konuya giderek dahafazla önem vermektedirler. Enerji kaynaklarının azalması, nüfusun artması ve sanayileşmenin de gün geçtikçe hızlanması, ülkelerin kendi enerjilerini üretmelerini stratejik bir konu haline getirmiştir. Bu anlamda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen ülkeler ileriye dönük planlamalarını yaparak gereken teknolojik altyapıyı ve piyasa koşullarını oluşturarak enerji üretiminde güvenliği sağlamaya yönelik adımlar atmaktadırlar. Türkiye yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı ulusal enerji arz sistemi içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını arttırma ve bunların yanına nükleer enerjiyi de ekleme çabası içerisinde gereken çalışmaları yapmaktadır. Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi, ülke elektrik enerjisinin 2023 yılı ile en az %30’luk kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmasını hedef olarak göstermektedir. Bununla birlikte Türkiye yeşil enerji kavramına verdiği önemi, 26 Ocak 2009’da Bonn’da düzenlenen konferans sonucunda imzalanan anlaşmayla Uluslararası Yenilebilir Enerji Ajansı’nın (IRENA) kurucu üyeleri arasında yer alarak göstermiştir [5].

Son on yıl içerisinde, dünyada doğalgaz ve elektrik talebinin Çin’den sonra en fazla arttığı ikinci ülke konumunda bulunan Türkiye’nin enerji alanında izleyeceği politikaların iyi bir şekilde belirlenmesi gerektiği açıktır. 2010 yılında üretilmiş tahmini 210 milyar kWh elektriğin sadece %1,5’lik kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmış olması, almamız gereken uzun bir yol olduğunu göstermektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının küresel enerji sektöründe yaşanan gelişmelere paralel olarak ve ülke enerji kaynaklarının potansiyeline göre yayımlamış olduğu 2010-2014 Stratejik Planı (Çizelge 1.1.) da bu anlamda önem arz etmektedir. Ülkemiz için enerji alanında alınacak kararların bu plan çerçevesinde paralel hareket edebilmesi gerektiğinden tez kapsamında ele alınan konulara ait yapılan yorumlarda bu plan önem arz etmektedir.

Çizelge 1.1: Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı 2010-2014 stratejik planı amaç ve hedefler [6].

1. Amaç	2. Amaç
Yerli kaynaklara öncelik verilmesi/kaynak çeşitlendirmesini sağlamak	Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payını arttırmak
Hedefler	Hedefler
Yerli petrol, doğalgaz ve kömür arama faaliyetlerinin artırılması	Yapımına başlanan 5000 MW'lık hidroelektrik santrallerin 2013 yılı sonuna kadar tamamlanması
Yapımına başlanan 3500 MW'lık yerli kömür yakıtlı termik santrallerin 2013 yılı sonuna kadar tamamlanması	2009 itibari ile 802,8 MW olan rüzgâr enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 10.000 MW'a çıkarılması
2014 yılına kadar nükleer santral inşasına başlanması	2009 itibari ile 77,2 MW olan jeotermal enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 300 MW'a çıkarılması
3. Amaç	4. Amaç
Enerji verimliliğini arttırmak	Serbest piyasa koşullarına tam işlerlik kazandırmak ve yatırım ortamının iyileşmesi
Hedefler	Hedefler
2015 yılına kadar birincil enerji yoğunluğunda 2008 yılına göre %10 azalma	2014 yılına kadar elektrik sektöründe hedeflenen özelleştirmelerin tamamlanması
Mevcut kamu elektrik üretim santrallerinde yeni teknolojiler kullanılarak verimi yükseltmek ve üretim kapasitesini arttırmak için bakım, iyileştirme ve modernizasyon çalışmalarının 2014 yılı sonuna kadar tamamlanması	2015 yılına kadar elektrik enerjisi sektöründe rekabete dayalı olarak işleyen piyasa yapısının oluşturulması
	2015 yılına kadar doğalgaz sektöründe rekabete dayalı olarak işleyen piyasa yapısının oluşturulması

Çizelge 1.1: Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı 2010-2014 stratejik planı amaç ve hedefler [6].

5. Amaç	6. Amaç
Petrol ve doğalgaz alanlarında kaynak çeşitliliğini sağlamak ve ithalattan kaynaklanan riskleri azaltacak tedbirleri almak	Jeostratejik konumumuzu etkin kullanarak enerji alanında bölgesel işbirliği süreçleri çerçevesinde ülkemizi enerji koridoru ve terminali haline getirmek
Hedefler	Hedefler
2015 yılına kadar, yurt dışı ham petrol ve doğalgaz üretimimizin 2008 yılı üretim miktarına göre iki katına çıkarılması	2015 yılına kadar ülkemizin ve Avrupa'nın petrol ve doğalgaz arz güvenliğinin arttırılması yönünde gündemde olan projelerin gerçekleştirilmesi
2009 itibari ile 2,1 milyar m3 olan mevcut doğalgaz depolama kapasitesinin 2015 yılına kadar iki katına çıkarılması	2015 yılına kadar, Ceyhan'a gelen petrol miktarının 2008 yılına göre iki katına çıkması
Doğalgaz ithalatında 2015 yılına kadar en fazla ithalat gerçekleştirdiğimiz ülke payını %50 'nin altına indirmek	Ceyhan Bölgesi'nin farklı kalite ve özelliklerdeki ham petrolün uluslar arası piyasalara sunabildiği rafineri, petrokimya tesisleri ve LNG ihraç terminalinin bulunduğu bütünleşmiş bir enerji merkezi haline getirilmesi
Ulusal petrol stoklarının güvenli düzeyde muhafazasının sürdürülmesi	2011 yılına kadar UCTE'ye tam uyum
7. Amaç	8. Amaç
Enerji ve tabii kaynaklar alanlarındaki faaliyetlerin çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirmek	Tabii kaynaklarımızın ülke ekonomisine katkısını arttırmak
Hedefler	Hedefler
2014 yılından sonra enerji sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonu artış hızında azalma	2013 yılına kadar madencilik işlemlerinin e-devlet kapsamında yürütülmesi
2015 yılına kadar madencilik piyasasında faaliyet gösteren 10 bin maden işletmesinin çevreye uyum planlarının denetimi	2015 yılına kadar toplam maden üretimimizin 2008 yılına göre 2 katına çıkarılması

Çizelge 1.1: Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığı 2010-2014 stratejik planı amaç ve hedefler [6].

9. Amaç	10. Amaç
Endüstriyel hammadde, metal ve metal dışı madenlerimizin üretimlerini arttırmak	Enerji ve tabii kaynakların yönetiminde etkinliği arttırmak
Hedefler	Hedefler
2009 yılında 1,3 milyon ton olan bor kimyasalları ve eşdeğeri üretim kapasitesinin 2015 yılına kadar 2,8 milyon tona çıkarılması	2011 yılına kadar bakanlığın yeniden yapılanma çalışmaları tamamlanacak ve uzmanlığı esas alan bir kariyer yapılanmasına gidilecek
2015 yılına kadar mermer ve doğal taş işlenmiş ürün ihracatının 5 milyar dolara çıkarılması	Uzmanlık yapısını desteklemek ve enerji alanında stratejik araştırmalar yapmak amacıyla 2015 yılına kadar "Enerji Akademisi" oluşturulacak 2012 yılına kadar nükleer düzenlemeye ilişkin kurumsal yapılanma sağlanacak 2012 yılına kadar enerji ve tabii kaynaklar alanlarında istatistik ve planlama altyapısının güçlendirilmesi çalışmaları tamamlanacaktır
11. Amaç	
Enerji ve tabii kaynaklar alanında yenilikçiliğin öncüsü ve destekleyicisi olmak	
Hedefler	
2010 yılında EN-AR (Enerji Araştırmaları) Programı uygulamaya konulacak ve 2014 yılına kadar 50 Milyon TL'lik destek sağlanacak ARGE yatırımlarının 2015 yılına kadar 2009 yılı AR-GE yatırımlarına göre %100 oranında arttırılması sağlanacak	

1.4. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları Durum Analizi

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Dünya'daki diğer ülkelere kıyasla oldukça zengin bir çeşitliliğe ve kapasiteye sahiptir. Çizelge 1.4 enerji uzmanlarının yaptıkları araştırmalar neticesinde ortaya çıkan genel tabloyu göstermekte olup ulusal stratejimizi nasıl yönlendirmemiz gerektiği konusunda bize çok değişkenli bir yol haritası çizebilmektedir.

Çizelge 1.2: Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli [7].

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Potansiyel (TWh/yıl)
Güneş	500
Rüzgâr	400
Jeotermal	16
Hidrolik	450
Biokütle	1,58
Dalga	10

Türkiye'de hidroelektrik potansiyelinin sadece üçte biri kullanılmaktadır. En az 35 bin MW'lık daha HES kurulabilir. Bununla birlikte rüzgâr enerjisinde ekonomik olarak kullanılabilecek 20 bin MW'lık potansiyel mevcuttur. Ancak, kurulu güç 1.300 MW düzeyindedir. Sadece İstanbul Boğaz'ın altındaki akıntıdan rahatlıkla 5 bin MW'lık güç elde edilebileceği belirtilmektedir [8]. Siemens firmasının yaptığı çalışmalara göre son rakamlar temel alındığında rüzgârda 1 MW'lık elektrik üretimi için kurulacak türbinin maliyetinin 800 bin Euro'lar seviyesinde olduğu belirtilirken Boğaz'ın altına da 5 bin MW'lık santralin 4 milyar Euro'luk bir yatırımla, yani rüzgârla eşdeğer bir maliyete kurulabileceği belirtilmiştir [9]. Bu kapasitenin Türkiye açısından ne kadar önemli olduğu ise birkaç örnekle açıklanabilir. Türkiye'nin enerjide kurulu gücü 3 yıl öncesine kadar 40 bin MW düzeyindeydi. Bu açıdan bakılırsa İstanbul Boğazı'nda toplam kurulu gücün %12,5 kadarını tek başına üretebilecek bir kapasite bulunmaktadır. Akkuyu'da inşa edilecek olan nükleer santral toplamda 4 bin 800 MW güç üretecektir. Kısaca Boğaz'da boşa akan su değerlendirilebilirse nükleer enerjiye gerek bile kalmayacaktır [9].

Gerçekleştirilen başka bir çalışmada uzmanlar boğazlardaki güçlü akıntıya dikkat çekmiş ve bu akıntıdan elektrik elde edilebileceğini açıklamıştır. Çanakkale, Marmara ve Cebelitarık Boğazı'nda akıntının yoğunluğu fazla olduğu için, yer

çekiminin de etkisiyle, tuzlu sular daha az tuzlu olan suyun altından akmaktadır. Bu akıntıdan 200 milyon metreküplük bir enerji ortaya çıkmakta ve kullanılmamaktadır. Bu enerji elektrik üretiminde kullanılabilir. Fransa’da gel-git olayında da aynı şekilde denizlerin yükselip alçalması esnasında ortaya çıkan enerjiyi türbinleri doldurmak için kullanıp elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Yer çekim enerjisi masrafsız, çevreyi kirletmeyen ve tükenmeyecek ve dolayısıyla uluslar arası boyutlarda çatışma çıkarmayacak bir enerjidir. İstanbul boğazının dünyanın enbüyük denizaltı nehrini içinde barındırması, burada büyük bir potansiyel olduğu gerçeğini vurgulamaktadır [9].

Ayrıca yapılan değerlendirmeler, Türkiye’nin rüzgâr enerjisinden daha fazla güneş enerjisi potansiyeli olduğunu göstermekte ve gerekli yatırımlar yapıldığında 1.100 kWh/m² güneş enerjisi elde edilebilmesinin mümkün olacağı açıklanmaktadır [10]. Jeotermal enerji potansiyeli bakımından ise ülkemiz Dünya’da yedinci, Avrupa’da ise birinci sırada yer almaktadır. Bu kaynakların çoğu Batı Anadolu Bölgesinde yer almaktadır [11].

EPDK tarafından verilen bilgilere göre Türkiye’de şu anda 717 elektrik santrali (78 termik, 524 hidrolik, 115 diğer yenilenebilir) inşası devam etmekte ve toplam kurulu güçleri 33 bin MW civarında olan bu tesisler şu anki kurulu gücün yaklaşık %63’ünü oluşturmaktadır. Genel olarak yapılan projeler incelediğinde 524 adetle hidroelektrik santrallerin büyük bir paya sahip olduğu görülmektedir [12]. Çizelge 1.3 şu anda yapılmakta olan en büyük kapasiteli üç HES projesinin detaylarını içermektedir.

Çizelge 1.3: HES projeleri ve kapasiteleri [13].

Projenin Sahibi	Yeri	Kapasite (MW)	Elektrik Üretimi (KWh)
Boyabat Elektrik	Samsun	528	1.468.000.000
Çetin Enerji	Siirt	386	1.208.814.000
Doğuş Enerji	Artvin	340	1.026.000.000

Yapılan yatırımlar neticesinde, projelerin tamamlanmalarının ardından Türkiye’deki 51 bin MW olan kurulu güç 84 bin MW seviyesine ulaşmış olacaktır. Çizelge 1.4 ise bu anlamda yapılmakta olan toplam santral sayısını ve güçlerini göstermektedir.

Çizelge 1.4: Yürütülen projeler ve kapasiteler [13].

Santral Türü	Sayısı	Kurulu Gücü (MW)
Hidrolik	524	14036,90
Diğer Yenilenebilir (rüzgâr, jeotermal, biyogaz)	115	3500,90
Termik	78	15224,10
Toplam	717	32761,90

2005-2010 yılları arasındaki döneme bakıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarındaki kurulu gücün arttığı fakat hala yeterli düzeyde olmadığı Çizelge 1.5'te açıkça görülmektedir. 2010 yılı itibari ile toplam kurulu gücün %65'i termik, %32'si hidrolik ve sadece %3'lük kısmı diğer yenilenebilir kaynaklardan oluşmaktadır.

Çizelge 1.5: Türkiye kurulu gücünün 2005-2010 yılları arasındaki durumu [14].

Yıl	Termik	Hidrolik	Jeotermal+Rüzgâr	Toplam (MW)	Artış (%)
2005	25902,3	12906,1	35,1	38843,5	5,5
2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8	4,4
2007	27271,6	13394,9	169,2	40835,7	0,7
2008	27595,0	13828,7	393,5	41817,2	2,4
2009	29339,1	14553,3	868,8	44761,2	7,0
2010	32278,5	15831,2	1414,4	49524,1	10,6

1.5. Dünya’da ve Türkiye’de Nükleer Enerjiye Bakış

Bu verilerin ışığında nükleer enerjinin sistem içerisinde nasıl bir rol üstlenmesi gerektiği farklı bakış açılarıyla tartışılmaktadır. Her enerji kaynağında olduğu gibi nükleer enerjinin de diğer kaynaklara göre çok önemli avantajları bulunduğu gibi diğer kaynakların bile sebep olamayacağı ağır sonuçları da beraberinde getirme riski aslında tartışmanın temel boyutunu oluşturmaktadır.

Türkiye 2030 yılına kadar 10 bin MW düzeyinde kurulu güce ulaşmayı hedeflemektedir. Bu anlamda ilk santralin Mersin’de, ikincisinin ise Sinop’ta inşası planlanmakta ve Rusya ile Mersin’de kurulacak olan santral için 12 Mayıs 2010’da hükümetler arası bir ön protokol da imzalanmış bulunmaktadır [5].

Japonya’da 11 Mart 2011 tarihinde Fukuşima nükleer santralinde gerçekleşen patlama, enerji dünyasında bir kırılma noktası olup bu olay sonrasında tüm ülkeler nükleer enerjiye olan bakış açılarını değiştirmiş ve enerjilerinin çok büyük bir kısmını bu kaynakla sağlayan ülkeler önderliğinde enerji sepetlerinde nükleer enerjinin payının azaltılmasına yönelik kararlar almaya başlamışlardır.

Bu olayın yansımaları Türkiye’de de geniş yankı bulmuş ve nükleer enerji yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım gerekliliği fikri artmış olmasına rağmen hala görsel ve yazılı basında aynı zamanda toplum içerisinde nükleer enerji fikrinin tam olarak ortadan kalktığını söylemenin de yanlış olacağı da bir gerçektir. Bilim dünyasında ki görüşler ise nükleer konusunda hala net bir karar verilemediğinin göstergesidir.

Nükleer enerjiye karşı olan uzmanlara göre nükleer enerji günümüz dünyasında bir mecburiyet değildir. Kurulumu en pahalı santral olan nükleerin yapım aşaması en az 10 yıl sürmektedir. Atıklarına çare bulunamamaktadır çünkü yok edilemezler. Amerika Birleşik Devletlerinin 10 milyar dolar harcayarak bir atık tüneli açtığını ancak nihai yalıtımın sağlanamayacağı anlaşıldığı için o tünelin kullanılmadan kapandığı vurgulanmaktadır. Ayrıca kazalar da çok büyük risk taşımaktadır. Batıdaki enerji üreten elektrik şirketlerinin artık bu enerji türüne yatırım yapmayacağına, bu alandaki girişimlerin devletler tarafından üstlenildiğine, çünkü ekonomik olmadığına dikkat çekilmektedir [8].

Bunun aksine nükleer enerjinin ülkemiz açısından bir mecburiyet olduğu yukarıdaki yoruma karşı olarak dile getirilmektedir. Nükleer enerjiyi savunan bilim adamları ülkemizde dış kaynak kullanımında tehlikeli bir bağımlılık noktasına gelindiğini, nükleer enerji ile temiz, güvenilir, sürdürülebilir ve çevreci bir enerji üretiminin mümkün olduğunu ve gerekli tedbirlerin alınması halinde ülke adına çağa ayak uydurabilmek için çok önemli bir enerji kaynağı olacağını belirtmektedirler [8].

Birçok araştırmacı petrol rezervlerinin 2050, doğalgaz rezervlerinin 2070 ve kömür rezervlerinin de 2150 yılları civarında tükeneceği öngörüsünde hem fikir olup, bu anlamda diğer enerji kaynaklarına yönelmenin gerekliliğini ve nükleer enerjinin birçok anlamda avantajının bulunduğunu vurgulamıştır. Dünya’da 32 ülkenin kullandığı nükleer enerji, enerji üretiminde petrol açısından dışa bağımlılığı azaltmak, elektrik enerjisi üretiminde kaynak çeşitliliğini sağlamak ve çevre dostu bir

enerji türü seçmiş olmak için stratejik bir alternatif olarak görülmektedir. Fransa örneği ise çok çarpıcıdır. 1950’li yılların sonundan itibaren, tüm elektrik enerjisinin nükleer kökenli olmasına karar vermiş ve bunu bir ulusal politika haline getirmiştir. Fransa ulusal elektrik üretiminin %76 kadarını toplam 63 bin 103 MW güce sahip 59 nükleer santralden elde etmektedir. Amerika’da ise 97 bin 145 MW güce sahip toplam 104 nükleer santral, ülkenin elektrik ihtiyacının %20’sini karşılamaktadır [15].

Petrole olan bağımlılığı azaltmanın gerekliliği aşîkardır ve tarih boyunca yaşanan krizlerin küresel ölçekte piyasaları nasıl etkilediği Çizelge 1.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 1.6: Petrol fiyatlarındaki büyük değişimler ve neden olan olaylar [16].

Olay	Tarih	Petrol Fiyatı
Arap petrol ambargosu	1973	2 \$’dan 11\$’a
İran krizi	1979	14 \$’dan 30\$’a
İran-Irak savaşı	1980	30 \$’dan 36\$’a
3. Petrol krizi (Fiyat düşüşü)	1986	27 \$’dan 14\$’a
Kuveyt’in işgali	1990	18 \$’dan 24\$’a
Irak’ın işgali	2003	28 \$’dan 56\$’a
Irak, Nijerya ve Venezüella’daki istikrarsızlıklar, Çin ve Hindistan’ın artan talepleri	2006	56\$’dan 76\$’a

OECD verilerine göre Türkiye’nin 1997 yılında kişi başına düşen birincil enerji arzı 1,14 ton ham petrol eşdeğeri iken; 2007 yılında ise bu rakam %18 artarak 1,35 seviyesine gelmiştir. OECD ortalamasına baktığımız zaman ise 1997 yılında 4,61 ton ham petrol iken 2007 yılında %2,4 artarak 4,72’ye ulaşmıştır. Buradan çıkarılabilecek temel sonuç; ülkemizin enerjide ki büyüme dinamizminin oldukça yüksek olduğu, gidilecek fazlasıyla yolu olduğu ve bunun da ancak enerji alanında atılacak yenilikçi adımlarla mümkün olabileceği görülmektedir [17].

Türkiye nükleer kaynaklardan elektrik üretmemektedir. 2005 yılına kadar 1.000 MW’lık güç kurulmasını öngören nükleer santral ihalesi 2000 yılında iptal edilmiştir. Sonraki yıllarda 5 GW’lık kombine kapasiteli ilk nükleer tesisin inşası için düzenlenen ihale 24 Eylül 2008 tarihinde kamuoyuna duyurulmuştur. Ancak sadece Rusya’da devletin işlettiği nükleer ihracat şirketi olan Atomstroyexport ile Türkiye’den Park Teknik’in oluşturduğu konsorsiyumun teklif verdiği ihale 2009 yılı Kasım ayında TETAŞ tarafından iptal edilmiştir. Türkiye’de artan enerji talebinin

karşılanabilmesi için nükleer enerji önemli bir kaynaktır ve önümüzdeki yıllarda gündemde kalmaya devam edecektir. Son olarak, bir nükleer santralin inşaatı için Rusya ile bir anlaşmaya varılmıştır. Bir yandan da Güney Kore ile aynı konuda müzakereler sürdürülmektedir [18].

Dünya'nın ilk 16 ekonomisi içerisinde bulunan, enerjideki büyüme rakamlarıyla ilk 12 arasında olan ve toplam kurulu güç rakamları açısından da Avrupa'da 6. sırada olan ülkemizin enerji alanında atacağı adımlar gelecekteki Türkiye adına büyük önem taşımaktadır. Son 10 yıllık performansımıza baktığımızda, dış ticaret açığımızın yarısının, 154 Milyar \$'lık kısmının, enerji ithalatından kaynaklandığı görülmektedir. Enerji yoğunluğumuz sanayileşmenin büyümesi ile artmakta ve bu daha fazla enerji tüketimine yol açmaktadır. Gereken talebin karşılanması için büyük oranda fosil yakıtların tüketilmesi de Türkiye'yi CO₂ salınımı en hızlı artan ülkelerden biri konumuna getirmiştir. Türkiye için yapılan büyüme senaryolarına göre her yıl 12 Milyar kWh ilave enerjiye ve yıllık 4 ile 5 Milyar \$ yatırıma ihtiyacı olduğu uzmanlar tarafından öngörülmektedir [19].

Değerlendirmelere baktığımız zaman nükleer enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları ile olan rekabeti devam etmektedir ve hala kazanan bir taraf bulunmamaktadır. Enerji arz güvenliği, sürdürülebilirlik, küresel ısınma gibi konuların önemli olduğu günümüzde bunları sağlayabilecek kaynakların kullanımı da mantıklıdır. Yapılması gereken seçim belki de çevresel ve sosyal boyut mu yoksa teknik ve ekonomik üstünlük mü? Bu dört açıdan bakıldığında hangi kaynak türünün daha etkin olduğu çalışmanın sonunda daha açık bir şekilde ortaya çıkacaktır. Japonya'daki olay sadece nükleer enerjinin güç kaybetmesine sebep olmuştur ve bu küresel enerji kaynakları arasında ciddi bir itibar kaybıdır ancak birçok perspektiften incelendiğinde neden hala nükleer enerjiden vazgeçilemediği de bundan sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ve ÖNEMİ

2.1. Küresel Rekabetteki Anlamı, Değeri ve Rolü

OECD tarafından yapılan 21. Yüzyılın genel kavramı çalışmasında küresel enerji sektörü beş temel eksen üzerine inşa edilmiştir [19]:

- Dünya çapında enerji verimliliğini arttırmak
- Temiz enerji kaynaklarını arttırmak
- Yenilikçi, çevre dostu teknolojileri geliştirmek
- Sera gazları emisyonunu azaltmak
- Yeni nesil enerji teknolojileri geliştirmek

Toplumun ve ekonominin ihtiyaç duyduğu enerjinin kesintisiz, güvenilir, zamanında, temiz, çevreye zarar vermeyen ve ucuz yollardan temin edilmesi ve enerji arz güvenliği açısından bu kaynakların çeşitlendirilmesi gerekmektedir. Gelişmiş toplumlarda, yalnız enerji kaynağı teminini ve enerji üretimini temel alan planlamaların yerini, enerji-ekonomi-ekoloji dengesini (3E) özenle gözeten planlama anlayışı ile, kaynak çeşitliliğini ve jeopolitik gerçekleri dikkate alan enerji güvenliği modelleri almaya başlamıştır. Bu perspektif içerisinde, enerji güvenliğinin ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması için temel stratejilerden birisi yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesidir [20].

İçinde bulunduğumuz günler, düşük karbon ekonomisi adına verilen mücadelelerin olduğu günlerdir. Mevcut modellerde çok ciddi değişiklikler yapılmakta ve sürdürülebilirlik artık ekonomide yeni bir dünya düzeninin gereği olarak algılanmaktadır. Sürdürülebilir enerji gelişiminin bütünüyle sağlandığı bu yeni enerji çağında, devletlerin enerji güvenliğinin sağlanması adına alacakları önlemler küresel ölçekte hak ettikleri yeri almaları açısından büyük önem teşkil etmektedir [20]. 2005 ile 2009 yılları arasında temiz enerji alanına yapılan yatırımlar %230 artış göstermiştir. 2009 yılı sonu itibari ile yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına

küresel anlamda 162 milyar \$ yatırım yapılmıştır. Çizelge 2.1 toplam yenilenebilir enerji kaynakları kapasiteleri açısından küresel anlamda en büyük ülkeleri göstermektedir.

Çizelge 2.1: Yenilenebilir enerji kapasiteleri [21], Sayfa: 6.

Ülkeler	Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (GW)
ABD	53,4
Çin	52,5
Almanya	36,2
İspanya	22,4
Hindistan	16,5
Japonya	12,9
AB üyesi olmayan ülkeler	12,3
İtalya	9,8
Fransa	9,4
Brezilya	9,1

Çizelge 2.2’de ise son 5 yıllık süreç içerisinde küresel anlamda toplam kurulu kapasitedeki artış yüzdeleri bakımından en hızlı gelişme gösteren ülkeler belirtilmiştir.

Çizelge 2.2: Yenilenebilir enerji kapasite artışları [21], Sayfa: 6.

Ülkeler	Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Artış (%)
Güney Kore	249
Çin	79
Avustralya	40
Fransa	31
Hindistan	31
İngiltere	30
Türkiye	30
ABD	24
Kanada	18
AB üyesi olmayan ülkeler	17

2009 yılı sonu itibari ile toplam yenilenebilir enerji kaynakları kapasitesi 250 GW seviyesine ulaşmıştır. En fazla yatırımları yapan ülkeler ise Çizelge 2.3’te görülmektedir. Çin, Dünya’da yenilenebilir enerji alanına en fazla yatırım yapan ülke olarak birinci sırada yer almaktadır.

Çizelge 2.3: Ülkelerin yatırım değerleri [21], Sayfa: 7.

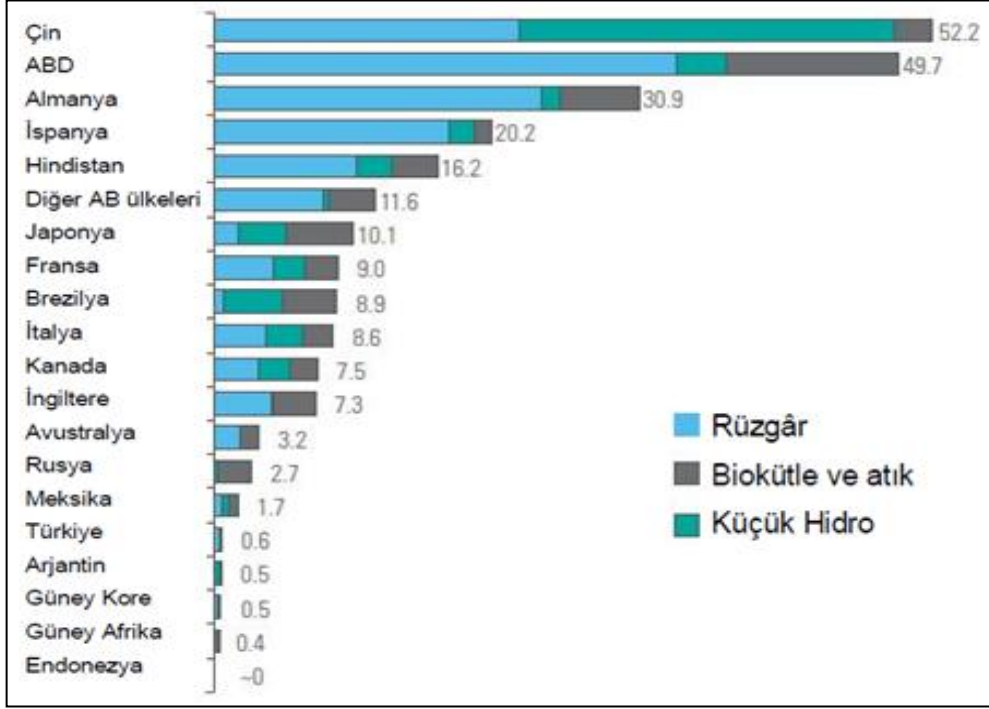
Ülkeler	Yenilenebilir Enerji Yatırımları (Milyar \$)
Çin	34,6
ABD	18,6
İngiltere	11,2
AB üyesi olmayan ülkeler	10,8
İspanya	10,4
Brezilya	7,4
Almanya	4,3
Kanada	3,3
İtalya	2,6
Hindistan	2,3

Son 5 yıllık periyotta yatırımların artış oranları açısından genel değerlendirme ise Çizelge 2.4'te belirtilmiştir. Ülkemiz bu analizde ilk sırada yer almaktadır ve son zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin ne kadar büyük olduğu buradan da görülmektedir.

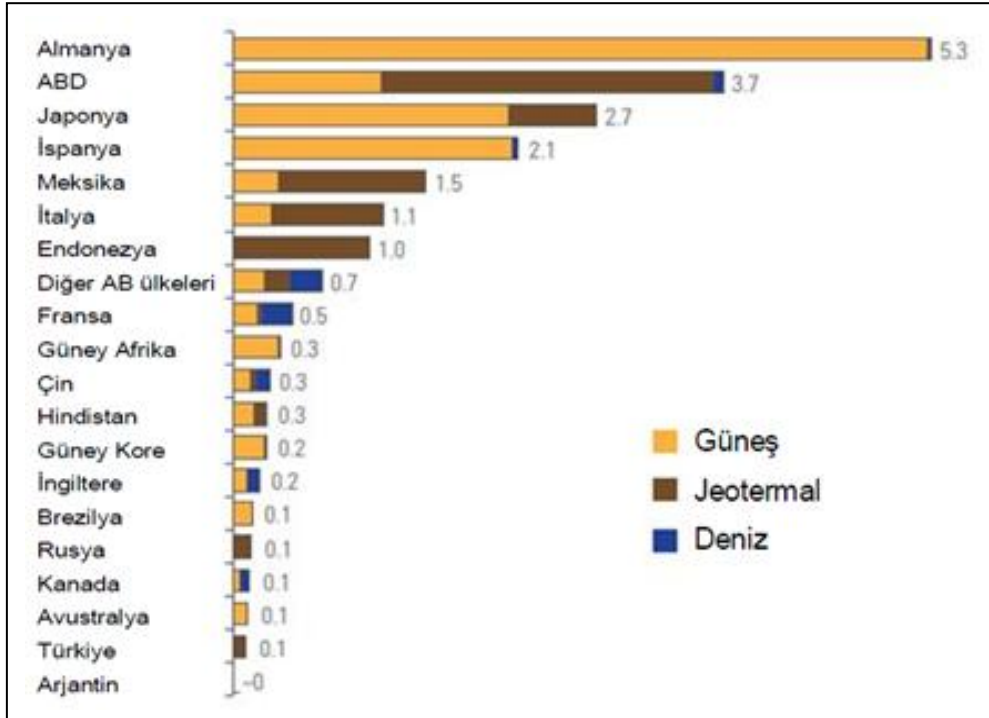
Çizelge 2.4: Ülkelerin yatırımlarındaki büyüme [21], Sayfa: 7.

Ülkeler	Yenilenebilir Enerji Yatırımları Artış (%)
Türkiye	178
Brezilya	148
Çin	148
İngiltere	127
İtalya	111
ABD	103
Fransa	98
Endonezya	95
Meksika	92
AB üyesi olmayan ülkeler	87

Dünya genelinde ülkelerin toplam yenilenebilir enerji kaynakları kapasite dağılımları Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Enerji kaynakları dağılımı -1[21].



Şekil 2.2: Enerji kaynakları dağılımı -2[21].

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Sistemleri ve Özellikleri

2.2.1. Rüzgâr enerjisi

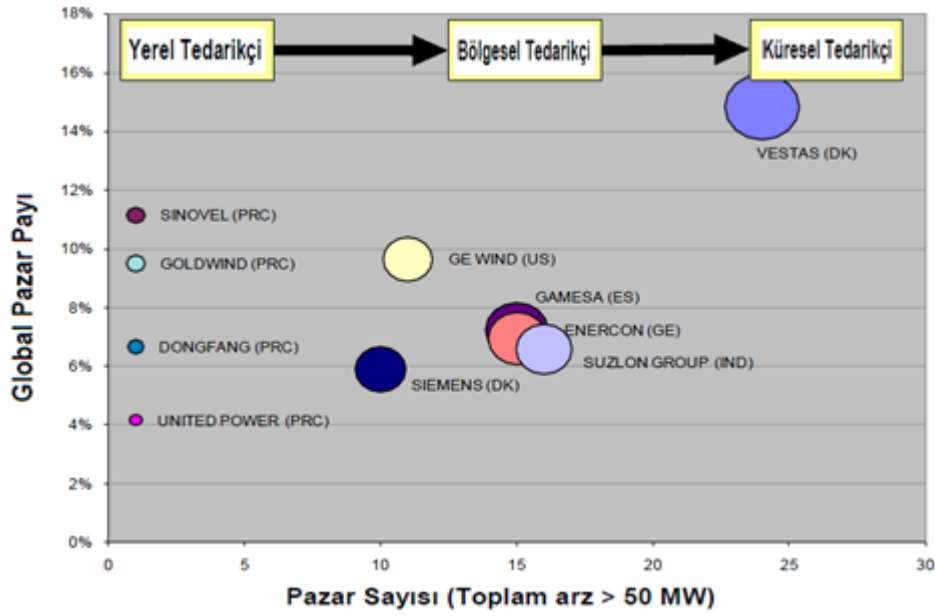
Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en gelişmiş ve ekonomik açıdan en uygunu, bununla birlikte çevre sorunlarına neden olmadığı gibi güneş var olduğu sürece tükenmeyecek olan bir enerji çeşididir. Son on yıllık süreç içerisinde, yıllık ortalama %30'luk tüketim artış hızı ile en hızlı gelişen alternatif enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir [1].

Rüzgâr enerjisi dönüşüme uğramış güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin kayaları, denizleri ve atmosferi her yerde özdeş ısıtmaması nedeniyle oluşan sıcaklık ve basınç farkları rüzgârı oluşturmaktadır. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin çok küçük bir kısmı rüzgâr enerjisine çevrilebilmektedir (Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir). Havanın öz kütlesi az olduğundan, rüzgârdan sağlanacak enerjinin miktarı hızına bağlıdır. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı olarak artar. Sağlayacağı enerji, gücüne, estiği süreye ve yönüne bağlıdır. En cazip potansiyele sahip bölgeler arasında sahil bölgeleri, etrafı açık karasal alanlar ve su kütlelerinin kıyıları bulunmaktadır (Bazı dağlık alanlarda cazip olabilmektedir). Dünya'da rüzgâr enerjisi kurulu gücü olarak genel bir değerlendirme yapıldığında, Çin, Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya'nın bu enerji kaynağının kullanımında önde gelen ülkeler olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.5: 2010 yılı sonu rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi [22].

Ülke	Kurulu Kapasiteler (MW)	%
Çin	42287	21,8
ABD	40180	20,7
Almanya	27214	14,0
İspanya	20676	10,6
Hindistan	13065	6,7
İtalya	5797	3,0
Fransa	5660	2,9
İngiltere	5204	2,7
Kanada	4009	2,1
Danimarka	3752	1,9
Diğer	26546	13,7

Burada ayrıca belirtilmesi gereken, Almanya'nın küresel türbin üretiminde pazarın yaklaşık %30'una, Çin'in ise %25'ine sahip olduğu gerçeğidir. İspanya'nın Dünya'nın en büyük rüzgâr çiftliğine sahip olması da dikkat çekici bir durumdur. Rüzgâr Türbinleri üretimi açısından firmalar incelendiğinde Danimarka merkezli Vestas firmasının açık ara önde olduğu görülmektedir. Şekil 2.3, 2010 yılı verileriyle ilk on üreticinin pazardaki pozisyonlarını göstermektedir. Danimarka, Çin, Almanya ve İspanya firmalarının türbin pazarında hâkim oldukları görülmektedir.



Şekil 2.3: İlk 10 Türbin Üreticisi [23].

Çizelge 2.6 ise Dünya rüzgar enerjisi sektörünün büyüme oranlarını 2005-2010 yılları arasında incelememize olanak sağlamaktadır.

Çizelge 2.6: 2010 Yılı sonu rüzgar enerjisi kurulu kapasite [23].

Yıl	Kurulmuş Kapasite (MW)	Artış (%)	Kümülatif (MW)	Artış (%)
2005	11542	-	59399	-
2006	15016	30	74306	25
2007	19791	32	94005	27
2008	28190	42	122158	30
2009	38103	35	160084	31
2010	39404	3	199520	25
Ortalama büyüme - 5 yıl		27,8		27,4

Yıl bazında eklenmiş olan kapasiteleri, kıtalar çerçevesinden incelersek aşağıdaki tablo karşımıza çıkmaktadır.

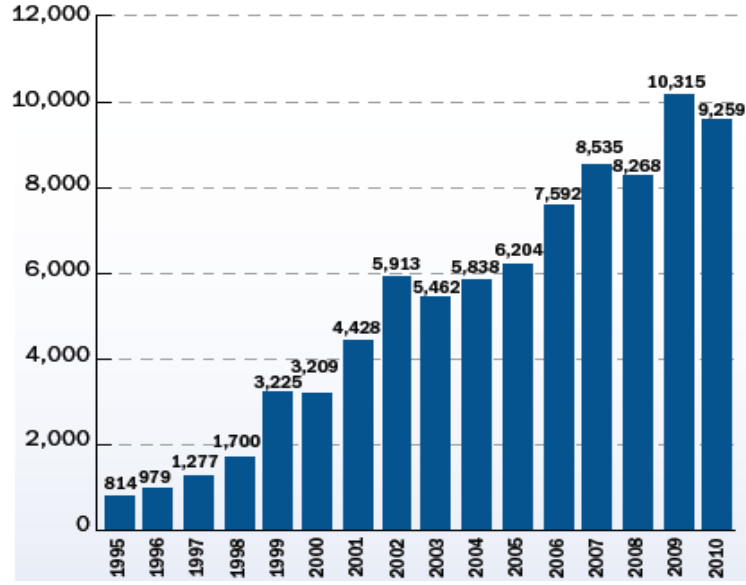
Çizelge 2.7: 2009-2010 eklenmiş kapasite değerleri [23].

Kıtalar	Eklenmiş Kapasite [2009] (MW)	Kümülatif Kapasite [2009] (MW)	Eklenmiş Kapasite [2010] (MW)	Kümülatif Kapasite [2010] (MW)	Eklenmiş MW Kapasite [2010] (%)
Amerika	11433	40351	6639	46990	16,8
Avrupa	10738	76553	10980	87565	27,9
Güney & Doğu Asya	14991	37147	21130	58277	53,6
OECD-Pasifik	622	4890	478	5368	1,2
Afrika	318	1014	98	1112	0,2
Diğer Bölgeler	2	129	79	208	0,2
Yıllık Eklenmiş Toplam Kapasite	38103		39404		
Dünya'da Kümülatif Eklenmiş Kapasite		160084		199520	

Avrupa Birliği ülkeleri 2010 yılında RES (Rüzgâr enerjisi santrali) projelerine toplam 12,7 milyar \$ yatırım yapmışlardır. İspanya 1516 MW yeni ek kapasitesiyle ilk sırada kendine yer bulmuştur. Şekil 2.4 AB üyesi ülkelerin geçen sene işletmeye aldıkları rüzgar enerjisi santrallerinin güçlerini göstermektedir. 2010 yılı sonunda küresel rüzgâr gücü 190 bin MW düzeyini aşmış ve 250 milyon ton CO₂ bu kurulu güç sayesinde önlenmiştir [24].

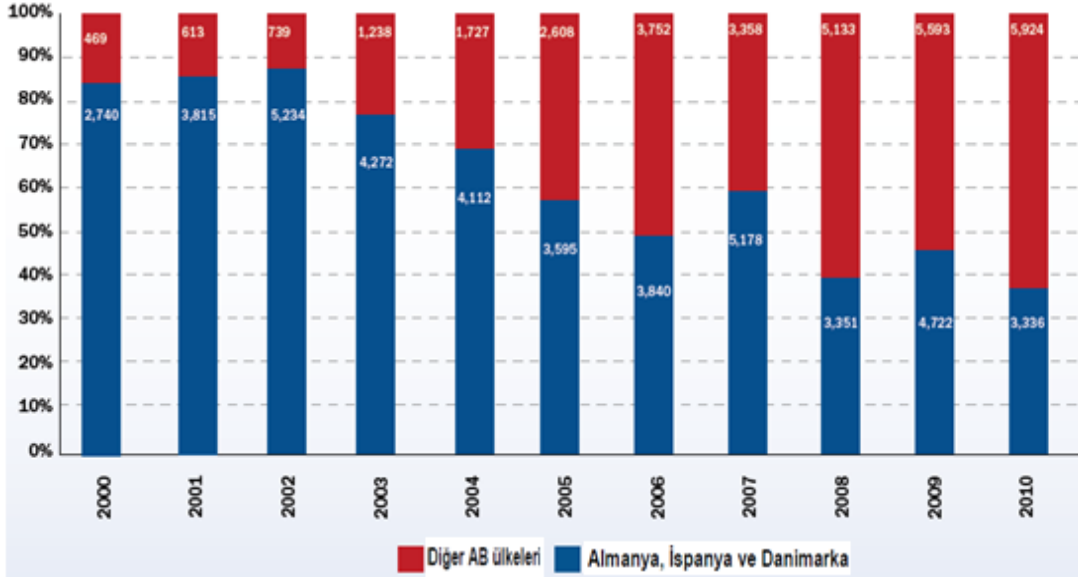
Rüzgâr enerjisi sektörü 2009 yılı sonunda dünyada tesis edilen tüm rüzgâr türbinleri ile yılda, dünyanın yedinci en büyük ekonomisi olan İtalya'nın toplam talebine eşdeğer ve küresel tüketimin %2'sine karşılık gelen 340 TWh elektrik üretmiştir. Toplamda 50 milyar Euro büyüklüğünde bir iş hacmi yaratmıştır. 2009 yılında dünyada 550 bin kişiye istihdam sağlamış olup bu rakamın 2012 yılında 1 milyon seviyesine ulaşması öngörülmektedir [24].

AB'de rüzgâr enerjisi kullanımı 15 yıllık bir sürede çok hızlı bir artış göstermiştir. Bunun en büyük sebeplerden birisi, ülkelerin enerji arz güvenliklerini çevreye zarar vermeden sağlamak istemeleridir. Şekil 2.4 bu süre içerisinde yıl bazında eklenmiş toplam kapasiteleri belirtmektedir.



Şekil 2.4: AB eklenmiş kapasiteler [24].

2000'li yılların başında Danimarka, Almanya ve İspanya'nın rüzgâr enerjisi alanında önde gelen ülkeler olarak toplam AB'nin %85'ini temsil ettiği, fakat sonraki yıllarda bu oranın %36'ya düşerek, rüzgâr enerjisi kullanımının tüm AB'ye yayılmış olduğu görülmektedir.



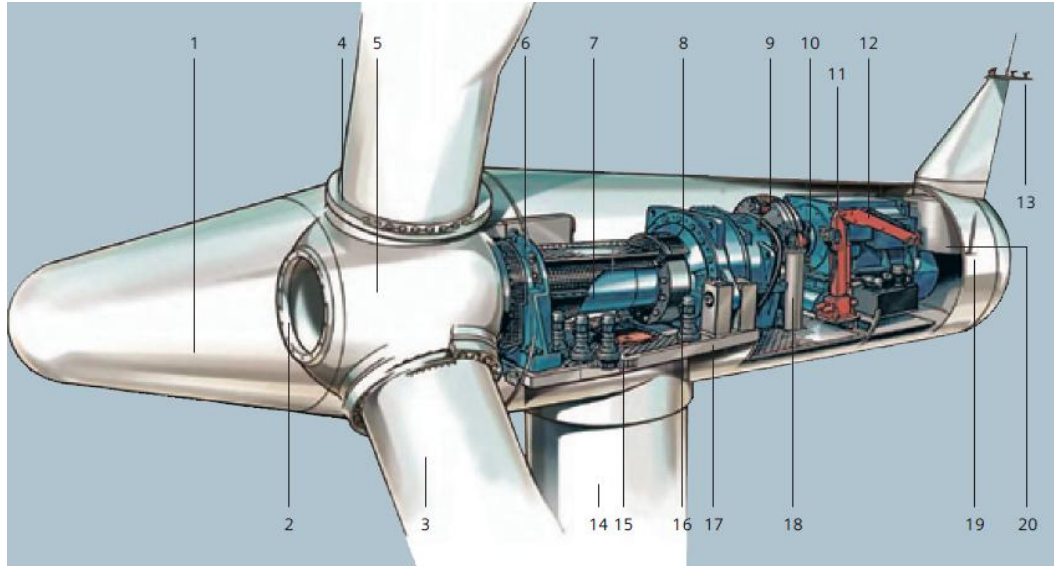
Şekil 2.5: Almanya, İspanya ve Danimarka pazar payları [24].

Çizelge 2.8 ise rüzgâr türbinlerinin geçmişten günümüze kadar ki teknolojik gelişmesini göstermektedir.

Çizelge 2.8: Rüzgâr türbini teknoloji gelişimi [25].

Yıllar	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Güç (kW)	30	80	250	600	1500	5000
Rotor Çapı (m)	15	20	30	46	70	115
Hub yüksekliği (m)	30	40	50	78	100	120
Yıllık Enerji Miktarı (kWh)	35000	95000	400000	1250000	3500000	17000000000

Bir rüzgâr türbinin en önemli bölümleri Şekil 2.6’da detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 2.6: Türbin kısımları [26].

1	Rotor başlığı	11	Jeneratör
2	Rotor başlığı desteği	12	Servis vinci
3	Kanat	13	Meteorolojik sensörler
4	Kanat rulmanı	14	Kule
5	Rotor göbeği	15	Rota halkası
6	Ana şaft yatağı	16	Rota dişlisi
7	Ana şaft	17	Makine dairesi taban levhası
8	Dişli kutusu	18	Yağ filtresi
9	Fren diski	19	Kanopi
10	Bağlantı	20	Jeneratör fanı

2.2.2. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, kaynağını güneşte gerçekleşen füzyon olayından alan temiz bir enerji kaynağıdır. Kütlesinin saniyede 5 tonluk kısmı ısı ve ışığa dönüşmektedir. Bu çıkan enerjinin ise yaklaşık 10^{10} MW kadarı dünyamıza ışık yoluyla ulaşır. Bu enerjinin sadece bir bölümü günümüz teknolojileri ile kullanılabilir enerjiye çevrelebilmektedir. Güneş'in %75'i hidrojen, %23'ü ise helyum gazlarından oluşmaktadır. Yarıçapı dünyanınkinin 109 katı, kütlesi ise dünya kütlesinin 330000 katı kadar daha büyüktür. Dünyaya olan uzaklığı 150 milyon km olan güneşin merkezindeki sıcaklık $20.10^{60}C$, yüzey sıcaklığı ise $6.10^{30}C$ 'yi bulmaktadır. Güneşteki bu yüksek sıcaklık nedeniyle elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılmış bir halde bulunurlar. Bu nedenledir ki, güneşte atom ve molekül değil, serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu yapı da plazma olarak adlandırılır. Bu sıcaklıkta hafif elementler atom çekirdekleri oluşturur. Dört hidrojenin bir araya gelerek bir helyum çekirdeğini meydana getirdiği olay füzyon olarak adlandırılır. Her bir saniyede 564 milyon ton hidrojen, 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kayıp olan 4 milyon ton kütle karşılığı olan 386 milyon enerji bu olay sırasında açığa çıkmaktadır [1].

Füzyon sırasında kullanılan hidrojen, oluşan helyumdan daha azdır. Aradaki fark ise Einstein tarafından verilen $E = mc^2$ formülü temel alınarak, güneşte ortaya çıkan enerjiyi vermektedir. Bu enerji çeşitli dalga boylarındaki ışınlar halinde dünyaya ulaşmaktadır. Bu sayede güneşin her bir m^2 'sinden 62000 KW enerji yayılmaktadır. Güneşin bir saniyede açığa çıkardığı enerji miktarı, insanlık tarihinde şimdiye kadar kullanılan enerji miktarından fazladır. Dünyaya güneşten gelen yaklaşık 170 milyar MW ışıınım enerjisi, dünyada kullanılan toplam enerjinin 15-16 bin katıdır [2].

Dünyamız her yıl güneşten yaklaşık 100 trilyon MWh düzeyinde enerji almaktadır. Bu gücü taş kömüründen elde etmek istemiş olsaydık 122 trilyon ton'luk bir miktar gerekirdi. Bu kadar büyük bir enerji potansiyeline sahip olan bir kaynağın birtakım zorlukları da beraberinde getirmesi şüphesiz anlaşılması gereken bir durumdur. Öncelikli olarak güneş enerjisinin yayınlık olması yani ışığın belirgin bir sınır göstermeksizin her yana dağılması ve yayılması özelliği, en önemli sorunlardan biridir. Uygulamalar için geniş yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca gece ve bulutlu günlerde yararlanılamayacağı için kesintili bir kaynaktır. Buna bağlı olarak

güneşin olduğu zamanlarda elde edilen enerjinin sonraki kullanımları için depolanması gerekmektedir. Bu da birim maliyetleri arttıran bir etkidir. Bununla birlikte güneşten enerji üretmek için kurulan tesislerin maliyetleri günümüzde diğer enerji kaynaklarının kullanıldığı tesislere göre çok yüksektir [1].

Dünyaya gelen ışınların ortalama miktarı bölgeye, zamana ve iklim koşullarına göre değişkenlik göstermekte olup yaklaşık olarak 170 W/m^2 seviyesindedir. Yeryüzüne bir yılda bir m^2 'lik alana düşen güneş enerjisi miktarı bir varil petrole, 200 kg kömüre veya 143 m^3 doğalgaza eşit değerdedir. Birim alana düşen en yüksek güneş enerjisi miktarı Kızıldeniz'de 300 W/m^2 olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, güneşin dünyaya 1 yılda gönderdiği enerjinin sadece % 0,1 kadarı %10 verimle enerjiye dönüştürülebilse, dünya toplam enerji üretim kapasitesinin toplamda 4 katı kadar enerji üretmek mümkün olacaktır [1].

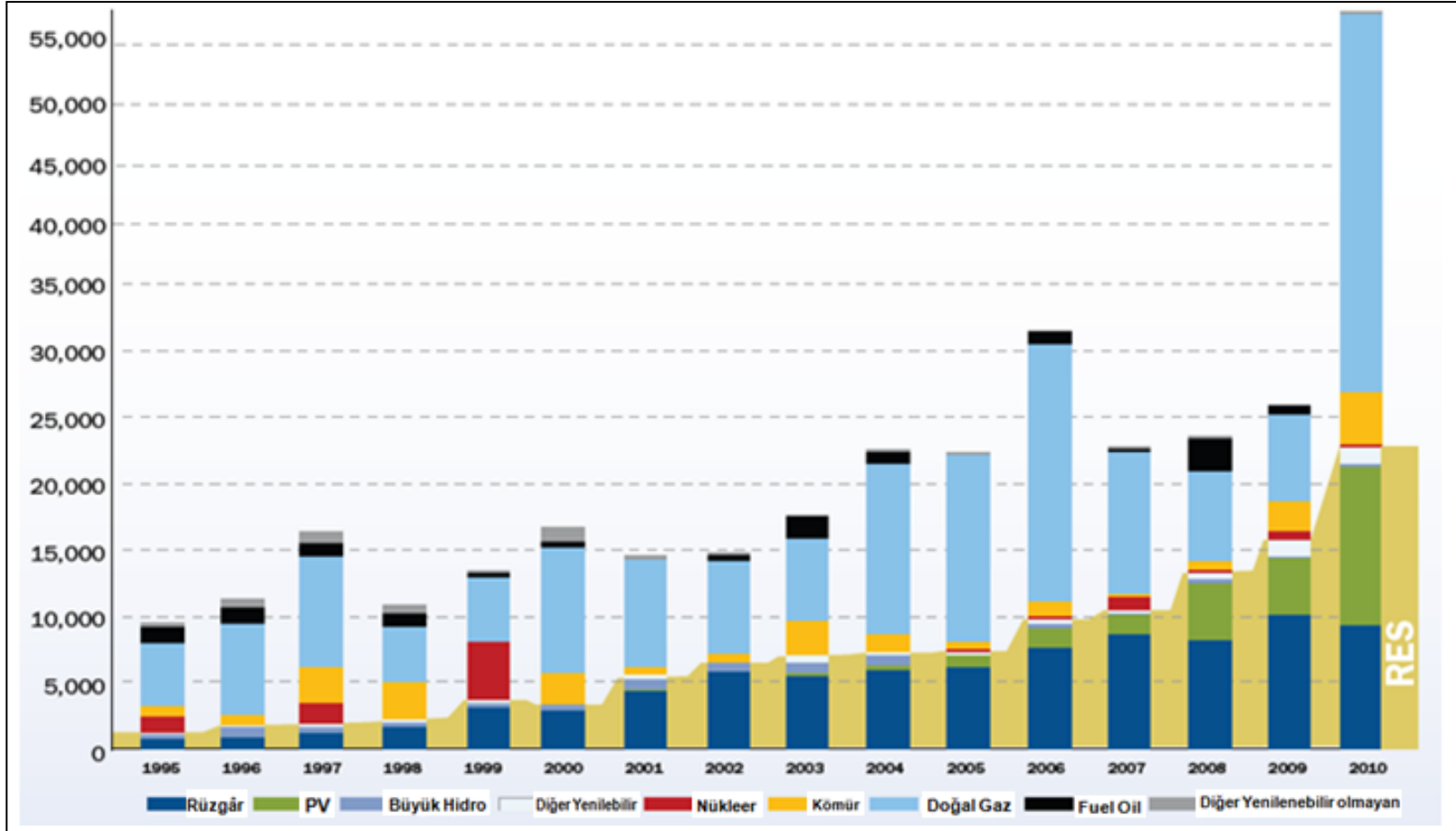
Güneş enerjisinin elde edilmesi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Her teknolojik uygulamanın birtakım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Güneş pili santralleri bunlar arasında en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Enerji üretiminde güneş pillerinden yararlanmaya bakıldığında dünya toplam kurulu gücün yaklaşık %43'ü Avrupa kıtasında bulunurken, %41'lik kısmı ise Asya kıtasında olduğu, Kuzey Amerika kıtasının ise %13'lük bir payı olduğu görülmektedir. Güneş pili kurulu kapasitesinin ülkelere göre dağılımları incelendiğinde Almanya (%36), Japonya (%36) ve ABD (%12,5) toplam gücün yaklaşık %84'lük gibi büyük bir kısmını ellerinde bulundurdıkları görülmektedir.

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri Fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. Pili verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, aslında yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da Fotovoltaik (PV) modül adı verilir. Güneş pilleri pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kristal silisyum,

galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diselenid maddeleri kullanılmaktadır. Güneş enerjisi temiz, yenilenebilir ve sürekli bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler, kolayca taşınıp kurulabilen gerektiğinde enerji ihtiyacına bağlı olarak basitçe değiştirilebilen sistemlerdir. Ancak günümüzdeki teknolojiler çerçevesinde %15 gibi düşük verim düzeyindedir. Başlangıç maliyeti çok yüksektir ve piller gibi depolama malzemeleri için uygun değildir. Tüketiciler için maliyeti şimdilik yüksek olmasına rağmen sanayiyebakıldığında, yapılan öngörüler yaklaşık 410 yıllık bir dönem içerisinde teknolojik gelişmeler çerçevesinde güneş enerjisinden elektrik üretim maliyetlerinin düşerek rekabetçi konuma gelebileceği belirtilmektedir. Güneşten elektrik üretiminin 510 yıl içerisinde güney ülkelerinin liberal enerji piyasalarında ekonomik olmaya başlayacağı düşünülmektedir. Kuzey ülkelerinde ise bu noktaya ulaşabilmenin bir 10 yıl daha süreceği tahmin edilmektedir[27]. Çizelge 2.9, 2010 yılı içerisinde AB ülkelerinde eklenmiş ve işletmeden alınmış kaynak kapasitelerini vermektedir. Güneş enerjisindeki yatırımların toplam yeni kapasitede önemli bir yer tuttuğu görülmektedir.

Çizelge 2.9: 2010 AB enerji kaynakları yatırım eğilimleri [24].

Enerji Kaynağı	Eklenmiş Kapasite (MW)	Çıkarılmış Kapasite (MW)
Doğal Gaz	28280	-
PV	12000	-
Rüzgâr	9259	105
Kömür	4056	1550
Biokütle	573	45
CSP	405	-
Büyük Hidroelektrik	208	26
PEAT	200	-
Çöp	149	-
Nükleer	145	535
Küçük Hidroelektrik	25	-
Jeotermal	25	-
Gel-git&Dalga	-	-
Fuel Oil	-	245



Şekil 2.7: 1995-2010 AB enerji kaynakları eklenmiş kapasiteler [24].

2000-2010 yılları arasında yapılan yatırımlar neticesinde kaynak dağılımına göre 2010 yılı sonu itibari ile AB’de elde edilen toplam kurulu kapasiteler Çizelge 2.10’da gösterilmiştir. Buradaki analizden çıkan sonuca göre bu süreç içerisinde en fazla ilgi gören ilk üç kaynak doğal gaz, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleri olmuştur.

Çizelge 2.10: 2010 yıllı sonu AB kurulu enerji kapasiteleri [24].

Enerji Kaynağı	Toplam Kapasite (MW)
Doğal Gaz	118192
Rüzgâr	74414
PV	26427
Büyük Hidroelektrik	3078
Biokütle	2978
Çöp	1708
CSP	585
Küçük Hidroelektrik	251
PEAT	165
Jeotermal	107
Gel-git&Dalga	0,4
Nükleer	-7594
Kömür	-9504

Yukarıdaki değerlerden de görüleceği üzere son yıllarda yapılan yatırımlarda güneş enerjisi sistemleri önemli bir ivme kazanarak rüzgârdan sonra en çok yatırım yapılan yenilenebilir enerji kaynağı olmuştur. Hem güneş pili (PV) hem de yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) uygulamaları toplam enerji portföyünde önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisi santrallerinin yüksek üretim maliyetleri de göz önünde bulundurulursa, bu sektörde son zamanlarda yapılan atılımların küresel temiz enerji alanında ne kadar önemli olduğu bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.10’dan bir başka önemli analiz ise nükleer ve kömüre dayalı enerji sistemlerinin büyük oranda kapasitelerinin azaltılmış olmasıdır. Ülkelerin enerji arz güvenliklerini çevreye zarar vermeden sağlamaya yönelik çalışmaları ve dünyadaki bütün ülkelerin bu anlamda oluşturdukları stratejiler çerçevesinde bu iki kaynakta olan son derece önemli ölçüde sayılabilecek kapasite azaltmaları da stratejik ve ileriye dönük hamleler olarak yorumlanabilir. Aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerin izlemesi gereken yol bakımından yardımcı olmaktadır.

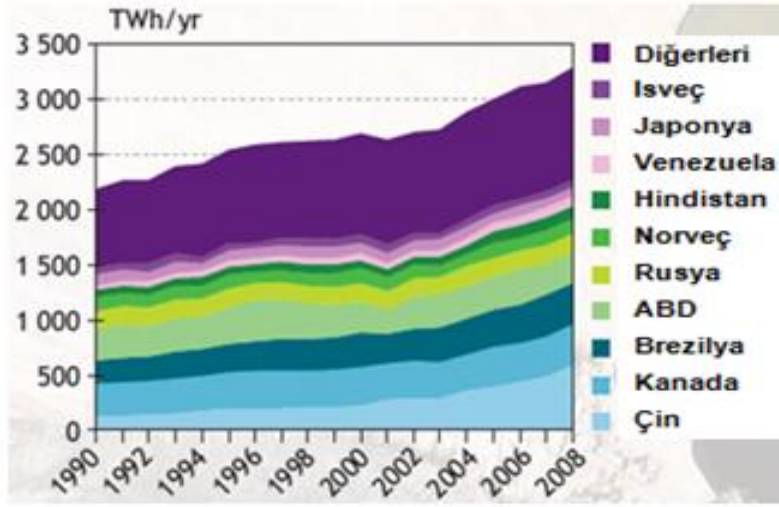
2.2.3. Hidroelektrik enerji

Günümüzde su enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlisidir. Burada bahsedilen enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen elektrik enerjisidir. Elektrik üretebilmek için su barajlarda toplanır, suyun akışı baraj kapakları sayesinde kontrol edilir. Büyük hacimli bir boru sayesinde su barajdan türbinlere taşınır ve hidrostatik basınçla türbin kanatlarını iterek türbinin dönmesini sağlar. Dönen türbinler ise bir jeneratöre bağlı olup buradan elektrik üretilmektedir. Hidroelektrik santraller küçük ve büyük ölçekli olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Hidroelektrik sistemlerin işletim süreleri de oldukça uzun olup 50 yıla kadar çıkmaktadır [11].

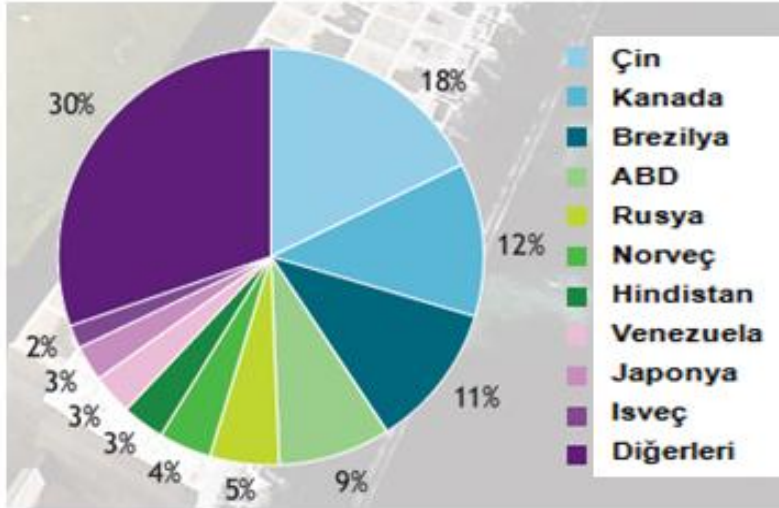
Hidroelektrik santraller büyük bir başlangıç sermayesi gerektirmektedir. Ancak uzun tesis ömrü, yüksek güvenilirlik ve kullanılışlılık, düşük işletme maliyetleri, yıllık yakıt masrafının olmayışı başlangıç maliyetindeki olumsuzluğu azaltmaktadır. Verimlilikleri yüksektir (% 80), genel anlamda ekolojik sisteme fazla zarar vermeyen bir enerji üretim biçimidir. Ancak kısmi bazı zararları da (örneğin somon balıklarının üremesine neden olan nehiryolculuğunu engellemek, ayrıca nehrin ortalama ısısında değişikliklere neden olarak canlılar üzerinde olumsuz etki yaratmak gibi) bulunmaktadır [27].

Dünyada elektrik üretiminin %98'i hidroelektrik enerjisi ile yapılmaktadır. Bu potansiyelin belirlenmesinde “brüt potansiyel”, “teknik potansiyel” ve “ekonomik potansiyel” kavramları önem taşımaktadır. Burada sözü geçen brüt potansiyel, topografya ve hidrolojinin bir fonksiyonu olup, bir akarsu havzasında hidroelektrik enerjisi üretiminin teorik üst sınırını gösteren, mevcut düşü ve ortalama debinin oluşturduğu potansiyeli ifade etmektedir. Teknik potansiyel ise bir akarsu havzasından hidroelektrik enerji üretiminin teknolojik üst sınırlarını göstermektedir. Başka bir deyişle bölgede planlanan hidroelektrik projelerinin gerçekleştirilmesi ile elde edilebilecek hidroelektrik enerji üretiminin sınırlarını ifade etmektedir. Brüt potansiyelin bir fonksiyonudur. Ekonomik potansiyel, bir akarsu havzasının hidroelektrik enerji üretiminin ekonomik optimizasyonunun sınır değerini göstermektedir. Kısaca ekonomik olarak yararlanılabilir hidroelektrik potansiyel, beklenen getirileri giderlerinden fazla olan hidroelektrik enerjisi üretimini ifade etmektedir [11].

Dünyadaki toplam hidroelektrik potansiyeli 16400 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünyada toplam potansiyelin %34,8'i kullanılmaktadır ve halen kullanılabilir hidroelektrik potansiyeli %65,2 seviyelerindedir. Küresel anlamda bütün hidroelektrik santrallerinin ürettiği enerji miktarı 2008 yılı sonu itibari ile 3288 TWh olup küresel toplam elektrik üretiminin (20181 TWh) %16'sına karşılık gelmiştir. OECD ülkelerinde hidroelektrik güç üretimi 1381 TWh değerine ulaşmıştır. Şekil 2.8 dünyadaki hidroelektrik güç üretiminin gelişimini, Şekil 2.9 ise 2008 yılı sonu itibari ile ülkelerin bu enerji üretimindeki paylarını göstermektedir.

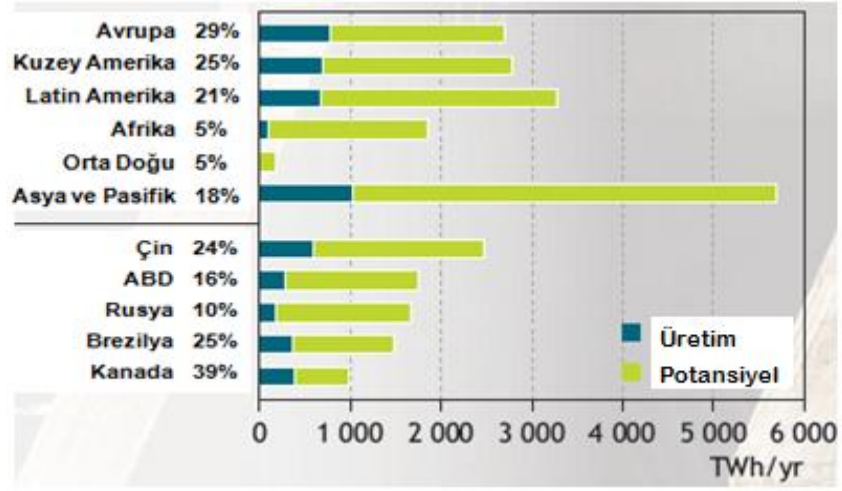


Şekil 2.8: 1990-2008 Hidroelektrik gelişim [28].

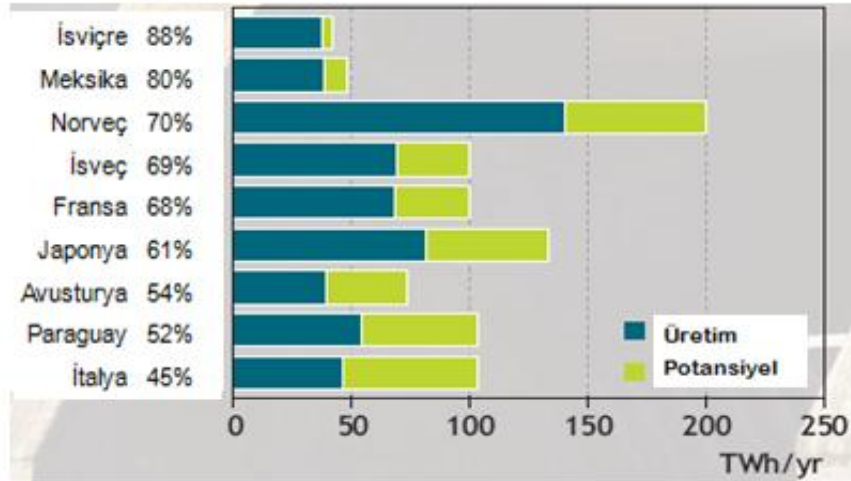


Şekil 2.9: 2008 Yılı hidroelektrik üretim oranları [28].

Hidroelektrik enerjisi alanında en fazla potansiyele sahip ülkeler; Çin, Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Brezilya ve Kanada olarak dikkat çekmektedir. Bu ülkelerin yıllık 8360 TWh kapasiteye sahip oldukları hesaplanmıştır. Diğer ülkeler; Kongo Cumhuriyeti, Hindistan, Endonezya, Peru ve Tacikistan'ın toplamda yıllık 2500 TWh elektrik üretim güç potansiyelleri bulunmaktadır. Şekil 2.10 dünyada bölgelere göre ve en fazla potansiyele sahip ilk 5 ülkenin hidroelektrik güç kullanım oranlarını, Şekil 2.11 ise hidroelektrik potansiyellerini en iyi kullanan ülkeleri göstermektedir.



Şekil 2.10: Hidroelektrik potansiyel kullanımı [28].



Şekil 2.11: En çok hidroelektrik kullananlar [28].

2.2.4. Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde mevcut yer altı ısısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik sıcaklığının üzerinde olan ve bileşimlerinde, çevresindeki normal yer altı ve yerüstü sularına oranlar daha fazla erimiş metal, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sıcak su veya buhar olarak tanımlanabilir [1].

Yerkürenin erimiş sıvı kütlesi (magma) büyük bir enerji kaynağı olarak görülebilir. Derinlere inildikçe 30-45 metrede sıcaklık 1 °C artar. Bu enerjiden yararlanmak için çok gelişmiş sondaj teknolojisinden yararlanmak gerekir [11]. Bu enerji yer kabuğunun kilometrelerce derinliğindeki erimiş kayalardan oluşan magmanın ısısından oluşur. Magmadan yükselen ısı ile jeotermal rezervuarlar olarak bilinen yeraltı su havuzları ısınır. Hatta bazen su kaynayarak buhar oluşturabilir. Bunlar yeryüzüne çıkacak bir yer bulduğunda su veya kaynar bir şekilde gayzerlerden dışarıya çıkarlar. Bunlar kaplıcalar olarak bilinirler. Bugünkü teknoloji ile artık bunların kendiliğinden yeryüzüne çıkmalarını beklemek yerine jeotermal rezervuarların oldukları yerlere sondaj yaparak enerji açığa çıkarılabilmektedir. Bu jeotermal enerjinin direkt kullanım şeklidir. Güneş enerjisinden elektrik üretimine benzer olarak, jeotermal kaynaklardaki sıcak suyun oluşturduğu buhar ile çalışan türbinler sayesinde elektrik üretilir. Çok yüksek verimlidir ve direkt olarak elde edilebildiği için maliyeti düşük iyi bir güç kaynağıdır [27]. Çizelge 2.11 kıtalara göre jeotermal enerji potansiyellerini göstermektedir.

Çizelge 2.11: Dünya jeotermal enerji potansiyeli [1].

Kıta	Elektrik Üretimine Uygun Kapasite (TWh)	Çoklu Elektrik Üretimine Uygun Kapasite (TWh)
Avrupa	1830	3700
Asya	2970	5900
Afrika	1220	2400
Kuzey Amerika	1330	2700
Güney ve Orta Amerika	2800	5600
Okyanusya	1050	2100

Çizelge 2.12 ise küresel anlamda jeotermal enerji kaynaklarının kullanım alanlarını sıcaklıklara göre sınıflandırmaktadır. Çizelge 2.13, dünyada doğrudan jeotermal kullanımının sektörlere göre dağılımını vermektedir.

Çizelge 2.12: Lindal diyagramı [1].

Isı ($^{\circ}\text{C}$)	Kullanım Alanı
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170	Hidrojen sülfid yoluyla ağır su eldesi, diatomitlerin kurutulması
160	Kereste, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer's yöntemiyle alüminyum eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin kurutulması (Konservecilik)
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120	Temiz tuz eldesi, tuzluluk oranının artırılması
110	Çimento kurutulması
100	Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze, vb.), yün yıkama ve kurutma
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtma
70	Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar (kaplıca tedavisi)
40	Toprak ısıtma, kent ısıtma
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma
20	Balık çiftlikleri

Çizelge 2.13: Jeotermal enerjinin kullanım alanları [1].

Sektörler	Kullanım Oranları
Alan Isıtma	33%
Kaplıca	15%
Balık Çiftlikleri	13%
Seracılık	12%
Isı Pompaları	12%
Sanayi	10%
Kurutma	1%
Buz eritme, Havalandırma	1%
Diğer	3%

2009 yılı sonunda dünyada jeotermal enerjiden en fazla elektrik üretimi gerçekleştiren ülke Amerika Birleşik Devletleri olmuştur. Jeotermal enerjinin ısıtma amaçlı olarak direkt kullanımında ise Çin kendine birinci sırada yer bulmuştur. Çizelge 2.14 bu anlamda jeotermal enerjiden en fazla yararlanan ülkeleri göstermektedir.

Çizelge 2.14: En çok jeotermal enerji kullanan ülkeler [29].

Jeotermal Elektrik Üretimi		Jeotermal Direkt Kullanım	
Ülke	GWh/yıl	Ülke	GWh/yıl
ABD	16603	Çin	20932
Filipinler	10311	ABD	15710
Endonezya	9600	İsveç	12585
Meksika	7047	Türkiye	10247
İtalya	5520	Japonya	7139
İzlanda	4597	Norveç	7000
Yeni Zelanda	4055	İzlanda	6768
Japonya	3064	Fransa	3592
Kenya	1430	Almanya	3546
El Salvador	1422	Hollanda	2972
Kosta Rika	1131	İtalya	2762
Türkiye	490	Macaristan	2713
Papau Yeni Gine	450	Yeni Zelanda	2654
Rusya	441	Kanada	2465
Nikaragua	310	Finlandiya	2325

* 1000 GWh= 3,6 PJ

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak jeotermal enerji çevre kirliliğine neden olmadığı için yeşil enerji olarak tanımlanabilir. Bu enerji kaynağına dayalı çalışan santrallerde karbondioksit, azot oksitler ve kükürt oksitler gibi kirli gazların salınımı yok denecek kadar azdır. Özellikle son zamanlardan modern tesislerde, yoğunlaşmayan gazları buharın içinden alıp, kullanılmış jeotermal akışkan ile birlikte yer altına geri veren geri basım sistemleri bulunmaktadır. Jeotermal enerjinin çevre dostu olarak kullanılması için dünyada yasal yaptırımlar belirlenmiş ve ortaya çıkan akışkanı yer altına geri verme tekniğinin uygulanması, hem de rezervuar parametrelerinin korunması hem de jeotermal suyun çevreye zarar vermemesi için uluslar arası genel kurallar koyulmuş ve standartlar belirlenmiştir [11].

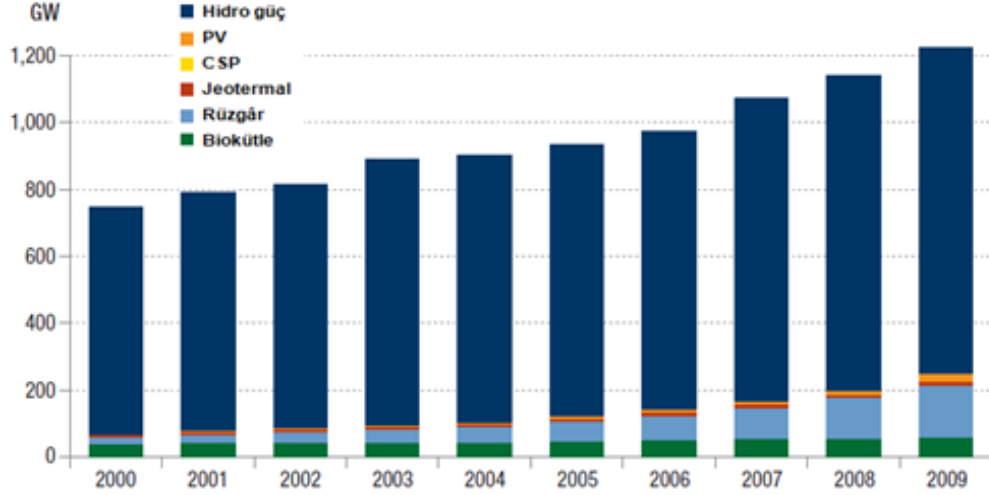
2.2.5. Biokütle enerjisi

Biokütle enerjisi, güneş enerjisinin bitkiler tarafından dönüştürülmüş şeklidir. Bir başka ifadeyle biokütle için “organik karbon” tanımı da kullanılabilir. Sürecin temelinde ise bitkilerin bünyesinde dönüştürülmüş halde depolanan enerjinin, ihtiyaç duyulduğunda birtakım özel metotlarla kullanılması anlayışı bulunmaktadır [1].

Biokütle kaynakları olarak, ağaçları, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkileri, otları, yosunları, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi tüm organik çöpleri, hayvan dışkılarını, gübre ve sanayi atıklarını saymak mümkündür. Bitkilerin fotosentezi sırasında kimyasal olarak özellikle selüloz şeklinde depo edilen ve daha sonra çeşitli şekillerde kullanılabilen enerjinin kaynağı güneştir. Bu anlamda güneş enerjisinin biokütle halindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için önemlidir. Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentez sürecinde dönüşüme uğrarken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ise, daha önce bu maddelerin oluşması sırasında atmosferden alınmış olduğundan, biokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, karbondioksit salınımı açısından korunmuş olmaktadır. Biokütle ya bazı ülkelerde olduğu gibi doğrudan yakılmaktadır ya da çeşitli süreçlerde (havasız çürütme, piroliz, fermantasyon, gazlaştırma, hidroliz, biyofotoliz, esterleşme reaksiyonu) biokütlenin yakıt kalitesi artırılıp alternatif biyoyakıtlar (biyogaz, çöpgazı, biyodizel, biyoetanol, sentetik yağ) üretilmektedir. Günümüzde biokütle enerjisini klasik ve modern olarak iki sınıfa ayırmak mümkündür. Ağaç kesiminden elde edilen odun ve hayvan atıklarından oluşan tezeğin basit şekilde yakılması klasik biyokütle enerjisi olarak adlandırılırken, enerji bitkileri, enerji ormanları ve ağaç endüstrisi atıklarından elde edilen biyodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar, modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak tanımlanmaktadır [30].

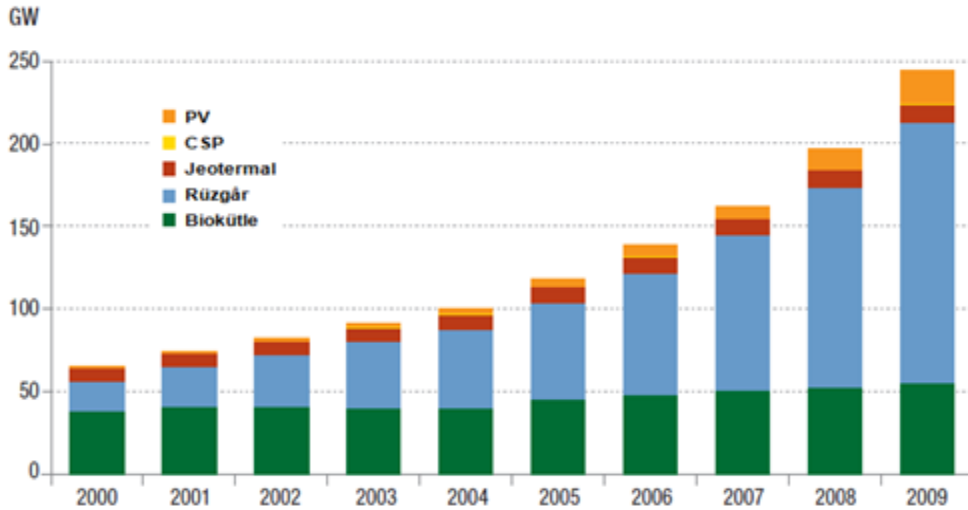
Biokütle çevrim teknolojileri; *doğrudan yakma yöntemi, havasız çürütme yöntemi, fermantasyon yöntemi, piroliz yöntemi, gazlaştırma, biyofotoliz işlemi ve karbonlaştırma* olarak sıralanabilir [31].

Şekil 2.12 biokütle enerji kullanımındaki eğilimi görmemize olanak sağlamaktadır. Hidroelektrik enerjisi diğer yenilenebilir kaynaklara göre kullanım açısından büyük bir üstünlük sağlamıştır.



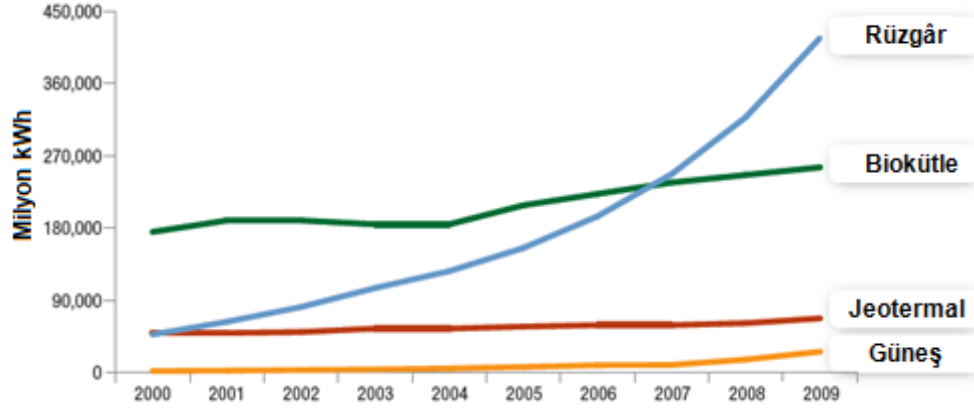
Şekil 2.12: Biokütle/Yenilenebilir kapasiteler [32].

Elektrik üretimi açısından kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında biokütle enerjisinin diğer enerji türleriyle karşılaştırılması Şekil 2.13'te açıklanmıştır. Hidroelektrik enerjisi birinci olmak üzere rüzgâr enerjisinden sonra en fazla kullanılan enerji türü biokütle enerjisi olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 2.13: Yenilenebilir kaynakları elektrik üretim kapasiteleri [32].

Biokütle enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda büyük ilgi görmeye başlamıştır. Her ne kadar maliyetli bir süreç olsa da ülkeler bu enerjiyi kullanmada birçok gelişme kaydetmişlerdir. Şekil 2.14 2000-2009 yılları arasında rüzgâr, biokütle, jeotermal ve güneş enerjilerinden elektrik üretim eğilimini göstermektedir. Burada biokütlenin kullanımının önemli bir ölçüde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.14: Elektrik üretim değerleri [32].

Küresel anlamda kümülatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim kapasitelerini yüzdesel olarak bir önceki yıla göre ne kadar arttığına bakarsak biokütle açısından pek fazla bir kapasite artışı olmadığı anlaşılmaktadır. Çizelge 2.15 bu çerçeveden bakmamıza yardımcı olmaktadır.

Çizelge 2.15: Yıllık yenilenebilir enerji kaynakları kapasite artışları [32].

	Hidro	Güneş (PV)	Güneş (CSP)	Rüzgâr	Jeotermal	Biokütle	Hidro Hariç Yenilenebilir	Bütün Yenilenebilir
2000	0%	22%	0%	31%	0%	6%	11%	1%
2001	5%	29%	0%	33%	0%	8%	15%	6%
2002	2%	33%	0%	29%	2%	0%	11%	3%
2003	9%	25%	0%	29%	9%	-3%	11%	9%
2004	1%	33%	0%	20%	0%	0%	10%	1%
2005	2%	38%	0%	23%	4%	13%	18%	4%
2006	2%	32%	0%	25%	3%	7%	17%	4%
2007	9%	5%	5%	27%	0%	6%	17%	10%
2008	4%	71%	14%	29%	4%	4%	22%	6%
2009	4%	62%	22%	31%	7%	4%	25%	7%

2.2.6. Hidrojen enerjisi

Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. 1 kg hidrojen, 2,1 kg doğalgazın veya 2,8 kg petrolün sahip olduğu enerji içerir. Petrol türevi yakıtlara göre ortalama 1,33 kat daha verimlidir. Hidrojenin bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için doğadaki bileşiklerinden ayrıştırılması gerekir. Diğer yakıtlardan en önemli farkı, güneş ve rüzgâr enerjisinin yardımıyla sudan üretilmesi ve kullanıldığında tekrardan suya dönüşebilmesidir. Günümüzde her yıl ortalama olarak 500 milyar m³ hidrojen üretilmekte, depolanmakta, taşınmakta ve kullanılmaktadır. Özellikle Petro kimya sanayinde kullanımı oldukça fazladır [11]. Çizelge 2.16 hidrojen üretim yöntemlerini göstermektedir. Temel olarak üretim yöntemleri ısı, kimyasal ve biyolojik olarak 3 grup olarak sıralanabilir.

Çizelge 2.16: Hidrojen üretim yöntemleri [11].

Yöntem	Proses	Kaynak	Enerji	Emisyon
Isıl İşlem	Buharlı dönüşüm	Doğalgaz	Yüksek sıcaklıkta buhar	CO ₂ /CO
	Termokimyasal su ayrışımı	H ₂ O	Nükleer reaktörlerden elde edilen yüksek sıcaklık	-
	Gazifikasyon	Kömür, Biokütle	Yüksek sıcaklık ve basınçta su buharı/oksijen	CO ₂ /CO
	Piroliz	Biokütle	Orta sıcaklıkta su buharı	CO ₂ /CO
Elektro Kimyasal	Elektroliz	H ₂ O	Elektrik (Rüzgâr/Güneş/Nükleer)	-
	Elektroliz	H ₂ O	Elektrik (Kömür/Doğalgaz)	Elektrik üretiminden kaynaklanan emisyon
	Foto elektrokimyasal	H ₂ O	Güneş Işığı	-
Biyolojik	Foto biyolojik	Su ve alg bakterisi	Güneş Işığı	-
	Oksijensiz sindirim	Biokütle	Yüksek ısı	Az
	Fermantatif mikroorganizmalar	Biokütle	Yüksek ısı	Az

2.2.7. Dalga enerjisi

Dalgaların gücünden enerji üretmenin temeli dalga hareketinin sahip olduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu kaynaktan enerji üretimi yeryüzünün bütün denizlerinde kolay bir şekilde gerçekleşmemektedir. Bu durumun genel atmosferik sirkülasyonla yakından ilgili olup yüksek enlemler ve kıtaların batı kıyıları daha avantajlı konumda bulunmaktadır. Bunun sebebi ise ticari rüzgârlar olarak adlandırılan Alize rüzgârlarının etkili olduğu bölgelerin içerisinde yer almalarıdır. Genel anlamda 40°-60° kuzey ve güney enlemlerindeki karaların batı kıyıları bu enerjinin kullanımı açısından daha uygundur. Deniz akıntılarından enerji üretimi yeni gelişmekte olan bir alandır. Sistemlerde kullanılan türbinler rüzgar türbinlerinin denize uyarlanmış şeklidir ve yatay eksenli türbinler ile dikey eksenli türbinler olarak iki grupta incelenebilir [1].

Güneş enerjisinin kullanımında yüzey etkin olduğundan yüzey örnek verilirse; ideal şartlarda 1 KW elektrik üretimi için 10 metrekairelik bir alan gerekli olmaktadır. Rüzgâr enerjisi için ise aynı miktarda elektrik üretimi için 2 metrekaire yer gereklidir. (1-5 veya 1-10) Dalga gücü için bu alan sadece 1 metrekairedir. Ayrıca okyanuslardaki bu gücün sadece yüzde biri bugünkü dünya enerji talebinin beş katından fazla olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte dalga enerjisinin kullanılmasında birtakım dikkat edilmesi gereken konular bulunmaktadır. Her dalga boyutunun kullanılması için bir tasarımın oluşturulamaması, gemi rotalarının geçtiği yollar, askeri tatbikatlar, balık avlanma sahaları, su altı kabloları gibi kısıtlamalar büyük dalga enerjisi projelerine başlamadan önce üzerinde durulması gereken hususlardır.

Deniz dalgasının enerjiye dönüştürülmesi aşamasında birtakım sistemler bulunmaktadır. Bunlar; açık deniz, kıyı yakını ve deniz kıyısı sistemleri olarak sıralanabilir. Su sütununun kapalı bir yer içerisinde hareketi ile türbine hava pompalanmasının sağlanması, suyun üstünde yüzen hacimli bir kütlenin ani alçalması ile hareket sağlanması, dalganın yukarı hareketi ile suyun direkt türbinlere verilmek üzere bir depoda biriktirilmesi ve suyun hacimli bir kütleyi kaldırma veya itme gücü ile hareket sağlanması kullanılan işlemler bakımından en fazla tercih edilenler olarak söylenebilir [33].

2.3. Piyasa Yapılandırması için Gerekli Politikalar ve Stratejiler

Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin 2010 yılında yaklaşık 105 milyon ton petrol eşdeğeri (TEP) olarak gerçekleştiği ve bu değerin 2011 yılında 115 milyon TEP olması beklenmektedir. Ülkemiz, bu gereksinimin sadece 31 milyon TEP kısmını yurt içinde üretebilmektedir [34].

2010 yılı Haziran ayı itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarımızın genel durumu Çizelge 2.17'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.17: 2010 yılı enerji sektörü analizi [35].

Kaynaklar	Potansiyel (MW)	İnşa Halinde (MW)	İşletmede (MW)
Rüzgâr	48000	2251	1002
Hidrolik	40000	13766	14802
Biokütle	2500	17	39
Jeotermal	600	70	94

2009 yılında birincil enerji tüketiminde petrolün payı %31, doğal gazın payı %32 olmuştur. Gereksinim duyulan petrolün %92'si, doğal gazın ise %97'si ithal edilmektedir. 2009 yılında toplam enerji ihtiyacımızın %29,5'ini yerli kaynaklarla karşılarken bu oran 2010 yılında %28'e düşmüş ve 2011 yılında %27'ye kadar ineceği tahmin edilmektedir [34].

Kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı ise 2010 Mayıs ayı itibari ile Çizelge 2.18'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.18: 2010 yılı kapasite kaynak dağılımı [35].

Kaynak	Kurulu Güçteki Oranı
Doğalgaz	32,50%
Hidrolik	32,40%
Yerli Kömür	19,10%
Çok Yakıtlılar	5,20%
İthal Kömür	4,30%
Sıvı Yakıt	4,00%
Diğer Yenilenebilirler	2,40%

2010 yılı genel değerlendirmesinde öne çıkan önemli konulardan bir tanesi elektrik fiyatlarındaki değişimlerdir. Elektriğin üretim maliyetindeki artışlar tüketici fiyatlarına doğrudan yansıtılırken, maliyetteki düşüşlerin fiyatlara yansıtılmaması yatırıma ihtiyacı olan Türkiye'nin önemli bir dezavantajı olmuştur. Sanayide ve

meskenlerde kullanılan elektriğin fiyatı açısından ülkemiz dünya ülkeleri arasında ön sıralarda yer almaktadır. Elektrik fiyatlarının ucuzlaması hedefiyle çıkarılan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun tam olarak etki edemediği görülmektedir. Yüksek elektrik fiyatları hem sanayimizin rekabet gücünü azaltırken hem de toplumun yaşam standardını da düşürmektedir. İthal doğalgazın elektrik üretimindeki yüksek payı, üretim sürecindeki verimsizliği ve tüketim aşamasındaki israfları bu yükselişteki en önemli faktörler olarak vurgulanmaktadır [34].

Elektrik üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı Çizelge 2.19'da verilmektedir.

Çizelge 2.19: 2010 yılı kapasite kaynak dağılımı [35].

Kaynak	Elektrik Üretimindeki Oranı
Doğalgaz	43,20%
Hidrolik	29,50%
Linyit	15,20%
Taş kömürü + İthal Kömür	7,40%
Sıvı Yakıt	3,10%
Rüzgâr+Jeotermal+Diğer Yenilenebilir	1,50%
Diğer	0,10%

Sadece şehir aydınlatmalarında kullanılacak yüksek verimli ampuller ile yılda 5 milyar kWh miktarda enerji tasarrufu yapılabileceği ve bunun da elektrik tüketiminde %15'lik bir tasarrufun doğalgaz ithal girdilerinde 3 milyar \$'lık azalma anlamına geleceği belirtilmektedir [34]. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi'nin 2010 yılı Enerji Raporu'nda yapmış olduğu değerlendirmeler çerçevesinde sektördeki önemli gelişmeler ve birtakım öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir. Uzmanlar tarafından yapılan bu değerlendirmelerin enerji sektörü için alınacak kararlarda ve piyasanın şekillendirilmesinde önemli bir rolü bulunmaktadır.

Çizelge 2.20: 2010 yılı enerji sektörü analizi [34].

Gelişme	Değerlendirme
Küçük hidrolik, rüzgâr ve güneş enerjisi elektrik şebekesine fiziki bağlantılarda büyük olumsuzluklar ve engeller bulunmaktadır.	Bu olumsuzlukları çözümleme konusunda etkili bir çalışma ortaya konmamıştır.
3 Aralık 2010 tarihinde yayımlanan, mikro-kojenerasyon veya kurulu gücü 500 KW olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinde üretim faaliyetlerinde bulunan gerçek veya tüzel kişilerin lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünde muaf tutan yönetmelik	Özellikle dere gibi düşük debili akarsularda elektrik üretiminin geniş bir kısma tanınmasının olumlu bir atılım olduğu ve büyük bir talep doğuracağı düşünülmektedir.
ETKB tarafından 2010 yılı içinde duyurulan stratejik planda rüzgâr enerjisi kurulu gücünün 2015 yılında 10 bin MW'a çıkarılması öngörülmektedir.	Elektrik şebekesinde bağlantı problemleri ve olumsuzlukları bu anlamda hedeflere nasıl ulaşılacağı konusunda belirsizliğini korumaktadır.
2010 yılı içinde Rusya ile Akkuyu'da toplam 4800 MW gücünde nükleer güç santrali kurulması için imzalanan antlaşma	Elektrik enerjisi satın alım garantisi 12,35 Dolar cent üzerinden verilmesi ve yerli kaynaklara verilen satın alım tarife bedelleri ile kıyaslandığında yabancı bir kaynağa ve işletmeciye verilen yüksek bedelli alım garantisi tartışılmalıdır.
Hidrolik enerjide toplam 13 bin 887 MW'lık bir kurulu güce sahip HES projelerine lisans verilmiştir.	2009 yılının son çeyreği itibari ile temel atılabilen HES sayısı 75, bu tesislerin kurulu gücü de 1600 MW'tır. Gerçekleşme yüzdesi son derece düşüktür.
Yüksek Planlama Kurulu'nun 2009 yılında kabul ettiği Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi daha kapsamlı bir strateji içermektedir.	Elektrik enerjisi üretiminde %50'yi aşan doğal gaz tüketiminin %30'un altına indirilmesi hedefinin 13 yılda gerçekleştirilmesi için önemli yasaların çıkarılması, yılda 50-60 milyar kWh ilave elektrik üretimine sahip Elbistan linyitleri hızla değerlendirilmeli ve rüzgâr, güneş enerjisi için çalışmalar yoğunlaştırılmalıdır.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre 2010 yılında elektrik enerjisi üretim sektöründe 100'e yakın yeni santral devreye alınmış ve böylece 4073 MW yeni kapasite kurulu güce eklenmiştir. Ülkenin arz güvenliğini sağlamak için çalışmalar yürütülmektedir. Gelecek on yılda doğacak elektrik talep artışını karşılamak için şu an ki toplam kurulu gücün iki katına çıkmanın gerekli olduğu, yani 100 bin MW civarında bir kapasiteye ulaşılması gerektiği öngörülmektedir. Bunun için de en az 75 milyar \$ yatırıma ihtiyaç duyulacağının ve bunun da özel sektör desteği ile yapılacağı, çünkü özel sektörün rekabet ortamında yapacağı yatırımlara dayalı bir piyasa modeli benimsenmiş olduğunun altı çizilmektedir [20].

Ekonomistler Türkiye'nin enerji alanındaki gereksinimlerin ve tahminlerin makro-ekonomik çerçeveden de değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedirler. Ülkemiz ekonomisinin yerleşik bir hal alan yapısal özelliği gereği, iç tasarruflarla değil dış kaynaklarla beslenen bir ekonomi olduğunu ve ithalata dayanan bir eğilim izlediği gerçektir. Ekonominin büyümesi enerji tüketimimizi arttırmakta ve bu tüketimin dörtte üçü ithal edilmektedir. 2002 yılında üretimin tüketimi karşılama oranı %35 iken, 2005'te %29 ve 2008-2009-2010'da da %29'un altında kalmıştır. Bu durum Türkiye'nin ithalat faturasına da yansımaktadır. Enerjinin toplam ithalattaki payı 2000 yılında %16,9 iken 2008 yılında %23,3 seviyelerine kadar çıkmıştır ancak son iki senedir bu oran %20 civarında seyretmektedir. Yerli üretimi arttırarak ithalat payını bir türlü azaltamadığı, ülkemizin enerji üretiminin milli gelir içinde yalnızca %2'lik bir paya denk gelmesi, ekonomimizin enerji üreten bir ekonomi değil ithalatçı bir ekonomi olduğunu göstermektedir [20].

Bunun dışında yerli kaynaklarda ürettiğimiz enerji miktarında son yıllarda artış sağlanmışta olsa da hala %27 seviyelerindedir. Genellikle %50 olarak kabul edilen dışa bağımlılık sınırına bakıldığında ülkemizin bu anlamda çok geride olduğu görülmektedir. Fosil yakıtlardan petrol, doğalgaz ve taşkömürü için bu oran %90'ları çoktan aşmış ve enerji ithalatına bütçeden ayrılan kaynak 50 milyar \$'a ulaşmaktadır. Hızla artan ve refah düzeyine bağlı olarak belli bir süre daha artması beklenen enerji talebimiz ile enerji arzımız arasındaki makasın mutlaka kapatılması gerekir [20].

Hazine Müsteşarlığı yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği yatırımlarının finansmanı amacıyla uluslararası kuruluş ve fonlardan uygun koşulda finansman temini ve bunun özel sektöre aktarılması konusunda önemli çalışmalar

yürütmektedir. Dünya Bankası, Avrupa Yatırım Bankası, Alman Kalkınma Bankası, İslam Kalkınma Bankası ile Uluslararası Temiz Teknoloji Fonu'ndan Müsteşarlık aracılığı ile sağlanan toplam finansman 1,7 milyar \$ seviyesine gelmiş bulunmaktadır [20].

Elektrik Planlama ve Denetleme Kurulu'nun verilerine göre Elektrik tüketimi son kırk yıllık ortalamasıyla yıllık %8,4'lük artış göstermiş olan Türkiye, 2010 yılı elektrik tüketiminde %7,9'luk seviyeye ulaşarak eski günlerine geri dönmüştür. 2010 yılında 20,7 milyar kWh elektrik üreten, 3 bin 819 MW kapasitesinde ve toplam yatırım tutarı 5 milyar TL'yi aşan özel sektör yatırımını devreye almıştır. Bu sayede yıl içerisindeki toplam tüketiminin %10'u kadar ilave gücün elektrik üretim sistemine entegre olduğu bu rakamlardan görülmektedir. 2010 yılında hizmete giren toplam kurulu gücün yaklaşık %35'lik kısmı yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. 5 milyar TL'yi geçen yatırımların 2 milyar 350 milyon TL'lik kısmı, yani yatırım tutarının yaklaşık %47'si, yenilenebilir kaynağa dayanan projeleri içermektedir. 2011 yılı içerisinde yaklaşık 8 milyar kWh elektrik enerjisi üretecek, 2 bin MW'ı aşan ve toplam yatırım tutarı 3,2 milyar TL'yi bulacak olan özel sektör yatırımı devreye alınacaktır. Bu yeni üretim tesisleri içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak olan yatırımın payı ilk defa bu yıl diğer enerji kaynaklarından elde edilecek enerji miktarını geçmiş olacak ve 2011 yılında %50'yi aşacaktır [20].

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Olarak Kullanımına İlişkin Kanun" kapsamında teşvik edilmektedir. Bu kanun kapsamına giren yenilenebilir enerji kaynakları: Rüzgâr, güneş, jeotermal, biokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarıdır [36].

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılması planlanan yatırımları arttırmak ve bu kaynaklardan elektrik üretimini teşvik etmeyi amaçlayan yukarıdaki rakamların sektörde beklenen ilgiyi tam olarak bulamadığı da bir gerçektir.

Sadece yerli alımı hariç rakamlar incelendiğinde, 7,3 \$/cent teşvike göre 40 milyon Euro'luk bir yatırım için bankadan en fazla 28 milyon Euro kredi kullanabileceğini

belirten uzmanlar, bu durumda, 12 milyon Euro'nun da yatırımcı tarafından konulması gerektiğine dikkat çekmektedirler. Türkiye'de 10 bin MW rüzgâr, 15 bin MW da suya dayalı yenilenebilir enerji yatırımı öngörüldüğünü ve bununda yaklaşık olarak 30 milyar dolarlık yatırım gerektirdiği yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur. Bankaların bu rakamlara göre en az yüzde 30 öz kaynak isteyeceği ve bunun da 9-10 milyar dolar bir özkaynak anlamına geleceği belirtilmektedir. Türkiye'de böyle bir öz kaynağın kimse tarafından sağlanamayacağı bilinmekte ve en güçlü olduğumuz otomotiv sektöründe bile yıllar boyunca yapılan yatırım tutarının sadece 3,5 milyar \$ olduğu da unutulmamalıdır [37].

Diğer yandan da sektördeki büyük şirketlerin yenilenebilir alanına gösterdikleri ilgi bu anlamda iyimser senaryoların da ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Yerli alımlarda sağlanan destek ile yapılan öngörülere göre, 5 yıl içinde yapılması planlanan yenilenebilir enerji yatırımlarının 30 milyar dolarla 20 bin MW seviyesine ulaşacağı belirtilmektedir. Koç, Sabancı, Zorlu, Aksa, Anadolu Grup, Polat ve Bilgin Enerji gibi büyük firmaların bu alanda yeni ve büyük projelere hazırlandığı bilinmektedir. Özellikle örnek vermek gerekirse, rüzgâr enerjisinde Türkiye'den alım yapıldığında verilecek olan teşvik miktarının bu anlamda önemli bir rol oynadığı, KW başına 7,3 \$ olan teşvik, malzemelerin yerli alımları ile beraber toplamda 11 \$'lık bir rakama ulaşmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki üretim payını arttırmayı hedefleyen Sabancı Holding, bu çerçevede 2015 yılı için minimum 5 bin MW toplam kurulu gücündeki portföyünün %40-45'nin hidroelektrik santrallerinden, %5-10'unuda rüzgâr enerjisi santrallerinden oluşmasını öngörmektedir [4].

Kanunda yerli katkı desteği kararı çıkmasının Türkiye'de yenilenebilir enerjide bir sanayi hamlesi olacağı ve 5 yıl için 30 milyar \$'lık yeni bir sektör oluşacağı aşîkârdır.

3. TÜRKİYE ENERJİ KAYNAKLARI YATIRIMLARI PLANLAMASI

3.1. Optimum Enerji Kaynağı Seçimi ve Önemi

Son yıllarda çevre duyarlılığındaki artan hassasiyet, ülkelerin enerji üretim faaliyetleri üzerine birçok çalışma yapılmasına sebep olmuştur. Fosil kaynakların kullanımı sırasında açığa çıkan karbondioksitin biyosferdeki artan oranının iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi büyük ölçekteki iki önemli sorununun temelini oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle birçok ülke artık yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmakta ve enerji arz güvenliğini minimum çevresel etkiyle elde etme çabası içerisine girmektedir.

İleriye dönük planlamalar yapılırken hangi kaynaklardan yararlanılacağı, bunların enerji üretim süreçlerinde ne kadar ağırlık taşıyacağı, maliyetlerinin ne olacağı, yatırımların geri dönüşlerinin ne sürede sağlanacağı, teknolojik açıdan hangisinin daha avantajlı olacağı, çevresel açıdan hangisinin ne kadar etki yapacağı ve daha birçok konu bu aşamada önem arz etmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi hangi enerji kaynağına yatırım yapılması gerektiği bir karar verme sürecidir ve süreci etkileyen pek çok faktörün olması, sürecin ne kadar hassas ve zorlu olduğunun bir göstergesidir.

Bu aşamada Türkiye'deki enerji kaynaklarının yatırım planlaması için doğru adımların atılmasına yardımcı olacak bir karar-destek sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır. Birçok faktörün karar sürecinde değerlendirilebilmesi ve kıyaslamanın doğru yapılabilmesi için enerji kaynaklarına ait en güncel veriler kullanılmaya çalışılmıştır. Önerilen karar destek sistemi ile hem nesnel hem de öznel analizler yapılmıştır. Bu nedenle öznel yargıların karara etkisini minimize etmek için ayrıntılı literatür çalışması yürütülmüş ve uygulamaya yönelik yorumlar, tecrübeler ve değerlendirmeler dikkate alınmıştır. Ek olarak, enerji alanındaki küresel eğilimler göz önünde bulundurularak ülkemizin koşulları çerçevesinde bir yapılanmaya gidilmiştir. Enerji politikaları günümüzün en önemli konularından biridir. Alınan ya da alınacak kararlar ülkelerin gelecekteki konumları açısından yönlendirici olacaktır.

3.2. Karar Destek Sisteminin Oluşturulması

Enerji üretim süreçleri enerji kaynaklarının özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Burada yapılacak olan seçim özellikle iki açıdan sorun teşkil etmektedir. Bunlar süreçleri oluşturan sistemlerin “karışık yapıları” ve “bilinmezlikler” olarak tanımlanabilir. Buna ek olarak enerji politikaları birçok faktörün; *sosyal, ekonomik, politik, yasal, teknik* ve *bilimsel* açılardan dengelenmesi esasına dayanmaktadır [38]. Karar verme problemlerinde soyut ve öznel verilerin ve değerlendirme kriterlerinin arttığı durumlarda karar verme süreci zorlaşmaktadır. Bu tip problemlere çözüm bulmak amacıyla kullanılan metotlara çok ölçütlü karar verme metotları adı verilmektedir ve problemin yapısına göre farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır [39].

Bu yöntemlerden Bulanık AHP tekniği; sosyal, ekonomik ve yönetim bilimleri gibi çeşitli alanlardaki yapılandırılmamış problemleri modellemede kullanılan bir yöntem olarak Saaty’nin AHP yönteminden geliştirilen ileri bir analitik teknik olarak tanımlanabilir. AHP’nin çok ölçütlü karar alma problemlerindeki hem sayısal hem de niteliksel değişkenleri değerlendirmedeki tutarlılığına rağmen, karar vericinin kesin olmayan yargılarının bulanıklığı ve belirsizliği, geleneksel AHP yöntemlerinde değerlendirilmeye alınmamaktadır. Bu nedenle, bilim dünyasında birçok araştırmacı, belirsizliğin arttığı durumlarda karar verme sürecinde daha doğru tanımlamaları yapmayı sağlayan Bulanık AHP olarak ifade edilen Saaty’nin geliştirdiği AHP teorisinin bulanık uzantısı üzerine çalışmalar yapmışlardır [40].Kriterleri kıyaslama sürecinin bulanık yapısından dolayı karar vericiler ikili kıyaslamalarını geleneksel AHP’de olduğu gibi sabit bir değer olarak belirlemektense, değerlendirmeyi bir aralık üzerinde yapmayı veya sözel olarak gerçekleştirmeyi tercih etmektedirler [41].Karar verici bu gibi belirsizlik durumlarında kesin değerler içeren değerlendirme yapmak yerine aralıklı bir değerlendirme yapmayı daha uygun ve güvenilir bulmaktadır. Literatürü incelediğimiz zaman Saaty’nin (1980) geliştirdiği AHP teorisinin bulanık uzantıları ile ilgili ilk çalışmaların Graan (1980) ve Lootsma (1981) tarafından gerçekleştirildiği görölmektedir. Daha sonra Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) ilk defa bulanık üçgensel sayıları kullanarak yeni bir metot önermiş ve teoriyi bir adım daha ileri götürmüşlerdir. Günümüzde Bulanık AHP alanındaki problemlerin çözümünde kullanılan yöntem ise Chang (1996) tarafından geliştirilen

genişletilmiş bulanık AHP yöntemidir. Daha sonra Chang, Jing ve Zhu (1999) metot üzerine ayrıntılı bir araştırma daha yapıp algoritmayı bir örnekle desteklemişlerdir. Bu yöntem AHP sürecini bulanık mantık ve dilsel değişkenlerin birlikte kullanımı ile değerlendirmektedir. X , bir hedef kümesi $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ ve U , bir amaç kümesi $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ olmak üzere Chang'ın genişletilmiş boyut analizi algoritmasına göre her bir hedef için (g_i) değerleri sırasıyla oluşturulur. Böylece her bir hedef için m genişletilmiş analiz değerleri aşağıdaki gibi elde edilmiş olur.

$$M^1_{g_i}, M^2_{g_i}, M^3_{g_i}, \dots, M^m_{g_i} \quad , i = 1, 2, \dots, n$$

Burada belirtilen tüm $M^j_{g_i}$ ($j=1, 2, \dots, m$) parametreleri l , m ve u olarak ifade edilen üçgensel bulanık sayılardır. Chang'ın genişletilmiş analiz yönteminin adımları aşağıda gösterilmiştir.

Adım 1: Hedefe göre bulanık boyut değeri şu şekilde tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^j_{g_i} \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{g_i} \right]^{-1} \quad (3.1)$$

Formül içerisindeki ifadelerin nasıl hesaplandığı ise şu şekilde gösterilebilir:

$$\sum_{j=1}^m M^j_{g_i} = \left\{ \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right\} \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{g_i} = \left\{ \sum_{i=1}^n l_j, \sum_{i=1}^n m_j, \sum_{i=1}^n u_j \right\}$$

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{g_i} \right]^{-1} = \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_j} \right\}$$

Adım 2: $M_1 = (l_1, m_1, u_1) \leq M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ifadesinin olasılık derecesi şu şekilde tanımlanır:

$$V = (M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min \left(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y) \right) \right] \quad (3.3)$$

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel bulanık sayılar olmak üzere:

$$V = (M_2 \geq M_1) = Hgt(M_2 \cap M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & diğ\ddot{e}r \end{cases} \quad (3.4)$$

Adım 3: Konveks (üçgensel) bulanık sayı M 'nin olasılık derecesinin k konveks bulanık sayısından M_i ($i = 1, 2, \dots, k$) daha büyük olabilmesi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$V = (M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V = [(M \geq M_1), (M \geq M_2), \dots, (M \geq M_k)] = \min[V(M \geq M_i)], \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3.5)$$

Eğer $k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ için $d'(A_i) = \min V (S_i \geq S_k)$ olarak ifade edilirse ağırlık vektörü şu şekilde ifade edilir:

$$W' = [d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)]^T \quad (3.6)$$

Yukarıda belirtilen A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n elemandan oluşmaktadır.

Adım 4: W' ağırlık vektörü normalize edildiğinde bulanık olmayan sayı elde edilmiş olur.

$$W' = [d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)]^T \quad (3.7)$$

Bulanık AHP yönteminde literatürde en fazla kullanılan ölçek çeşidi ise bulanık üçgensel sayılardan (Triangular Fuzzy Numbers) oluşan ölçek olarak Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1: Bulanık AHP önem derecesi ölçeği – dilsel ifade skalası [39].

Açıklama	Önem Derecesi	Önem Derecesi Eşleniği
Eşit Önemli	1, 1, 1	1, 1, 1
Daha Önemli	$\frac{2}{3}, 1, \frac{3}{2}$	$\frac{2}{3}, 1, \frac{3}{2}$
Çok Daha Önemli	$\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2}$	$\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}$
Çok Fazla Önemli	$\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2}$	$\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}$
Kesin Önemli	$\frac{7}{2}, 4, \frac{9}{2}$	$\frac{2}{9}, \frac{1}{4}, \frac{2}{7}$

Karar verme sürecinde tasarlanan yapıdaki karşılaştırma matrisinin boyutu büyüdükçe karar vericinin ikili karşılaştırmaları yapması zorlaşmaktadır. Literatüre baktığımız zaman en fazla 15x15 boyutlu bir karşılaştırmaya yer verilmiştir. Bu anlamda alınan kararın doğruluğunu sağlayabilmek için dilsel ifadelerden faydalanılır. Değerlendirme sonucunda sistemdeki alternatiflerin toplam ağırlığı bulunur ve normalizasyon yapılarak her alternatifin göreceli önem derecesi elde edilmiş olur.

Çizelge 3.2: Dilsel ifadeler ölçeği [39].

Dilsel İfade	Değer	Göreceli Önem Değeri
Çok Zayıf	1	0
Zayıf	2	0,25
Orta	3	0,5
İyi	4	0,75
Çok İyi	5	1

3.3. Literatür Çalışması

Literatürdeki yenilenebilir Enerji alanındaki Bulanık AHP ve AHP uygulamalarını incelediğimiz zaman ise özellikle enerji kaynaklarına yatırım kararının alındığı seçim süreçlerinde bazı büyük ölçekli çalışmaların bulunduğu görülmektedir. Genel olarak yapılan bütün analizlerin amacını ve ulaşmak istediği sonuçları değerlendirdiğimiz zaman oluşturulan bulanık karar destek sistemlerinin ülkelerin yenilenebilir enerji alanında oluşturacakları strateji paketlerine nasıl yön vermeleri konusunda bize bazı ipuçları verir nitelikte olduğu görülmektedir. Bu anlamda oluşturulacak güçlü bir hiyerarşik yapının güncel verilerle desteklendiği bir süreçte alınacak kararın ileriye dönük anlamda sürdürülebilir olması mümkün olacaktır. Sektördeki uzman kişilerin görüşleri, analizleri ve yorumları da karar aşamasında önemli rol oynamaktadır. Küresel enerji piyasalarındaki yeni oluşumların ileriye dönük atılacak adımların planlanmasında dikkate alınması gereken bir faktör olduğu da bilinmelidir. Diğer bir önemli olgu karar destek sistemindeki karar ölçütlerinin ve hiyerarşik yapının bilimsel bir bakış açısı ile belirlenmesidir. Bu tez kapsamını destekleyecek nitelikteki, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji alanındaki literatür çalışmalarının bir bölümü Çizelge 3.3'te açıklanmıştır.

Çizelge 3.3: Yenilenebilir/Sürdürülebilir enerji alanındaki bulanık AHP – AHP çalışmaları

Konu / Amaç	Teknik / Yöntem	Referans
Pekin için çevresel performans değerlendirmesi çerçevesinde enerji kullanım planının oluşturulması	Bulanık AHP	Song, Wang ve Xu (2011)
Pakistan için uzun dönemli yenilenebilir enerji politikalarının geliştirilmesi ve enerji yol haritasının oluşturulması amacıyla karar destek sisteminin oluşturulması	AHP	Amer ve Daim (2011)
Kore hükümetinin 2030 yılı itibari ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranını %11'e çıkarmak için kullanacağı stratejinin belirlenmesi amacıyla bir karar destek mekanizmasının oluşturulması	Bulanık AHP	Boo, Heo ve Kim (2010)
Tayvan hükümetinin sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım seçiminin enerji değeri, ekonomi ve çevresel yönden değerlendirilmesi	Bulanık AHP	Li, Lin, Shen ve Yuan (2010)
Türkiye'de yatırımı yapılacak en iyi enerji kaynağının seçimi için bir karar destek mekanizmasının oluşturulması	Bulanık AHP	Kahraman ve Kaya (2010)
İstanbul için en iyi alternatif enerji kaynağı seçiminin belirlenmesi	Bulanık AHP&VIKOR	Kahraman ve Kaya (2010)
Çin enerji kaynakları seçiminin çok değişkenli bir karar modeli ile değerlendirilmesi	AHP	Daim, Kocaoglu, Wang ve Yang (2010)
Türkiye için enerji üretim süreçlerinin karşılaştırmalı analizinin sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesinde bir karar destek sistemi ile değerlendirilmesi	AHP	Akbay, Talinli ve Topuz (2010)
Alternatif enerji teknolojilerinin yüksek petrol fiyatlarına karşı kullanılması için stratejik enerji teknolojileri yol haritasının oluşturulması	Bulanık AHP	Kim, Lee ve Mogi (2009)
Yenilenebilir enerji kaynaklarının karşılaştırılması ve yatırımın yapılması gereken en iyi alternatifin seçimi	Bulanık AHP&Aksiyomatik Tasarım	Çebi, Kahraman ve Kaya (2009)
Sürdürülebilir enerji kaynağı seçimlerinde çok değişkenli karar destek mekanizmalarının karşılaştırılması	AHP&Bulanık AHP	Jing, Wang, Zhang ve Zhao (2009)
Enerji planlama, arz-talep, tahmin, yenilenebilir enerji modelleri konularının bulanık teori ile desteklenmesi	Genel Bulanık Teori	Jebarah ve Iniyan (2006)

Çizelge 3.3 yakın zamanda Bulanık AHP yöntemi ile önemli konulara çözüm getirmeye çalışan bilim insanlarının birtakım çalışmalarını kapsamaktadır. Özellikle enerji alanında yapılan çalışmaların ağırlığı dikkat çekicidir. Yenilenebilir enerji alanına ülkelerin ilgisinin artması ile yatırımlarının çoğunu sektör yapılandırma ve kalkındırmaya harcaması, bununla birlikte nükleer enerjide yaşanan son gelişmeler ve ülkelerin ileriye dönük sürdürülebilir enerji gereksinimlerini planlama ihtiyaçları kapsamında efektif bir enerji arzı portföyü oluşturma zorunluluğunu ciddi bir biçimde gündemde tutmaktadır. Bilim dünyası da bu konunun önemini yapmış oldukları çalışmalar ile vurgulamaktalar.

Genel olarak incelediğimizde AHP metodunun karar sistemine ait alternatiflerin değerlendirildiği ve en uygununun seçimi sırasında en çok kullanılan yöntem olduğu görülmektedir. Bu çizelge aslında son zamanlarda Bulanık AHP metodunun, enerji alanında büyük ölçekli karar destek sistemi çözümlerinde kullanıldığı sonucunu da çıkarmaktadır. Bir başka analiz ise daha iyi bir sonucun alınması için farklı yöntemlerin birleştirilip beraber kullanılmış olmasıdır. Böylece yöntemlerin birbirlerine göre faz bazında üstünlükleri anlaşılıp daha iyi bir çözüm nasıl yapılabilir sorusuna da farklı açılardan bakmamıza olanak sağlanmaktadır.

Yapılan çalışmaların büyük ölçekli olması da Bulanık AHP yönteminin bu tarz problemlerde kullanılabilecek iyi bir yöntem olduğunu da ortaya çıkarmaktadır. Ülkelerin enerji arz sepetinin belirlenmesi gibi karmaşık karar destek sistemlerinin oluşturulduğu durumlarda kullanılması da yönteme olan güvenin bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Fosil enerji kaynaklarının günümüzde hala önemini koruduğu bir gerçektir ancak kaynakların pahalılığı ve bunun sonucu olarak bunları ithal eden ülkelerin katlanmak zorunda oldukları ekonomik yükün ağırlığını azaltmak ve daha farklı yatırımlara olanak sağlaması için yapılan her bilimsel çalışmanın önemi büyüktür. Yapılan her planlama sürecinde farklı seçim kombinasyonlarının karşımıza çıkması mümkündür ki zaten çalışmalarda farklı yorumlar ortaya çıkmıştır ancak her sonucun değerlendirmeleri yapılarak nedenlerinin araştırılması ve yeni oluşturulacak karar destek sistemine yansıtılması elde edilecek yeni sonucun doğru seçimin yapılmasına olanak tanıyacaktır. Bu sürecin bir optimizasyon olduğu ve her daim daha uygun bir seçimin yapılabileceği de unutulmamalıdır.

3.4. Enerji Kaynaklarının Seçiminde Etkili Olan Faktörler

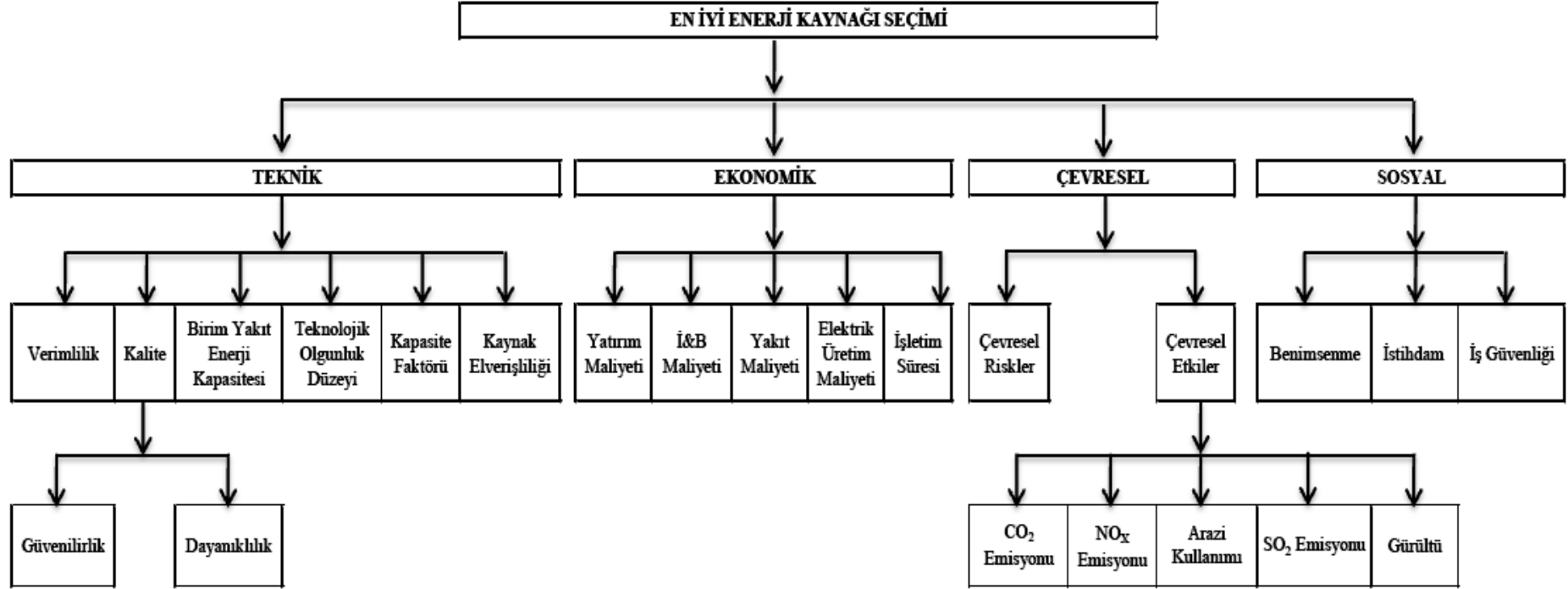
Literatürde enerji kaynakları arasında karşılaştırma yapılmasını sağlayacak bir karar destek sisteminin oluşturulması sırasında dört ana ölçütün dikkate alındığı tespit edilmiştir. Çizelge 3.4'te enerji kaynağı değerlendirme ana ölçütleri ve bunları etkileyen alt ölçütler verilmiştir.

Çizelge 3.4: Enerji kaynağı değerlendirme kriterleri

Ana Kriterler	Değerlendirme Kriterleri	Literatür	Toplam İncelenme
Teknik	Verimlilik	[58, 59, 61-71, 75, 85, 90]	16
	Güvenilirlik	[60, 66-69, 72, 74, 81, 84, 90]	10
	Dayanıklılık	[66-71, 78, 79, 82, 90]	10
	Kapasite	[70, 81-83, 90]	5
	Teknolojik Olgunluk	[60, 80, 82, 90]	4
	Yakıtın Elverişliliği	[67, 68, 90]	3
Ekonomik	Yatırım Maliyeti	[58-76, 81-85, 89, 90]	26
	İşletim ve Bakım Maliyeti	[61, 66-71, 73, 74, 82, 83, 85, 89, 90]	14
	Yakıt Maliyeti	[58, 65, 67-70, 75, 76, 85, 90]	10
	Elektrik Üretim Maliyeti	[61-64, 75, 81, 85, 90]	8
	İşletim Süresi	[61, 63, 74, 83, 90]	5
	Kendini Geri Ödeme Süresi	[59, 60, 72, 86, 90]	5
Çevresel	CO ₂ Emisyonu	[58, 60-65, 72, 74-83, 85, 86, 89, 90]	22
	NO _x Emisyonu	[58, 60, 63-65, 72, 74, 77-79, 81, 89, 90]	13
	Arazi Kullanımı	[60, 62, 63, 74, 75, 78-80, 84, 85, 90]	11
	SO ₂ Emisyonu	[58, 65, 73, 76-79, 81, 90]	9
	Gürültü	[60, 72, 74, 82-84, 90]	7
	Partikül Emisyonu	[76-80, 90]	6
Sosyal	İstihdam Yaratma	[59, 63, 65, 78-80, 84, 87, 88, 90]	10
	Toplumsal Yararları	[59, 66-69, 90]	6
	Benimsenme	[76, 78, 79, 82, 90]	5

3.5. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Hiyerarşik yapının oluşturulmasında seçimi önemli düzeyde etkileyebilecek ölçütlerin kullanılması son derece önem arz etmektedir. Bir sonraki aşamada bu tezde kullanılacak olan hiyerarşik yapı ve ayrıntıları anlatılmıştır.



Şekil 3.1: Enerji kaynağı seçimi problemi hiyerarşik yapısı

Hiyerarşik Yapının Özellikleri:

- AHP için oluşturulan bu modelde literatürdeki çalışmalardan farklı olarak “kalite”, “birim yakıt enerji kapasitesi”, “kaynak elverişliliği” ve “kapasite faktörü” ölçütü eklenmiştir. Kalite ise “güvenilirlik” ve “dayanıklılık” olmak üzere iki alt ölçüte ayrılmıştır.
- Bununla birlikte çevresel etkiler kendi kategorilerinde alt ölçütlere ayrılarak çevresel boyutun öneminin vurgulanması amaçlanmıştır.
- Genelde hazırlanmış olan hiyerarşik yapılardan daha fazla seviyeye ve kapsamlı değerlendirme ölçütüne sahip olup kararın güvenilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.
- Enerji türleri olarak termal (kömür, doğalgaz ve petrol kaynaklı), yenilenebilir enerjilerden rüzgâr ve güneş ile günümüzde enerji sektöründeki en önemli tartışma konularından biri olan nükleer enerji ele alınmıştır.
- Yapı içerisinde hem öznel hem de nesnel değerlendirmelerin yapılacağı ölçütler bulunmaktadır. Öznel faktörlerde karşılaştırma yapılırken sektördeki deneyimli kişilerden yararlanılmıştır. Bu sayede ölçütlerin kararı hedeften saptırma olasılıkları minimize edilmeye çalışılmıştır.
- AHP yerine Bulanık AHP kullanılarak seçimdeki yapılabilecek hatalar minimize edilmeye çalışılmıştır [91].
- Değerlendirmeler sırasında kullanılacak olan veriler uluslar arası alanda hem bilim hem de iş dünyasından genel kabul görmüş raporlar ve araştırmaların yanında ülkemizin önemli üniversitelerinde öğretim görevlilerinin makalelerinden derlenerek sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.
- Sistemde tanımlanan problemin çözümü sırasında küresel ve ulusal pazar analizleri beraber kullanılarak yansıtılmıştır.
- Tez kapsamında oluşturulan modelin çözümüne ilişkin süreç orta vadeli (1-3 yıl) yatırım planlamalarına yönelik olarak hazırlanmıştır.

Bundan sonraki bölümlerde teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal ölçütlerin enerji kaynaklarına göre karşılaştırılmasını sağlayacak ve karar vericiye destek olacak bütün sayısal ve sözel değerlendirmeler ele alınacaktır.

3.5.1. Teknik analiz

Bu bölümde *verimlilik, kalite, birim yakıt enerji kapasitesi, teknolojik olgunluk düzeyi, kapasite faktörü, kaynak elverişliliği* tez kapsamında incelenecek enerji türleri çerçevesinde değerlendirilecektir.

Teknik olarak baktığımız zaman enerji yoğunluk değerlerine (enerji/birim yakıt) göre nükleer enerji en güçlü enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan enerjiyle karşılaştırıldığında çok daha küçük bir boyutta malzeme ihtiyacı bulunmaktadır. 1 kg uranyumdan elde edilen enerji ile 22000kg kömür, 15000 kg petrol ve 14000 kg sıvılaştırılmış doğalgazdan elde edilen enerji eşdeğerdedir[92].

Aynı şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjileri ile karşılaştırıldığında da nükleer enerjinin üstünlüğü görülmektedir. Aynı miktarda güç üretmek için çok daha küçük bir alana gereksinim duyulmaktadır. Örneğin; 900 MW kapasiteye sahip bir nükleer santralin bir yılda üretmiş olduğu enerji, 70 km²'lik güneş panelleri ve binlerce rüzgâr türbininden elde edilebilmektedir [92].

Çizelge 3.5'te bazı enerji kaynakları için karşılaştırmalı enerji kapasiteleri ve verimlilik değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.5: Enerji kaynaklarının kapasitesi [93].

Yakıt	1 tonunun yaklaşık enerji içeriği (GJ)	1 tonunun yaklaşık enerji içeriği (kWh)
Kömür	29	8.056
Petrol	42	11.667
Doğal gaz (sıvılaştırılmış)	46	12.778
Uranyum (LWR, tek geçişli)	630.000	175.000.000

Verimlilik açısından değerlendirdiğimiz zaman ise enerji kaynakları içinde en yüksek verimliliğe sahip kaynağın hidroelektrik enerjisi olduğunu görmekteyiz. Çizelge 3.6 enerji kaynakları için verimlilik aralıklarını göstermektedir.

Çizelge 3.6: Enerji kaynaklarının verimlilikleri [94].

Enerji Kaynağı	Verimlilik (%)
Rüzgâr	23-45
Güneş	4-22
Hidroelektrik	>90
Jeotermal	10-20
Biokütle	16-43
Doğalgaz	45-53
Kömür	32-45
Nükleer	30-36

Günümüzde nükleer santrallerde yakıt olarak uranyum kullanılmaktadır. Hiçbir endüstriyel kullanım alanı olmayan uranyum doğada bol miktarda bulunmaktadır. Bir diğer nükleer enerji hammaddesi toryumdur ve ülkemiz dünyanın en zengin toryum yataklarına sahiptir. Mevcut verilere göre Türkiye'nin toplam 9100 ton uranyum (U_3O_8) ve 380000 ton toryum (ThO_2) rezervi bulunmaktadır [95].

Kaynakların elverişlilik düzeyleri ise küresel ölçekte değerlendirildiğinde uzun vadede yenilenebilir kaynaklara yapılacak olan yatırımların önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Çizelge 3.7 yakıtların elverişliliği açısından verileri göstermektedir.

Çizelge 3.7: Enerji kaynaklarının tahmini elverişlilik süreleri [96].

Enerji Türü	Bağımlılık	Elverişlilik (Yıl)
Petrol	Dış	40-45
Kömür	Dış / Yerel	200-250
Doğalgaz	Dış	60-65
Güneş	Yerel	-
Rüzgâr	Yerel	-
Nükleer	Dış	200-250

Çeşitli enerji kaynaklarının artılarını ve eksilerini karşılaştırırken, genellikle gözden kaçan bir konu kapasite faktörleridir. Kapasite faktörü bir güç kaynağının performansının zaman içerisinde toplam güç potansiyelinin yüzdesi olarak ölçüsüdür. Kapasite faktörü 50% olan bir enerji santrali ekonomik servis ömrünün %50'sinde 100% güçte çalışabilecektir. Bir başka ifadeyle bu tarz bir enerji santrali ekonomik servis ömrünün tamamında (100%) 50% güçle çalışabilecektir.

Kapasite faktörü sadece bir enerji üretim tesisinin performansını yansıttığı için önemli bir parametre değildir aynı zamanda kapasite faktörünün yüksek olması daha

istikrarlı bir elektrik şebekesini temsil etmektedir. Bir doğalgaz türbini kapatıldığında şebeke şu şekilde etkilenecektir: Şebeke üzerindeki talep veya yük aynı kalacaktır fakat gücün bir başka yerden gelmesi gerekecektir, mesela farklı bir jeneratörden bu sağlanabilir. Yüksek kapasite faktörlü enerji santralleri değerli ve güvenilirlerdir çünkü şebekeyi çok nadiren zorlarlar. Sonuç olarak düşük bir kapasite faktörü ile sağlanan bir güç büyük olasılıkla gücün düşük olduğu veya üretimin olmadığı dönemlerde kesintiye uğramaması için çeşitli ve gereğinden fazla yedekleme sistemlerine ihtiyaç duyacaktır. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Enformasyon İdaresi'nin (EIA) 2007 yılı çalışmasında belirlemiş olduğu faktörler şu şekildedir:

- Kombine Çevrimli Doğal Gaz Santrali: 10%-15%
- Petrol: 10%-15%
- Hidroelektrik: 35%-40%
- Yenilenebilir (Rüzgâr): 20%-40%
- Yenilenebilir (Güneş): 10%-20%
- Kömür: 70%-80%
- Nükleer: 80%-90%

Görüldüğü üzere kapasite faktörleri önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir.

Çoğu gaz türbinleri normal yük durumunda doğal gazın yüksek maliyeti nedeniyle boşa dururlar. Klimaların çalıştığı sıcaklığın en yüksek olduğu yazın, talep (ve maliyet) yükselir ve türbinler son güçte çalıştırılırlar. Aksi takdirde türbinleri çalıştırmak maliyet etkin değildir. Doğal gaz fiyatlarındaki değişiklik doğru orantılı olarak kapasite faktörlerine de yansımaktadır.

ABD şu anda elektriğinin yarısından fazlasını kömür temelli santrallerden elde etmektedir. Kapasite faktörü 73,6% olan kömür santrali güvenilir bir baz yük üretimini temsil etmektedir. Baz yük santrali ise 7/24 çalışması beklenen bu enerji santrallerini ifade eden bir terimdir. Kayıp olan 26,3% ise ülkenin kömür santrallerindeki bakım eksikliğinden ve malzemelerin elverişliliğini yitirmesinden kaynaklanan donanım problemlerinden kaynaklanmaktadır [98].

Yenilenebilir enerji kaynaklarında ise kapasite faktörü 40% olarak belirtilmektedir. Rüzgâr, güneş ve biokütle kullanımının bariz çevresel yararları olduğu gibi bu kaynakların düşük veya hiç olmayan yakıt maliyetleri özelliklerine rağmen düşük kapasite faktörünün kesikli (aralıklı enerji üretimi) doğasından dolayı üretilen

elektriğin yedeklenmesi gerekmektedir (rüzgâr ve güneş için). Bu da bir enerji yedekleme sistemine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu anlamda bu gücün santrallerin enerji üretimi yapmadığı servis ömrünün 60%'ı için yedeklenmesini sağlayacak büyük kapasitelerde bataryaların sistemle uyumu zorunlu kılmaktadır. Baz yük üretimi olmadan yenilenebilir enerji kaynakları güvenilir olmayan bir güç şebekesini oluşturarak ülkeler için yıkıcı sonuçlar oluşturabilirler.

Nükleer enerji kapasite faktörünün diğer bütün enerji kaynaklarından bariz bir şekilde üstün olduğu görülmektedir. 1979 yılında ABD'nin nükleer enerji santrali ortalama kapasite faktörü 58,4% seviyelerindeydi. Bu dönemde santrallerin güvenlik donanımlarının bakımlarındaki yönetmelikler çok fazla katı değildi ve bu da birçok planlanmayan kapatmalara sebebiyet veriyordu. 1979 yılında yaşanan Three Mile Island (ABD-Pennsylvania-Harrisburg) olayı olarak bilinen kazada reaktör besleme suyunun kaybı nedeniyle reaktör soğutma sistemi devre dışı kalmış ve bunu takiben çekirdek erimesi sonucu iyot 131 kaçağı olmuştur. Nükleer kazadan sonra Nükleer Enerji İşletmecileri Enstitüsü kurulmuş ve daha sıkı standartlar yürürlüğe alınmıştır. Şu anda ise beklenmeyen bir donanım arızasına hiçbir tolerans gösterilmemektedir ve ülke çapındaki nükleer reaktörler filonun sürekli yaşlanmasına rağmen çok daha iyi bir kapasitede faaliyet göstermektedirler.

Yakıt ikmal kesintilerinde de bir iyileşme elde edilmiştir. Eskiden her 2-3 yılda bir, reaktörler kapatılıp reaktör içerisinde bulunan yakıtın yarısı veya üçte biri kadar daha yakıt ikmali yapılırdı. 1970 ve 1980'lerde bu işlem aylarca sürerdi. 1990'larda yakıt ikmal kesintisi ortalama süresi 104 gündü. Şimdi ise bir reaktörün ortalama 38 günde güvenilir, hızlı ve verimli bir şekilde yakıt ikmali yapılabilmektedir. Diğer enerji santrallerinin bu süreden çok daha az bir zamanda yakıt ikmalleri gerçeğini de unutmamak gerekir. ABD çerçevesinden bakıldığında, 1990 yılından bu yana nükleer enerji santrallerinin kapasite faktörlerindeki gelişmeler nükleer enerjiyi her yıl 230 milyar kWh elektrik sağlayarak günümüzdeki en güvenilir elektrik kaynağı olarak lanse edilmesine olanak tanımaktadır.

3.5.2. Ekonomik analiz

Bu bölümde *yatırım, işletme ve bakım, yakıt, elektrik üretim maliyetleri ve işletim süreleri* faktörleri tez kapsamında incelenecek enerji türleri çerçevesinde

değerlendirilecektir. OECD ve ABD Enerji Bakanlığının hazırladığı Uluslar arası Enerjiye Bakış 2007 raporuna göre enerji maliyetleri Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8: Enerji kaynaklarının yatırım-elektrik üretim maliyetleri [99].

Enerji Türü	Yatırım Maliyeti (\$/kWh)	Elektrik Üretim Maliyeti (\$cent/kWh)
Kömür	1300-1600	4,8
Karbon Filtreli Kömür	1800-2000	6,5-7,7
Petrol	1500-2000	6,0-7,0
Doğalgaz	600-700	4,6-6,1
Nükleer	3000-5000	9,6
Rüzgâr	1000-1200	4,0-6,0
Güneş (Fotovoltaik)	4500-5500	18-40
Hidroelektrik	1500-2500	2,9
Jeotermal	2000-3400	5,3

Çizelge 3.9’da OECD tarafından gerçekleştirilen geniş ölçekli bir çalışmanın detayları görülmektedir.

Çizelge 3.9: Enerji kaynaklarının ekonomik analizi [99].

Parametreler	Nükleer	CCGT	Kömür	Kömür (CCS)	Rüzgâr	Güneş (PV)
Kapasite (MW)	1400	480	750	474,4	45	1
Gecelik Yatırım Maliyeti (\$/kW)	4101,25	1068,97	2133,49	3873,51	2348,64	6005,79
İşletme-Bakım Maliyetleri (\$/MWh)	14,74	4,48	6,02	13,61	21,92	29,95
Yakıt Maliyetleri (\$/MWh)	9,33	61,12	18,21	13,04	-	-
CO ₂ Maliyetleri (\$/MWh)	-	10,54	23,96	3,22	-	-
Verimlilik (%)	33%	57%	41%	35%	-	-
Kapasite Faktörü (%)	85%	85%	85%	85%	26%	13%
Teslimat Süresi (yıl)	7	2	4	4	1	1
Ekonomik Servis Ömrü (yıl)	60	30	40	40	25	25

Çizelge 3.10’de ve 3.11’de bazı risk faktörleri belirtilmiş olup, bunların değerlendirme aşamasında ele alınması gerekmektedir.

Çizelge 3.10: Teknoloji risklerinin nitel değerlendirilmesi [99].

Teknoloji	Birim Büyüklük	Tedarik Süresi	Sermaye Maliyeti	İşletme Maliyeti	Yakıt Maliyeti	CO ₂ Emisyonu	Regülasyon Riski
Doğalgaz	Orta	Kısa	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
Kömür	Büyük	Uzun	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Nükleer	Çok Büyük	Uzun	Yüksek	Orta	Düşük	-	Yüksek
Hidro	Çok Büyük	Uzun	Çok Yüksek	Çok Düşük	-	-	Yüksek
Rüzgâr	Küçük	Kısa	Yüksek	Orta	-	-	Orta

Çizelge 3.11: Enerji Üretiminde Yatırımcılar İçin Temel Risk Faktörleri [99].

Santral Riski	Pazar Riski	Regülasyon Riski	Politik Risk
İnşaat Maliyetleri	Yakıt Maliyeti	Pazarın Oluşturulması	Çevresel Standartlar
Tedarik Süresi	Talep	Rekabet Kuralları	CO ₂ Kısıtlamaları
İşletme Maliyeti	Rekabet	Transmisyon Kuralları	Spesifik Teknolojilere Destek (Yenilenebilir, Nükleer, CCS)
Elverişlilik/Performans	Elektrik Fiyatı	Lisans ve Onaylama	Enerji Verimliliği

Yatırım ve işletme-bakım maliyetlerinin belirli bir oran üzerinden indirilmesi ve seviyelendirilmesi ile enerji santralindeki üretilen enerjinin kWh başına toplam maliyeti hesaplanır. Gerekli formül aşağıda verilmiş olup denklem içerisindeki bilinmeyenler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca maliyet yapıları ve 5% - 10% iskonto düzeyleri için Çizelge 3.12’de verilmiştir. Enerji türlerinin maliyet yapısı birtakım enerji kaynakları için Çizelge 3.13’te özet olarak görülmektedir.

$$LEC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(I_t + M_t + F_t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{(E_t)}{(1+r)^t}} \quad (3.8)$$

Çizelge 3.12: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti denklem bileşenleri [99].

Parametreler	Tanımları
LEC	Seviyelendirilmiş toplam maliyeti (Levelised electricity generation cost)
I_t	t yılındaki yatırım harcamaları
M_t	t yılındaki işletme ve bakım harcamaları
F_t	t yılındaki yakıt harcamaları
E_t	t yılındaki elektrik üretim miktarı
r	İskonto oranı (5% veya %10)
n	Sistemin işletim süresi (20-40 sene için hesaplanır)

Çizelge 3.13: Enerji türlerinin maliyet yapısı [99].

İskonto	Maliyet Parametreleri	Nükleer	Kömür	Kömür (CCS)	Doğal Gaz	Rüzgâr	Güneş
5%	Toplam Yatırım	58,60%	25,90%	51,60%	11,10%	76,50%	91,70%
	İşletme ve Bakım	25,20%	9,20%	21,90%	5,20%	22,70%	7,30%
	Yakıt	16,00%	27,90%	21,00%	71,30%	0,00%	0,00%
	CO ₂	0,00%	36,80%	5,20%	12,30%	0,00%	0,00%
	Servisten çıkarma (Decommissioning)	0,30%	0,10%	0,20%	0,10%	0,80%	1,00%
10%	Toplam Yatırım	75,60%	39,80%	66,80%	17,30%	83,80%	94,90%
	İşletme ve Bakım	14,90%	7,50%	15,10%	4,90%	16,00%	4,90%
	Yakıt	9,50%	22,80%	14,50%	66,40%	0,00%	0,00%
	CO ₂	0,00%	29,90%	3,60%	11,40%	0,00%	0,00%
	Servisten çıkarma (Decommissioning)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,20%	0,30%

Mali açıdan farklı kaynaklardaki enerji üretim maliyetlerini karşılaştırmak için kWh başına maliyeti hesaplamak geçerli bir yol olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem birçok değişkeni (kapasite faktörü ve faydalı ömür/ekonomik servis ömrü) kontrol etmeyi kolaylaştırmaktadır.

Enerjinin birim kWh başına maliyeti hesaplanırken aşağıdaki parametreler dikkate alınır:

- İnşaat maliyeti / kWh
- Üretim maliyeti / kWh
- Üretim maliyeti / kWh
- Servisten çıkarma maliyeti / kWh
- Toplam maliyet / kWh

Enerji kaynağının temel maliyet bileşenleri inşaat ve üretim maliyetleridir. Toplam maliyet inşaat, üretim ve servisten (hizmetten) çıkarma maliyetlerinin toplanmasıyla elde edilebilir.

Faydalı kullanım ömrünün sonuna gelmiş olan nükleer tesislerin hizmetten çıkarılmaları ile ilgili görüşler, pratik olmayacağı, maliyetinin çok yüksek olacağı ve çok fazla miktarda atık oluşacağı düşünceleri ile sık sık tartışılmıştır. Güç reaktörü gibi büyük bir yapının tamamen sökülmesinin büyük miktarda hurda meydana getireceği bir gerçektir, fakat bu hurdaların çoğu radyoaktif değildir ve tekrar kullanılabilir. Hizmetten çıkarmanın maliyeti konusunda çözüm ise üretici kuruluşların bu maliyeti elektrik üretim maliyetine eklemeleri ve ayrı bir fon yaratmaları ile sağlanmaktadır. Nükleer santraller de dâhil olmak üzere enerji tesislerin sökülmesi ve yeşil alana dönüştürülmesi maliyeti santralin ilk yatırım maliyetinin yaklaşık %10-20'sine karşılık gelmektedir[100].

Birçok enerji üretim tesisi inşaatı maliyetlidir. Bir enerji kaynağının değerine göre ne kadar daha fazla pahalı olduğunu anlamak için birim kWh başına üretim maliyeti hesaplanmalıdır. Bu da aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilebilir:

$$\frac{\text{Toplam İnşaa Maliyeti}}{[(MW \times 1000) \times (\text{Ekonomik Servis Ömrü}) \times (\text{Kapasite Faktörü} \times 8760)]} \quad (3.9)$$

MW değerinin 1000 ile çarpılması ile KW dönüşümü ve kapasite faktörünün 8760 ile çarpılması ile bir yıl içerisindeki saat dönüşümü yapılmış olur.

Enerji sistemlerinin maliyet analizlerini daha iyi anlayabilmek adına tez kapsamında değerlendirilecek olan enerji kaynaklarından bir kısmının maliyet analizleri fikir vermesi amacıyla detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

- Güneş Enerjisi Maliyeti Analizi

Çizelge 3.14 Güneş Enerjisine dayalı sistemlerin maliyet detaylarını göstermektedir. Üretilen elektrik enerjisinin maliyet hesapları santralin kurulacağı bölgeye göre değişkenlik göstermektedir. Burada santralin kurulacağı alanın güneşlenme süresi ve küresel radyasyon değerleri göz önüne alınarak seçilmesi gerektiğinin önemli olduğu bilinmelidir.

Çizelge 3.14: Güneş enerjisi sistemleri verim-maliyet değişimi [1].

Kategori	Teknoloji Türü	Sistem Verimi		Maksimum Çıkış Sıcaklığı	İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Enerji Maliyeti	
		Elektrik	Isı			Elektrik (\$/kWh)	Isı (\$/kWh)
Kolektör	Düzlemse I	-	50-70	80	250-1000	-	0,0013-0,004
	Parabolik Oluk	14	46	380	2800 kWe	0,15	0,0053
	Parabolik Çanak	24	79	700	5000 kWe	0,28	-
	Merkezi Alıcı	15	46	600-700	3000 kWe	0,16	0,004
Panel/Pil	Tek Kristal Silisyum	12	-	-	6000 kWe	0,29	-
	Çok Kristal Silisyum	10	-	-	6000 kWe	0,29	-
	Tek İnce Film	4	-	-	5000 kWe	0,25	-
	Çoklu İnce Film	7	-	-	5000 kWe	0,24	-

Mevcut koşullar incelendiğinde güneş enerjisinin diğer yenilenebilir veya fosil yakıt kullanan santralleri destekleyici bir teknoloji olarak kullanılmasının daha uygun olduğu yorumu yapılabilir.

- Rüzgâr Enerjisi Maliyet Analizi

Rüzgâr enerjisi yatırım kararı alınırken öncelikle yatırımın efektif olabilmesi için bir takım dikkat edilmesi gereken detaylar bulunmaktadır. Yapılacak olan fizibilite çalışmaları son derece önem arz etmektedir.

- 50 metre yükseklikteki rüzgâr hızı 7 m/s ve üzeri olmalıdır.
- 50 metre yükseklikteki rüzgâr santralının kapasite faktörü %35 veya üzeri olmalıdır.
- Kurulacak olan santral trafo merkezlerine veya enerji iletim hatlarına yakın bölgelerde inşa edilmelidir.
- Rüzgâr türbinlerinin ortalama ekonomik servis ömür 25 yıl olarak kabul edilmektedir.

Bir rüzgâr santralinden elde edilecek olan mümkün güç miktarı daha önceki bölümde tanımlanmış olup şu şekildeydi:

$$P_A = \frac{1}{2} \times C_p \times \rho \times A \times v^3 \quad (3.10)$$

Bu bilgiye ilave olarak bir rüzgâr santralının yıllık üretebileceği enerji miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır (Det Norske Veritas, 2002):

$$E_{YIL} = N_0 \times \int_{V_{min}}^{V_{max}} P(u) \times F(u) \times du \quad (3.11)$$

$P(u)$: Türbin güç eğrisi fonksiyonu

$F(u)$: Bölgenin rüzgâr dağılım fonksiyonu

V_{min} : Türbinin çalışmaya başladığı rüzgâr hızı

V_{max} : Türbinin durduğu rüzgâr hızı

N_0 : 8760 saat/yıl

1 MW gücünde ve %35 kapasite faktörüne sahip bir rüzgâr türbini için maliyet analizi şu şekilde yapılabilir [101]:

- İlk yatırım bedeli: 1750 \$/KW (Yatırım bedeli ve lisans bedelleri dâhildir)
Günümüzde 1 MW ve üzeri rüzgâr türbinlerinin ortalama türbin fiyatı 1400 \$/KW olarak yansıtılmaktadır.
- Türbin montaj bedeli ve diğer masraflar (bölge rüzgâr analizi, projelendirme, v.s) yaklaşık olarak 350 \$/KW.
- Toplam ilk yatırım bedeli: 1750 \$/KW x 1000 KW = 1750000 \$ = 1350000 €
- Yıllık elektrik üretim miktarı: 1000 KW x 365 x 24 x 0,35 = 3066000 kWs
- Üretilen elektriğin YEK kapsamında satılması durumunda satış bedeli: 0,055 €/kWs olur.
- İşletme maliyeti yaklaşık olarak 0,010 €/kWs olarak alınır.
- Yıllık üretilen elektriğin karı: 3066000 kWs x (0,055-0,01)€/kWs
- Yıllık kar: 137970 Euro
- Yatırımın geri dönüş süresi: 1350000 Euro / 137970 Euro = 9,8 yıl

- Jeotermal Enerji Maliyet Analizi

Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde öncelikle rezervuarın sıcaklığına bağlı olarak en uygun türbinin seçimi yapılmalıdır. Bunlar; Atmosferik Eksozlu Konvansiyonel Buhar Türbinleri, Yoğunlaştırıcı Konvansiyonel Buhar Türbinleri, Çift Kademeli Buharlaştırma, Çoklu Buharlaştırma, İkili Çevrim Santralleri ve Hibrit Fosil Jeotermal Santraller olarak adlandırılırlar. İkili Çevrim Santralleri en çok kullanılan türbin türleridir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi şu şekilde ifade edilmektedir:

$$MW_e = \text{Debi} \times \Delta T \times \text{Joule Katsayısı} \times 10^{-3} \quad (3.12)$$

Atım sıcaklığı: 85 °C

ΔT sıcaklığı: Üretim sıcaklığı – Atım sıcaklığı

Joule katsayısı: 4,18

1 MW gücünde, bu gücü üretecek debi ve rezervuar sıcaklığında olan ve %85 kapasite faktörüne sahip bir jeotermal türbini için maliyet analizi şu şekilde yapılabilir [101]:

- İlk yatırım bedeli: 2500 \$/KW (Yatırım bedeli ve lisans bedelleri dâhildir)
Ülkemizde 2005 öncesinde işletmeye alınan jeotermal santrallerinin yatırım maliyetlerinin her şey dâhil ortalama 1500-2000 \$/KW arasında olduğu varsayılmaktadır. Buna ek olarak küresel enerji piyasasında son iki yolda girdi fiyatlarına paralel olarak güç santrali yatırım maliyetleri %30-50 oranında artış göstermiştir. Bu gelişmeler çerçevesinde ortalama olarak bir jeotermal santral yatırım maliyeti toplam olarak 2500 \$/KW öngörülmüştür.
- Toplam ilk yatırım bedeli: 2500 \$/KW x 1000 KW = 2500000 \$ = 1900000 €
- Yıllık elektrik üretim miktarı: 1000 KW x 365 x 24 x 0,85 = 7446000kWs
- Üretilen elektriğin YEK kapsamında satılması durumunda satış bedeli: 0,055 €/kWs olur.
- İşletme maliyeti yaklaşık olarak 0,011 €/kWs olarak alınır.
- Yıllık üretilen elektriğin karı: 3066000 kWs x (0,055-0,011)€/kWs
- Yıllık kar: 327624 Euro
- Yatırımın geri dönüş süresi: 1900000 Euro / 327624 Euro = 5,8 yıl

- Hidroelektrik Enerji Maliyet Analizi

Hidroelektrik santrallerinin güçlerine göre yapılan sınıflandırma şu şekildedir:

- a) $P > 100 \text{ MW}$: Büyük hidrolik tesisler
- b) $20 \text{ MW} < P < 100 \text{ MW}$: Orta büyüklükteki hidrolik tesisler
- c) $1 \text{ MW} < P < 20 \text{ MW}$: Küçük hidrolik tesisler
- d) $20 \text{ KW} < P < 1000 \text{ KW}$: Mini hidrolik tesisler
- e) $P < 20 \text{ KW}$: Mikro hidrolik tesisler

Hidroelektrik enerjisi su temelli bir kaynaktan elde edildiği için akışkanlar mekaniğinden yola çıkılarak maliyet analizi açıklanacaktır.

Debi, bir akarsuyun belirli bir en kesitinden birim zamanda geçen su miktarı olarak tanımlanır ve şu şekilde hesaplanır:

$$Q = V \times A \quad (3.13)$$

A: Akarsuyun ortalama kesit alanı (m^2)

V: Akarsuyun ortalama hızı (m/s)

Q: Ortalama debi (m^3/s)

Bir akarsudan potansiyel olarak güç elde edebilmek için gerekli olan temel bileşenler akım ve yüksekliktir.

$$P = E \times H \times Q \times g; g: \text{Yerçekimi ivmesi } (9,81 \text{ m/s}^2) \quad (3.14)$$

P: Elektrik gücü (KW)

E: Verimlilik (%75 - %88)

H: Yükseklik (m)

Q: Akarsu ortalama debisi (m^3/s)

1 MW gücünde, bu gücü üretecek debi ve hızı olan ve %80 kapasite faktörüne sahip bir hidroelektrik türbini için maliyet analizi şu şekilde yapılabilir [101]:

- İlk yatırım bedeli: 1250 \$/KW (Yatırım bedeli ve lisans bedelleri dâhildir)
Günümüzde hidroelektrik türbin fiyatları 750-1200 €/KW aralığında bulunmaktadır. Ortalama olarak 1000 €/KW olarak alınabilir. Montaj bedeli

ve diğer masraflar (debi analizi, projelendirme, v.s) yaklaşık olarak %25 olup, bu da $1000 \times 0,25 = 250 \text{ €/KW}$ olarak elde edilir.

- Toplam ilk yatırım bedeli: $1250 \text{ €/KW} \times 1000 \text{ KW} = 1250000 \text{ €}$
- Yıllık elektrik üretim miktarı: $1000 \text{ KW} \times 365 \times 24 \times 0,80 = 7008000 \text{ kWs}$
- Üretilen elektriğin YEK kapsamında satılması durumunda satış bedeli: $0,055 \text{ €/kWs}$ olur.
- İşletme maliyeti yaklaşık olarak $0,010 \text{ €/kWs}$ olarak alınır.
- Yıllık üretilen elektriğin karı: $7008000 \text{ kWs} \times (0,055 - 0,010) \text{ €/kWs}$
- Yıllık kar: 315360 Euro
- Yatırımın geri dönüş süresi: $1250000 \text{ Euro} / 315360 \text{ Euro} = 4 \text{ yıl}$

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa;

- 1- Güneş enerjisi teknolojisinin olgunluk düzeyinin diğer teknolojilere göre daha geride olmasından dolayı maliyetler çok yüksek ve yatırımın geri dönüş süresi oldukça uzundur.
- 2- Rüzgâr enerjisi sistemleri düşük işletme maliyetlerinden dolayı geri dönüş süreleri ortalama 10 yıl olarak görülmektedir. Devletin YEK kanunu çerçevesinde de 10 yıllık bir alım garantisi verdiği bilinmektedir. Bununla beraber teknolojik anlamda olgunluk düzeyine erişmiş olması da birim üretim maliyetlerini aşağıya çekmektedir. Ortalama ekonomik servis ömrünün 25 yıl olduğu rüzgâr türbinlerine yatırım yapılması oldukça maliyet etkindir.
- 3- Jeotermal sistemlerde düşük işletme maliyetleri ile 6 yıllık bir geri dönüşüm süresi bulunmaktadır. Devletin YEK kanunu çerçevesinde de 10 yıllık bir alım garantisi verdiği bilinmektedir. Bu enerji kaynağı yatırım açısından oldukça verimlidir.
- 4- Hidroelektrik temelli sistemlerde düşük işletme maliyetleri ile geri dönüş süresi yaklaşık 4 yıl olarak yatırım açısından avantajlı bir kaynaktır.

3.5.3. Çevresel analiz

Bu bölümde enerji kaynaklarının *çevresel riskler* ve *çevresel etkiler* çerçevesinden değerlendirilmesi amacıyla bu alanda karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

Günümüzde artık yeşil enerji kavramının öneminin ağırlık kazanması ve devletlerin çevreye minimum zarar verecek enerji üretebilmeyi sürdürülebilir kılma amacıyla

aldıkları kararlar doğrultusunda atılan adımlar küresel enerji sektöründe çevre boyutunun ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Karbondiyoksit emisyonlarının en önemli kriterlerden birisi olduğu düşünüldüğünde Çizelge 3.15 bize genel bir karşılaştırma yapmamıza olanak sağlamaktadır.

Çizelge 3.15: Elektrik üretimi başına düşen CO₂ emisyon değerleri [102], Sayfa: 127

Enerji Kaynağı	CO₂ Emisyonu (gr/kWh)
Hidroelektrik	4
Rüzgâr	20
Nükleer	25
Güneş Pili	200
Doğalgaz	380
Petrol	760
Taş Kömürü	790
Linyit	910

Aşağıdaki örnek ise nükleer ile termal enerji kaynakları arasında bir değerlendirme yapabilmemiz adına bir fikir vermektedir.

Çizelge 3.16: 1000 MW kapasiteli nükleer - kömür santrallerinin karşılaştırması [102], Sayfa: 127.

Yakıt, Atık ve Emisyonlar	Nükleer	Kömür
Yakıt	27 ton	2,6 milyon ton
Yüksek Radyoaktif Atık	3-5 m ³	-
Orta-Düşük Seviyeli Radyoaktif Atık	800 ton	-
CO ₂	-	6,5 milyon ton
Kül	-	300000 ton
NO _x	-	20000 ton
SO ₂	-	4000 ton
Ağır Metal	-	400 ton

Nükleer enerjinin çevresel etkileri diğer kaynaklara oranla çok düşük seviyededir.

Çevreye karşı olan faydaları şu şekilde özetlenebilir [95]:

- Dünya genelindeki tüm nükleer güç santrallerinden bir yılda çıkan atıkların miktarı sadece 12000 tondur.
- Bir nükleer santralin çevresinde yaşayan insanlara yüklediği yıllık doz doğal radyasyonun çok altındadır. 104 reaktörün ABD’de bir kişiye yüklediği fazladan doz 0,001 mSv/yıl (ısınım oranı) iken, 1000 MW gücündeki

kömürle çalışan termik santralin bacasından çıkan radyoaktif parçacıkların yükü 0,004 mSv/yıl'dır.

- Nükleer santraller, CO₂ emisyonuna neden olmazlar. Aksine dünyada kurulu bulunan nükleer santraller yılda 2300 milyon ton CO₂ emisyonuna engel olurlar.
- SO₂ emisyonuna neden olmaz. Aksine dünyada kurulu bulunan nükleer santraller yılda 42 milyon ton SO₂ emisyonuna engel olurlar.
- NO_x emisyonuna neden olmazlar. Aksine dünyada kurulu nükleer santraller yılda 9 milyon ton NO_x emisyonuna engel olurlar.
- Atık kül üretimine neden olmazlar. Aksine dünyada kurulu bulunan nükleer santraller yılda 210 milyon ton kül üretimine engel olurlar.

Çizelge 3.17 ise enerji kaynaklarının çevresel etkilerini detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Buradan görüleceği üzere çevreye minimum etkiyi yapanlar yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji olarak dikkat çekmektedir.

Çizelge 3.17: Mevcut enerji üretim sistemlerinin çevresel etkileri [95], Sayfa: 4

Enerji Türü	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	X	X	X	X	X	-
Kömür	X	X	X	X	X	X
Doğalgaz	X	X	X	-	X	-
Rüzgâr	-	-	-	-	X	-
Nükleer	-	-	X	X	-	X
Hidrolik	X	-	X	X	-	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	X	X	-	-

3.5.4. Sosyal analiz

Bu bölümde ise daha çok enerji kaynaklarının toplumsal alanda ki etkileri üzerine değerlendirmeler ele alınacaktır.

Enerji talebi ve arzı, son yıllarda en çok tartışılan ve küresel ölçekte çözümler aranılan konuların başında belki de birinci sırada gelmektedir. Global anlamda ülkeler, arz güvenliğini ancak enerji üretimlerine hız vererek ve kaynak çeşitliliğine giderek arttırabilecekleri konusunda tartışmasız hem fikirdirler. İstikrarlı

makroekonomik gelişme, ülkelerin elektrik enerjisi talebini etkilemekte, diğer yandan da yeni kapasite ihtiyacını gündeme getirmektedir.

Dünyanın 2030'lu yıllarda nüfusunun 7 milyardan 8,5 milyara, toplam elektrik üretiminin 20 bin Twh'dan 35 bin Twh'a, birincil enerji tüketiminin 12 milyar varil petrol eşdeğerinden 17 milyar varil petrol eşdeğerine ulaşması beklenmektedir. Birincil enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının %8'lerden %20'lere çıkacağı, nükleer enerjinin de %7-8 civarında olacağı gerçeğini bir kenara koyarsak, geriye kalan %72 gibi bir kısmında hala fosil yakıtlardan karşılanmaya devam edeceği gerçeğini ortaya koymaktadır. Bunun da üçte ikisi petrol ve doğal gazdan karşılanıyor olacak. Petrol tüketiminin 83 milyon varil/gün'den 102 milyon varil/gün'e, doğalgazın da 3 trilyon m³/yıldan 4,5 trilyon m³/yıl'a çıkacağı varsayımları yüksek ihtimal olarak öngörülmektedir.

Bu anlamda enerji kaynaklarına olan yatırımlar değerlendirildiğinde sosyal yönden yapılacak olan bir analizin kararda önemli bir etki yaratacağı gerçektir. Çevresel boyutla sosyal boyutun etkileşim içinde olduğu ve birbirinden etkilendiğini, çevresel olarak yararları olan bir enerji kaynağının sosyal anlamda da bir adım daha önde olacağı öngörülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlı ve nükleer temelli enerjiye göre toplumsal anlamda çok daha avantajlı olduğu bir gerçektir. Günümüzde toplumlar tarafından en çok karşı çıkılan enerji türü nükleer enerji olarak dikkat çekmektedir. Bunun yanı sıra fosil yakıtlı enerji kaynaklarının da çevreye zarar veren birçok etkisinin olması da bu enerji kaynağı türünün de yenilenebilir kaynaklara oranla tercih edilmemesine neden olmaktadır.

Sosyal açıdan bakıldığında *benimsenme, istihdam ve iş güvenliği* konuları ön plana çıkmaktadır. Bu üç yönden de incelendiğinde bu kategoride yenilenebilir enerji kaynaklarının çok daha fazla etkili olduğu kolaylıkla söylenebilir. Asıl çekişmenin termik (kömür, petrol, doğalgaz) ve nükleer santraller arasında olacağı belirtilmelidir.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa [103]:

Dört ayrı tipteki santral de büyük ölçüde termal kirlenmeye neden olmaktadır. Bu ise, özellikle su kirliliğini arttırıcı bir etken olarak göze çarpmakta, su içindeki flora-fauna hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Kömürle çalışan termik santrallerle ilgili faaliyetler çevre üzerine daha fazla etkili olmaktadır. Bu tip santrallerin özellikle hava kirliliğini arttırıcı yöndeki etkileri, flora-fauna hayatının bozulmasına, hatta asityağmurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Doğalgazla çalışan termik santraller ve nükleer santraller bu konuda en az olumsuz etkiye sahip tesisler olarak görölmektedir.

Katı atıkların oluşmasına neden olan tesisler kömürle çalışan termik santraller ve nükleer santrallerdir. Kömürün yanmasından sonra oluşan kül büyük miktarda katı atık çıkmasına neden olmaktadır. Uranyumun ancak çok az miktarı reaksiyona girdiğinden gerisinde büyük miktarda katı atık bırakmaktadır. Bu katı atıkların ayrıca radyoaktif halde olması ve canlı hayatını doğrudan etkilemesi de ayrıca önemlidir. (Bu nedenle radyoaktif katı atıklar radyoaktivite durumlarına göre paslanmaz çelikte kaplı tanklarda veya beton kaplarda depo edilmekte ve genellikle jeolojik yapıların altına, tuz yataklarına ve çok derin bölgelerde deniz ve okyanusa gömölme suretiyle nihai uzaklaştırma sağlanmaktadır.)

Bütün enerji santralleri arazi kullanımı üzerinde etki yapmaktadır. Özellikle flora-fauna hayatı doğrudan etkilenmektedir. Özellikle santrallerin enerji nakli faaliyeti arazi kullanımının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak bütün tesisler farklı yönleriyle çevre üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır. Ancak insanların hayatlarını devam ettirebilmeleri ve gelişebilmeleri için bu tesislere ihtiyaç vardır. Bu nedenle çözüm, bütün tesislerin ileri teknolojiler kullanarak çevreyi olumsuz yönde minimum seviyede etkileyecek ve ekolojik dengeyi bozmayacak önlemlerin alınmasıyla kurulmasıdır.

3.6. Tasarlanan Bulanık AHP Yapısı Analizi

En iyi enerji kaynağı seçimi probleminde öncelikle neden Bulanık AHP yönteminin kullanıldığı detaylı bir şekilde nedenleri ile birlikte aşağıda açıklanmıştır:

- Birçok karar verme probleminde karar vericilerin yargıları/yorumları kesin olmamakta ve çoğu zaman kriterlere ait net/güncel sayısal verilerin elde edilmesi güç olmaktadır. Bir başka deyişle, karar sürecinde dikkate alınan ölçütlerin ve alt ölçütlerin kesin verilerle belirlenemediği, sözel ifadelerle belirlenebildiği, ya da uzmanların sezgilerine ve deneyimlerine dayalı olduğu durumlarda Bulanık AHP kullanılmaktadır.
- Karar destek sistemlerinin belirsizliklerinin arttığı durumlarda Bulanık AHP'nin klasik AHP'ye göre daha üstün olduğu bilinmektedir. Bunun sebepleri ise şu şekilde açıklanmaktadır [91]:
 - AHP karar destek problemlerinde en çok tercih edilen metotlardan biri olmasına rağmen bazı zayıf yönleri bulunmaktadır.

AHP, iyi tanımlanmış ve belirlenmiş kesin ifadelerin olduğu karar verme problemlerinde kullanıldığı takdirde daha doğru sonuçlar alınan bir yöntemdir. Karar vericinin öznel değerlendirmesinin/tercihinin AHP'nin sonuçları üzerinde büyük etkisi vardır. AHP belirsizlik ortamlarında kişilerin kararlarını tam olarak ifade edememelerinden kaynaklanan yanlışlıklara sebep olabilir.

- Genel olarak klasik AHP ve Bulanık AHP karşılaştırıldığında aşağıdaki değerlendirmeler önem kazanmaktadır:

Ölçütlerin ve alternatiflerin fazla olduğu durumlarda AHP'nin uygulanması bazı olumsuzluklar oluşturabilir. Bunun en büyük nedeni iseyapılan ikili karşılaştırmaların fazla olması ve bunun da karar vericide bezginlik yaratması ve aşırı zaman tüketmesidir. Bulanık AHP'de, klasik AHP yöntemine göre ikili karşılaştırma dilsel ifadelerle daha kolay ve tutarlı bir şekilde yapılabilir. AHP metodunda tutarlılığı bir şekilde ölçebilme imkânı olmasına rağmen bulanık AHP'de tutarlılığı ölçebilecek bir kontrol mekanizması modelin yapısında bulunmamaktadır. Bir veri tabanı kullanılarak bulanık ortamlarda da tutarlılık sağlanabilir [39].

- Enerji alanındaki karar verme problemlerinde **“belirsizlikler”**:
 - Kriterlere ait sayısal verilerin genelleştirilmesi (Parametrelere ait değerler aralıklı, örneğin; yatırım maliyeti: 1000-2000 \$/kWh)

- Kriterlere ait sayısal verilerin güncelliği
 - Kriterlerin sayısallaştırılma zorluğu (Özellikle sosyal ve çevresel temelli olanlar, belli bir sayısal ölçüte göre kıyaslanabilecek sayısal standardın az olması ya da olmaması, değerlendirmenin karar vericiye göre değişmesi)
 - Özellikle enerji alternatifleri seçimi problemlerinde kurulan modeller çok fazla ölçütesahip olduğu için ve alternatif sayısına göre de değerlendirme derinleştiği için belirsizlik ortamının en fazla olduğu alanlardan biri olarak dikkat çekmektedir ki literatürde bizi bu anlamda doğrulamaktadır [48-57].
- Bu tez kapsamında kurulan yapıda ele alınan bütün ölçütleri aşağıdaki gibi iki farklı yaklaşımla ayırabiliriz:
- Ölçütlerin değerlendirilmesinde **nicel-nitel** ve **nesnel-öznel** ayrımının önemli bir etkisi bulunmaktadır. Genellikle teknik ve ekonomik ölçütler nicel karakterde olsa da bunlara ait alt ölçütlerdeki sayısal verilerin kesinliği ya da ölçümlerin güncelliği, kriterlerin öznel olarak değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu sebeple, tez kapsamındaki her ölçüt sübjektif karakterde olduğu varsayılarak Bulanık AHP yapısına uyarlanmıştır.
 - Örneğin, kaynak elverişliliği ölçütü, enerji kaynağının elverişli bir şekilde kullanılabileceği zamanı tanımlamaktadır. Ölçütü yıl olarak alınır ve birçok enerji kaynağı için veriler bir önceki bölümlerde açıklandı. Ancak, bu değerler ilerisi için yapılan tahmini değerler niteliğindedir ve kesin olarak belirli bir süre vermeyebilir. (Belirsizlik durumuna ve nicel-nesnel ilişkisine bir örnek)
 - Bununla birlikte kalite kriteri, teknolojik anlamda, enerji kaynağından yararlanılabilmesi için kullanılan teknolojik sistemlerin güvenilirlik ve dayanıklılık perspektifinden incelenip bütünleştirilmesi olarak tanımlanmıştır. Bu kriteri kullanmadaki temel amaç o enerji kaynağına ait teknolojik sisteme teknolojik anlamda ne kadar güvenilebileceğini anlamaktır. Ölçüt olarak enerji kaynakları için kullanılan teknolojilerin son durumları, teknolojilerin birbirleri ile fiyat anlamındaki rekabet edebilirlik düzeyleri temel alınmıştır. Bu

kriterin değerlendirilmesinde herhangi bir sayısal veriden yola çıkılmamış tamamen küresel enerji pazarındaki eğilimler göz önünde bulundurularak karar sürecine yansıtılmıştır. (Belirsizlik durumuna ve nicel-nesnel ilişkisine bir örnek)

Kısaca bu çalışmada tanımlanan her kriter nicel-nitel karakterine bakılmaksızın nesnel-öznel ayrımı yapılarak Bulanık AHP karar verme sürecinde kullanılmıştır. Üçgensel bulanık sayılarla yapılan analizde karar vericiye seçimde esneklik sağlayarak, kararın bu belirsizlik durumunda tutarlılığını korumaktadır.

3.7. Tasarlanan Bulanık AHP Algoritması

Bu bölümde tez kapsamında uygulanan Bulanık AHP yöntemi aşamalı olarak anlatılmıştır. Excel’de oluşturulan yapı çerçevesinde amaç bakımından tüm ana ölçütlerin ikili karşılaştırması örnek olarak alınmıştır.

Çizelge 3.18’de öznel karakterdeki ölçütlerin Bulanık AHP yöntemine göre ikili karşılaştırma matrisi verilmiştir. Her bir ikili karşılaştırma matrisindeki bulanık üçgensel sayıların elde edilmesi Ek F.1 Çizelge F.1’de verilen değerlendirme formu ile uzmanlara sorularak alınan cevapların Bulanık AHP Dilsel skalası çevrimi çerçevesinde elde edilmiştir. Her bir ikili karşılaştırma 8 uzman mühendis ve tez yazarının kararları temel alınarak yapılmıştır. Karar vericilerin değerlendirmelerinin birleştirilmesi ise karar vericilerin her ikili karşılaştırmada o karşılaştırmaya atadığı değerlerin **geometrik ortalaması** alınarak Bulanık AHP sisteminde kullanılmıştır. Modeldeki geometrik ortalaması alınmış tüm ikili karşılaştırmalar matrisleri Ek.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.18: Temel alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	TEKNİK			EKONOMİK			ÇEVRESEL			SOSYAL		
TEKNİK	1,00	1,00	1,00	0,47	0,63	0,87	0,85	1,17	1,57	1,40	1,88	2,40
EKONOMİK	1,14	1,59	2,11	1,00	1,00	1,00	0,96	1,36	1,88	1,78	2,29	2,80
ÇEVRESEL	0,64	0,86	1,17	0,53	0,73	1,05	1,00	1,00	1,00	0,67	0,93	1,28
SOSYAL	0,42	0,53	0,71	0,36	0,44	0,56	0,78	1,08	1,49	1,00	1,00	1,00

1. Aşama:

$\Sigma l, \Sigma m$ ve Σu değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 3.19: Üçgensel bulanık sayıların elde edilmesi – I. adım

Σu					Toplam
	1	0,873580465	1,571910886	2,404989	5,850481
	2,108581663	1	1,882308066	2,796722	7,787612
	1,171832173	1,046081919	1	1,282321	4,500235
	0,712642634	0,562288444	1,485176472	1	3,760108
Toplam					21,89844

Σm					Toplam
	1	0,629960525	1,16652904	1,876143	4,672632
	1,587401052	1	1,36079	2,289428	6,23762
	0,857243983	0,734867246	1	0,925875	3,517986
	0,533008541	0,436790232	1,080059739	1	3,049859
Toplam					17,4781

Σl					Toplam
	1	0,474252441	0,85336452	1,403228	3,730845
	1,144714243	1	0,955948078	1,778447	4,879109
	0,636168379	0,531262665	1	0,673321	2,840752
	0,415802232	0,357561414	0,779835841	1	2,553199
Toplam					14,0039

2. Aşama:

İkili karşılaştırmaların sentetik boyut değerleri hesaplaması

Çizelge 3.20: Üçgensel bulanık sayıların elde edilmesi – II. adım: sentetik boyut

	l	M	u	$1/\Sigma u$	$1/\Sigma m$	$1/\Sigma l$	l	M	u
S_{Teknik}	3,730844823	4,672632109	5,9	0,045665	0,05721447	0,07141	0,17	0,267	0,4178
S_{Ekonomik}	4,879108973	6,237619537	7,8	0,045665	0,05721447	0,07141	0,223	0,357	0,5561
S_{Çevresel}	2,840751703	3,517985941	4,5	0,045665	0,05721447	0,07141	0,13	0,201	0,3214
S_{Sosyal}	2,553199488	3,049858512	3,8	0,045665	0,05721447	0,07141	0,117	0,174	0,2685

$$S_{Teknik} = (3,73; 4,67; 5,9) * (0,046; 0,057; 0,07) = (0,17; 0,27; 0,42)$$

$$S_{Ekonomik} = (4,88; 6,23; 7,8) * (0,046; 0,057; 0,07) = (0,22; 0,36; 0,55)$$

$$S_{Çevresel} = (2,84; 3,51; 4,5) * (0,046; 0,057; 0,07) = (0,13; 0,20; 0,32)$$

$$S_{Sosyal} = (2,55; 3,04; 3,8) * (0,046; 0,057; 0,07) = (0,12; 0,17; 0,26)$$

3. Aşama:

$M_1 = (l_1, m_1, u_1) \leq M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ifadesinin olasılık derecesi hesaplaması

$$V(S_{Teknik} \geq S_{Ekonomik}) = 0,68 \quad V(S_{Teknik} \geq S_{Çevresel}) = 1 \quad V(S_{Teknik} \geq S_{Sosyal}) = 1$$

$$V(S_{Ekonomik} \geq S_{Teknik}) = 1 \quad V(S_{Ekonomik} \geq S_{Çevresel}) = 1 \quad V(S_{Ekonomik} \geq S_{Sosyal}) = 1$$

$$V(S_{Çevresel} \geq S_{Teknik}) = 0,69 \quad V(S_{Çevresel} \geq S_{Ekonomik}) = 0,38 \quad V(S_{Çevresel} \geq S_{Sosyal}) = 1$$

$$V(S_{Sosyal} \geq S_{Teknik}) = 0,51 \quad V(S_{Sosyal} \geq S_{Ekonomik}) = 0,2 \quad V(S_{Sosyal} \geq S_{Çevresel}) = 0,83$$

4. Aşama:

Ağırlık vektörünün elde edilmesi, V değerleri içerisinde minimum değer alınması

$$W' = (0,68; 1; 0,38; 0,2)$$

5. Aşama:

Normalizasyon ile $W' = (0,30; 0,43; 0,17; 0,08)$

3.8. Model Sonuçları

Ek A, Ek B, Ek C, Ek D ve Ek F'de verilen tüm ikili karşılaştırmalar matrisleri için göreceli ağırlıkların hesaplanması işlemleri sırasıyla düzey 1'den düzey 5'e göre aşağıdaki gibi yapılmıştır. Karşılaştırmalar aşağıdaki sıralama göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir:

- 1- Amaç: En iyi enerji kaynağı seçimi – Düzey 1
- 2- Ana Ölçütler: Teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal – Düzey 2
- 3- Alt Ölçütler: (Verimlilik,...), (Yatırım maliyeti,...), (Çevresel riskler,...), (Benimsenme,...) – Düzey 3
- 4- Alt Ölçütler: (Güvenilirlik,...), (CO₂,...) – Düzey 4

5- Enerji Kaynakları: (Fosil, Rüzgar, Nükleer, Hidroelektrik, Güneş, Jeotermal)
– Düzey 5

Burada öncelikle amaca göre (düzey 1) ana ölçütlerin (düzey 2) ikili karşılaştırma matrisleri ele alınmıştır. Daha sonra her ana ölçüte (düzey 2) göre alt ölçütlerinin (düzey 3) ikili karşılaştırmalar matrisleri oluşturulmuştur. Düzey 3'e göre düzey 4 ait ikili karşılaştırmalar matrisleri ve son olarakta düzey 3'e göre düzey 5'in ikili karşılaştırmaları hesaplanmıştır. Düzey 4'te bu şekilde düzey 3'e uyarlanarak elde edilmiştir.

Elde edilen matrisler son olarak her enerji kaynağı için birleştirilerek enerji arz sepeti için en uygun enerji kaynaklarının belirlenmesi sağlanmıştır.

Bu açıklamalara bağlı olarak enerji kaynakları için ana ve alt ölçütler için ağırlık vektörleri Çizelge 3.21, Çizelge 3.22, Çizelge 3.23, Çizelge 3.24 ve Çizelge 3.25'de verilmiştir.

Çizelge 3.21: Her bir enerji kaynağı için teknik alt-ölçütü açısından ağırlıklar

	Teknik Ölçüte Ait Alt-Ölçütler						
	Verimlilik	Kalite	Birim Yakıt Enerji Kapasitesi	Teknolojik Olgunluk Düzeyi	Kapasite Faktörü	Kaynak Elverişliliği	Ağırlık Vektörü
Ağırlık Alternatifler	0,214	0,065	0,231	0,192	0,013	0,284	
Fosil	0,227	0,238	0,418	0,273	0,240	0,000	0,216
Rüzgâr	0,190	0,104	0,000	0,163	0,150	0,321	0,172
Nükleer	0,190	0,456	0,582	0,243	0,290	0,000	0,255
Güneş	0,066	0,000	0,000	0,102	0,085	0,402	0,149
Hidroelektrik	0,198	0,202	0,000	0,218	0,235	0,256	0,173
Jeotermal	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,034

Çizelge 3.21'e göre %28,4 ağırlıkla “*kaynak elverişliliği*” alt-ölçütü “*teknik*” ana ölçütünün en önemli alt-ölçütüdür. Bunu %23,1 ağırlıkla “*birim yakıt enerji kapasitesi*” takip etmektedir. Toplamda teknik olarak en avantajlı kaynağın önemli bir farkla (%25,5) “*nükleer enerji*” olduğu, “*fosil temelli enerjinin*” (%21,6) de yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üstünlüğü olduğu açıkça görülmektedir. *Hidroelektrik enerjisi* (%17,3) ve *rüzgâr enerjisi ise* (%17,2) teknik boyutta “*nükleer enerjiye*” ve “*fosil temelli enerji*” türlerine göre daha az güçlü oldukları sonucu çıkmıştır.

“Kalite” ölçütü ise iki alt ölçütü olan “güvenilirlik”(53,1) ve “dayanıklılık” (46,9) ile her enerji kaynağı için değerlendirilip o şekilde yansıtılmıştır.

Çizelge 3.22: Her bir enerji kaynağı için ekonomik alt-ölçütü açısından ağırlıklar

Ekonomik Ölçüte Ait Alt-Ölçütler						
	Yatırım Maliyeti	İ&B Maliyeti	Yakıt Maliyeti	Elektrik Üretim Maliyeti	İşletim Süresi	Ağırlık Vektörü
Ağırlık	0,283	0,210	0,257	0,147	0,103	
Alternatifler						
Fosil	0,258	0,332	0,000	0,203	0,337	0,207
Rüzgâr	0,350	0,040	0,272	0,256	0,000	0,215
Nükleer	0,000	0,115	0,000	0,052	0,663	0,100
Güneş	0,000	0,000	0,247	0,000	0,000	0,064
Hidroelektrik	0,224	0,253	0,254	0,278	0,000	0,223
Jeotermal	0,167	0,260	0,227	0,211	0,000	0,191

Çizelge 3.22’de ise ekonomik ana ölçütte “yatırım” (28,3) ile “yakıt maliyetinin” (25,7) en önemli alt ölçütler olduğu dikkat çekmektedir. Toplamda ekonomik olarak en avantajlı kaynağın birbirine çok yakın değerlerle sırasıyla “hidroelektrik enerjisi” (22,3) ve “rüzgâr enerjisi” (21,5) olduğu görülmektedir.

Teknik tarafta “nükleer enerjinin” inanılmaz üstünlüğü burada aslında daha gerçekçi bir temele indirgenerek “nükleer enerjiye” yatırım yapılması kararındaki en büyük ikilemin de neden çıktığını göstermektedir. Tez kapsamındaki ele alınan enerji kaynakları çerçevesinde “güneş enerjisi” (6,4) ile beraber “nükleer enerjinin” (10) diğer enerji kaynakları ile maliyet açısından mukayese edilemeyecek kadar dezavantajlı olduğu da net olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 3.23: Her bir enerji kaynağı için çevresel alt-ölçütü açısından ağırlıklar

Çevresel Ölçüte Ait Alt-Ölçütler						
	Çevresel Riskler	Çevresel Etkiler	-	-	-	Ağırlık Vektörü
Ağırlık	0,437	0,563	-	-	-	
Alternatifler						
Fosil	0,062	0,014	-	-	-	0,035
Rüzgâr	0,271	0,233	-	-	-	0,250
Nükleer	0,000	0,238	-	-	-	0,134
Güneş	0,253	0,059	-	-	-	0,144
Hidroelektrik	0,183	0,267	-	-	-	0,231
Jeotermal	0,230	0,189	-	-	-	0,207

Çizelge 3.23 ise enerji kaynaklarının ne kadar “çevreci” olduklarını analiz etmemize olanak sağlamaktadır. “Çevresel” anaölçütte; “çevresel riskler” (%43,7) ve “çevresel etkiler” (%56,3) önem derecesine sahip olup, bu ölçütte ise yine ve sırasıyla “rüzgâr enerjisi” (%25) ve “hidroelektrik enerji” (%23,1) kaynaklarının ilk iki sırayı paylaştığını görmekteyiz. “Nükleer enerji” (%13,4) genel olarak çevreci bir enerji kaynağı olarak değerlendirilse de bu çalışmada bu ölçüte ait değerlendirmenin genişletilmesi ve derinleştirilmesi sonucunda elde edilen değerlere göre “rüzgâr enerjisi”, “hidroelektrik enerji” ve “jeotermal enerji” (%20,7) ile arasında önemli bir farkın olduğu dikkat çekici bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son dönemlerde “nükleer enerji” alanında ortaya çıkan kazalar ve sebep olduğu doğal felaketler ile birlikte çevre için oluşturduğu riskler bu farkı yaratmıştır. “Çevresel” ölçütte, “çevresel etkiler” alt ölçütü ise “CO₂ emisyonu” (%32,9), “NO_x emisyonu” (%29,1), “arazi kullanımı” (%6,7), “SO₂ emisyonu” (%28,9) ve “gürültü” (%2,4) alt ölçütleri ile her enerji kaynağı için değerlendirilip o şekilde yansıtılmıştır.

Çizelge 3.24: Her bir enerji kaynağı için sosyal alt-ölçütü açısından ağırlıklar

	Sosyal Ölçüte Ait Alt-Ölçütler						Ağırlık Vektörü
	Benimsenme	İstihdam	İş Güvenliği	-	-	-	
Ağırlık Alternatifler	0,321	0,363	0,316	-	-	-	
Fosil	0,000	0,208	0,000	-	-	-	0,076
Rüzgâr	0,345	0,090	0,350	-	-	-	0,254
Nükleer	0,000	0,212	0,000	-	-	-	0,077
Güneş	0,214	0,205	0,217	-	-	-	0,212
Hidroelektrik	0,213	0,231	0,221	-	-	-	0,222
Jeotermal	0,229	0,054	0,211	-	-	-	0,160

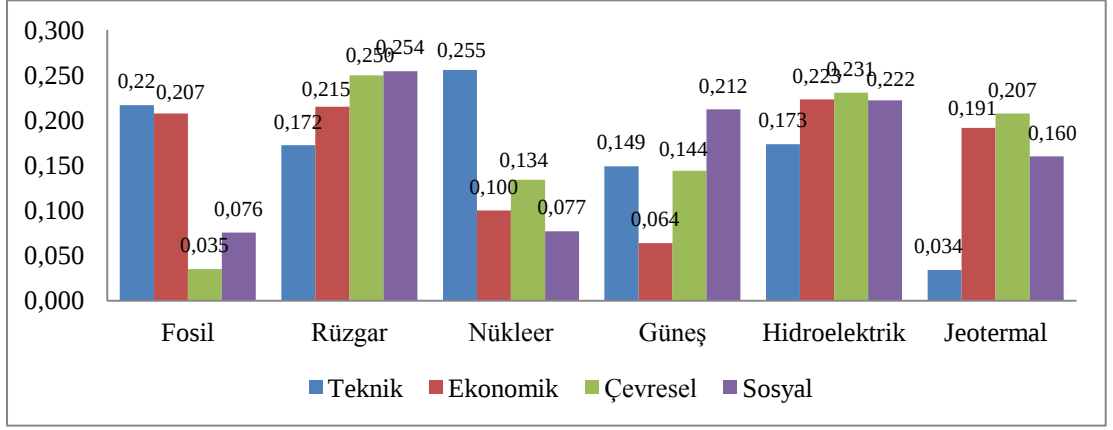
Çizelge 3.24’e göre sosyal ölçütte bir enerji kaynağının *istihdam* (%36,3) yaratabilme kapasitesi en önemli alt ölçüt olarak görülmektedir. Toplamda sosyal olarak en avantajlı kaynağın *rüzgâr enerjisi* hidroelektrik (%25,4) olduğu daha sonra sırasıyla *hidroelektrik* (%22,2) ve *güneş* (%21,2) olarak sıralama gerçekleşmiştir. *Fosil temelli enerjinin* (%7,6) ve *nükleer enerjinin* (%7,7) sosyal ölçüt çerçevesinde diğer enerji kaynaklarına göre daha az olumlu etkisi olduğu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 3.25: Enerji kaynaklarının ana ölçütlere göre ağırlık vektörleri

Amaç Bakımından Temel Ölçütler							Ağırlık Vektörü
	Teknik	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	-	-	
Ağırlık	0,301	0,440	0,171	0,088	-	-	
Alternatifler							
Fosil	0,216	0,207	0,035	0,076	-	-	0,169
Rüzgâr	0,172	0,215	0,250	0,254	-	-	0,211
Nükleer	0,255	0,100	0,134	0,077	-	-	0,151
Güneş	0,149	0,064	0,144	0,212	-	-	0,116
Hidroelektrik	0,173	0,223	0,231	0,222	-	-	0,209
Jeotermal	0,034	0,191	0,207	0,160	-	-	0,144

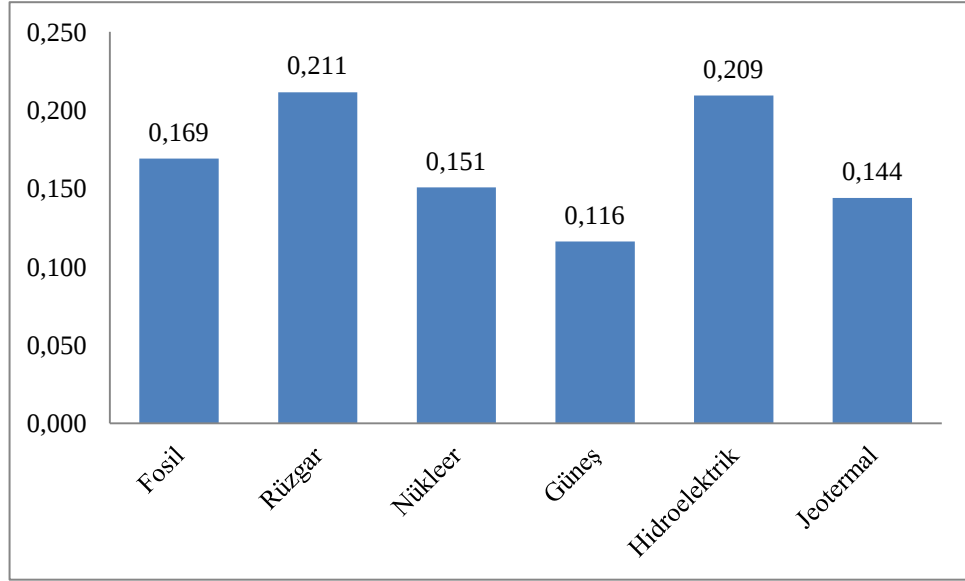
Çizelge 3.25’ye göre “*rüzgâr enerjisinin*” (%21,1) kaynağının diğer enerji kaynakları içinde günümüz koşulları çerçevesinde en uygun kaynak olduğu görülmektedir. “*Hidroelektrik enerjisinin*” (%20,9) de “*rüzgâr enerjisinin*” yanında kullanılabilecek ikinci önemli enerji kaynağı olduğunu vurgulamak gerekir. “*Nükleer enerjinin*” (%15,1) de bu kaynaklarla beraber, “*fosil*” (%16,9) ile birlikte ülkelerin enerji yatırımları içinde bulunabilecek diğer güçlü alternatifler olduğunu da belirtmek gerekir.

Bunun yanında enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde en önemli temel parametre “*ekonomik*” ölçüttür (%44). Bir ülkenin gelişmesinin, üretebildiği ve kullanabildiği enerjiye direkt olarak bağlı olduğu düşünüldüğünde enerji alanındaki alınacak kararların önemi de ortaya çıkacaktır. Bu kararın maliyet boyutunun önemi de aşikârdır. “*Ekonomi*” ölçütünden sonra önem ağırlığına göre sırası ile “*teknik*” (%30,1), “*çevresel*” (%17,1) ve “*sosyal*” (%8,8) ölçütler gelmektedir. “*Çevresel*” ölçütün teknik ölçütten daha az bir öneme sahip olduğu da görülmektedir. “*Çevresel*” boyutun bu derece önemli hale gelmesinde küresel anlamda ülkelerin artık çevreye olan etkileri ve enerji üretiminde yaratılan riskleri minimuma indirmek istemeleri önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak tez kapsamında ele alınan enerji kaynaklarının teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal ölçütler boyutunda önem ağırlıkları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Enerji kaynaklarının ana ölçütlere göre önem ağırlıkları

Şekil 3.2, her enerji kaynağı türü için verilmiş olan ana ölçütlerin ağırlık değerleri Şekil 3.3'te ağırlıklar birleştirilip, toplamda her enerji kaynağının nihai önem ağırlığı göstermektedir.



Şekil 3.3: Enerji kaynaklarının göreceli önem ağırlıkları

Enerji kaynağı seçim probleminde bu tezde ele alınan metot ve izlenen yöntemin geliştirilmesi karar vericilere farklı bakış açıları da sağlayacaktır. Karar verici grubun mühendis dışında orta - üst düzey yöneticilerden ve politikacılardan oluşan daha karma bir yapı ile oluşturulması bizlere alınan kararların bu sefer hem bilimsel hem de yönetsel perspektiften değerlendirilmesini daha detaylı bir şekilde verecektir. Bu çalışmada bilimsel tarafı ağır basan uzman mühendislerin ikili karşılaştırmalarında iş dünyasının görüşü ve bakış açısının destek görevi gördüğü unutulmamalıdır.

4. ÜLKEMİZ ENERJİ POLİTİKALARI ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRME, SONUÇ ve ÖNERİLER

Küresel ölçekte ülkelerin enerji arz güvenliklerini ancak enerji üretimlerine hız vererek ve kaynak çeşitliliğine giderek artırabilecekleri bir gerçektir. Ülkemizdeki istikrarlı makro ekonomik gelişmeler bir yandan elektrik enerjisi talebini etkilemekte diğer yandan da yeni kapasite ihtiyacını arttırmaktadır.

Enerjide dışa bağımlılık oranımızın %70'ler seviyesinde olduğu ve bunun ekonomimiz adına ne kadar büyük bir yük oluşturduğu da rakamlarla ortaya çıkmaktadır. 2011 yılında ithalat için ödenen her 100 doların 22,36 doları enerji ürünlerine gitmiştir. 106 milyar dolarlık dış açığımızın 54 milyar dolarının da enerjiden kaynaklandığı görülmektedir. Geçen sene bir önceki seneye göre enerji ürünlerine 15 milyar 616 milyon 260 bin dolar daha fazla ödeyen ülkemiz için enerji alanında atılacak her adımın önemli olduğu bilinmelidir. Çizelge 3.26 son on yıldaki enerji ithalatı verilerini göstermektedir.

Çizelge 3.26: 2002-2011 Enerji ithalatı [104].

Yıl	Yapılan İthalat (\$)
2002	9.203.888.000
2003	11.575.069.000
2004	14.407.288.000
2005	21.255.586.000
2006	28.859.098.000
2007	33.883.135.000
2008	48.281.193.000
2009	29.905.305.000
2010	38.497.229.000
2011	54.113.489.000

Böylece son on yıllık dönemde ülkemizin enerji ithalatı için ödemiş olduğu miktar 289 milyar 981 milyon 280 bin dolara ulaşmıştır.

Bununla birlikte Türkiye'nin 2011 yılında elektrik tüketimi de, 2010 yılına göre %9 artarak 229 milyar 344 milyon kWh seviyesine ulaşmıştır. TEİAŞ

değerlendirmelerine göre de Türkiye'nin 2012 yılı elektrik enerjisi talebinin 244 milyar kWh olarak gerçekleşeceği öngörülmektedir.

Genel durum bu şekilde iken, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yaptığı çalışmalar da ülkemizin enerji konusunu ne kadar önemseydiğinin de bir göstergesidir. Özellikle enerjide dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla son dokuz yılda çok büyük yatırımlar yapıldığı ve bu yatırımların 25 milyar doları aştığı belirtilmelidir. Bakanlığın hedefi ise, Türkiye Cumhuriyeti'nin 100'üncü yılı olan 2023 yılında petrol ve doğalgaz ithal etmeyen bir Türkiye olmasıdır. Türkiye'nin bir enerji koridoru haline getirilmesi de planlar arasında yerini almaktadır. Enerjiye yapılan yatırımlar neticesinde elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü yaklaşık 51 bin MW düzeyine gelmiştir. Bu kapsamda hidroelektrik santrallerinin kurulu gücü 12 bin 200 MW seviyesinden 16 bin 883 MW düzeyine, rüzgâr enerjisinde toplam kurulu gücün bin 563 MW düzeyine ve jeotermal kaynaklardan elde edilen enerji de 100 MW düzeyine ulaşmıştır. Enerjide yapılan 25 milyar dolarlık yatırımın 4 milyar 600 milyon dolarlık kısmı petrol ve doğalgaz aramaları için kullanılmıştır. Kömür rezervleri de 5 milyar tonluk artışla 13 milyar tona çıkarılmıştır. Kömür kaynaklarımızın sadece %37'lik kısmının değerlendirilmektedir. 2023 yılında tüm kömür kaynaklarının ekonomiye kazandırılması hedefler arasında bulunmaktadır. Bunun dışında özel sektörün, enerjideki payının %34'ten %52'ye çıkarılması da enerji alanındaki yatırımların devlete yük oluşturmadan, büyük ölçüde özel sektörün gücü ve dinamizminden faydalanmak olarak yorumlanabilir. Bakanlığın rüzgâr, güneş ve jeotermal enerji üretimi hedefleri [105];

- Rüzgâr enerjisi: 20 000 MW
- Güneş enerjisi: 3.000 MW
- Jeotermal enerji: 600 MW

Bu hedefler doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik enerjisi üretimindeki payının %30'a çıkarılması amaçlanmaktadır. 2023 yılına kadar yaklaşık 20 bin MW seviyesinde kurulu güce sahip hidroelektrik santralinde özel sektör tarafından yapılması hedeflenmektedir. Bakanlığın, ülkemizi nükleer enerji teknoloji ile buluşturmadaki kararlılığı ile 2023 yılına kadar toplamda 10 bin MW gücünde iki nükleer santralin üretime geçmesi ve bir nükleer santralinde inşasına başlanması hedeflenmektedir. Enerjideki üretim kompozisyonumuzu geliştirmek ve genişletmek

amacıyla küresel eğilimin ve ülkemiz şartları çerçevesinde en uygun enerji arz sepetinin oluşturulması gerekmektedir.

En uygun enerji kaynağı seçimi kapsamında yürütülen bu çalışmada elde edilen sonuçların ülkemiz enerji politikaları ile önemli bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Enerji kaynaklarının stratejik değerlendirilmesi ise Bulanık AHP yöntemine göre yapılmıştır.

AHP çok kriterli karar verme problemlerinde etkili olan bir analiz yöntemidir fakat belirsizlik ortamlarında kişilerin kararlarını tam olarak ifade edemediği için sonuçları tam olarak yansıtamamaktadır. Bulanık AHP’de, AHP yönteminde kıyasla ikili karşılaştırmalar daha verimli bir şekilde yapılabilmektedir. AHP’nin bulanık olarak kullanılmasında önemli olan sözel olarak söylenen ifadelerin belirli bir çerçeve dâhilinde olması yerine esneklik kazandırılarak kolaylaştırılmasıdır. Karar vericilerin ifadelerinin kalitatif karakterde olmasından dolayı AHP’nin bulanık değerlendirmelerinde yaklaşım daha gerçekçi bir durum sergilemektedir.

Değerlendirme sürecinde yapılan analizler küresel enerji pazarındaki eğilimler ve gelişmeler dikkate alınarak ülkemiz koşulları çerçevesinde en uygun enerji arz sepetinin oluşturulmasına yönelik olarak yürütülmüştür. Bunun içinde gerekli kıyaslamalarla enerji kaynağı seçim problemi stratejik bakımdan ele alınarak dört temel kriter çerçevesinde değerlendirilmiş ve her bir temel kriteri kapsayan alt kriterleri doğrultusunda hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal, fosil ve nükleer enerji kaynakları karşılaştırılmıştır.

Elde edilen karşılaştırma sonuçlarına göre, yatırımların öncelikli olarak sırasıyla hidroelektrik ve rüzgâr enerji kaynaklarına yapılması gerektiği yönündedir. Burada karar sürecinde devletin enerji alanındaki attığı adımlar da önemli bir rol oynamıştır.

Bu çalışmada hem yenilenebilir enerji alanındaki eğilimler hem de bu enerji kaynaklarının nükleer enerji ve fosil kaynaklı enerji ile kıyaslamasının yapılabilmesi için ayrıntılı bir kaynakça analizi yapılmıştır. Teorik anlamda yapılan bu katkının yanında yönetsel tarafında karar sürecine etki etmesi için enerji sektöründe söz sahibi olan kurum ve kuruluşların başındaki yetkili kişilerin değerlendirmeleri ve yorumları da detaylı bir şekilde incelenerek problemin iki yönlü düşünülmesi ve tasarlanması amaçlanmıştır. Bununla birlikte ülkemiz enerji arz planlamasının oluşturulması gibi hassas bir karar verme sürecinin de tez dahilinde bu bilgilerden

faydalanılarak bilimsel ve sistematik bir bakış açısıyla oluşturulmaya çalışıldığının vurgulanması gerekmektedir. Yönetim kademesindeki kişilerin değerlendirmelerinin bu tez kapsamında detaylı bir şekilde ele alınması sayesinde bilimsel temelin de sağlamlığı ile Bulanık AHP yapısına uygulanması da çalışmanın ayrı bir katma değer yaratmasını sağlamıştır. Yapılan araştırmalar, bu tez kapsamında yapılan çalışmanın Türkiye Enerji alanında ki sayılı çalışmalardan biri olduğunu göstermektedir ve ileri ki çalışmalara yol gösterecek nitelikte olduğu unutulmamalıdır.

Rüzgar enerjisi ve Hidroelektrik enerjinin yatırıma en uygun enerji kaynakları olduğu tez dahilinde elde edilmiştir. Bu enerji kaynaklarına yönelik en uygun santral kurulumu çerçevesinde optimizasyon problemleri üzerine çalışmalar yürütülerek bu çalışma farklı seviyelere çıkartılabilir. Enerji arz sepetini oluşturmak sadece bir başlangıç olarak düşünülmelidir, sonrası için aynen bu tez sürecinde olduğu gibi detaylı bir analiz ve probleme yönelik en uygun metodolojinin seçimi ve sisteme uyarlanması ise ayrı bir tez konusunu da oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Akova İ.**, 2008: *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Nobel Yayın, Ankara.
- [2] **Atmaca İ. ve Yiğit A.**, 2010: *Güneş Enerjisi*, Alfa Aktüel, Bursa.
- [3] **Önal E., Yarbay R. Z.**, 2010, *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Geleceği*, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18, 77-96.
- [4] http://www.dunya.com/2015-y%C4%B1%C4%B1-enerji-hedefi-5-bin-megavat-kurulu-g%C3%BC%C3%A7_117184_haber.html, Erişim tarihi: 15.10.2011.
- [5] <http://akademikmakalem.com/2011/04/23/turkiyenin-enerji-profil-i-ve-stratejisi/>, Erişim tarihi: 15.10.2011.
- [6] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Stratejik Planı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010
- [7] Türkiye’nin Enerji Gerçekleri ve Çıkış Yolları, Gensed, 2010
- [8] <http://haber.gazetevatan.com/turkiyede-nukleer-enerji-mecburi-mi/365853/2/Haber>, Erişim tarihi: 15.10.2011.
- [9] <http://haber.gazetevatan.com/siemens-istanbul-bogazi-5-bin-mw-elektrik-uretebilir/354436/4/Haber>, Erişim tarihi: 22.10.2011
- [10] **Gönüllü M. T., Varınca K. B.**, 2006, *Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma*, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir.
- [11] **Erdener H., Erkan S., Eroğlu E., Gür N., Şengül E., Nurcan B.**, 2010: *Sürdürülebilir Enerji ve Hidrojen (2. Baskı)*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [12] <http://enerjienstitusu.com/2011/10/04/yeni-enerji-santrallerinde-son-durum/#>, Erişim tarihi: 15.10.2011.
- [13] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, 2011
- [14] Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri, TEİAŞ, 2010
- [15] **Bayülken A., Gençay Ş., Özemre A. Y.**, 2000: 50 Soruda Türkiye’nin Nükleer Enerji Sorunu, Kaknüs Yayınları, İstanbul.
- [16] **Acar Ç., Bülbül S., Gümrah F., Metin Ç. & Parlaktuna M.**, 2007: *Petrol ve Doğal Gaz*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- [17] Petrol Piyasaları ve Rekabet Politikası Sempozyumu, 2011, KRP Yayıncılık, İstanbul.
- [18] Türkiye Enerji Sektörü Raporu, Deloitte, 2010
- [19] Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu “Yeşil Enerjiye Geçiş”, TEVEM, 2010

- [20] Yeni Enerji, 2011, Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Dergisi, Ocak-Şubat, Sayı 20
- [21] G-20 Clean Energy Fact book, 2010, the Pew Charitable Trusts
- [22] Global Wind Energy Outlook, 2010, Global Wind Energy Council
- [23] International Wind Power Market Update, 2010, BTM Consult
- [24] Wind in Power: 2010 European Statistics, 2011, European Wind Energy Association
- [25] Rüzgâr Günleri Sempozyumu, 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi
- [26] Siemens Rüzgar Türbini SWT-2.3-93 Teknik Özellikleri, Siemens
- [27] **Görgün T.**, 2009, Yenilenebilir Enerjiler ve Teknolojileri, İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi
- [28] Renewable Energy Essentials: Hydropower, 2010, International Energy Agency
- [29] Renewable Energy Essentials: Geothermal, 2010, International Energy Agency
- [30] **Arslan E. I., Topal M.**, 2008, Biokütle Enerjisi ve Türkiye, VII Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu
- [31] **Koçer N. N., Kurt G.**, 2010, Malatya İlinin Biokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26(3), 240-247
- [32] Renewable Energy Data Book - 2009, U.S Department of Energy, 2010
- [33] **Sağlam M., Uyar T. S.**, Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli, Elektrik Mühendisleri Odası
- [34] Enerji Raporu, 2010, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi
- [35] Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Bir Bakış, 2010, Yenilenebilir Enerji Günleri, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- [36] Türkiye Güney Ege Bölgesi Sektörel Kılavuz 2011, T.C Güney Ege Kalkınma Ajansı
- [37] <http://haber.gazetevatan.com/yenilenebilir-enerjiye-destek-cikti-yersen/351592/4/Yazarlar/139>, Erişim tarihi: 22.10.2011
- [38] **Akbay M., Talinli I., Topuz E.**, 2010, *Comparative Analysis for Energy Production Processes (EPPs): Sustainable Energy Futures for Turkey*, Energy Policy, 38, 4479-88
- [39] **Göksu A., Güngör İ.**, 2008, *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması*, Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 13(3), 1-26
- [40] **Özdağoğlu A.**, 2008, *Bulanık AHP Yaklaşımında Duyarlılık Analizleri: Yeni Bir Hammadde Tedarikçisinin Çözümüne Eklenmesi*, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13, 51-72
- [41] **Alkan A., Akman G.**, 2006, *Tedarik Zinciri Yönetiminde Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi: Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama*, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9, 23-46
- [42] **Th. L. Saaty**, 1980, The Analytic Hierarchy Process, McGraw- Hill, New York

- [43] **De Graan J.G.**, 1980, Extensions to the Multiple Criteria Analysis Method of T.L. Saaty, National Institute of Water Supply, Voorburg, Hollanda
- [44] **Lootsma F.A.**, 1981, Saaty's Priority Theory and the Nomination of a Senior Professor in Operations Research, *European Journal of Operations Research*, 4, 380-88
- [45] **Pedrycz W., Van Laarhoven P.J.M.**, 1983, A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-41
- [46] **Chang D.Y.**, 1996, *Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP*, *European Journal of Operational Research*, 95, 649-55
- [47] **Chang D.Y., Jing Y., Zhu K.J.**, 1999, *A discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP*, *European Journal of Operational Research*, 116, 450-56
- [48] **Song H., Wang L., Xu L.**, 2011, *Environmental performance evaluation of Beijing's energy use planning*, *Energy Policy*, 39, 3483-95
- [49] **Amer M., Daim T. U.**, 2011, *Selection of renewable energy technologies for a developing country: A case of Pakistan*, *Energy for Sustainable Development*, 15, 420-35
- [50] **Boo K. J., Heo E., Kim J.**, 2010, *Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2214-20
- [51] **Li K. P., Lin G., Shen Y. C., Yuan B.**, 2010, *An assessment of exploiting renewable energy sources with concerns of policy and technology*, *Energy Policy*, 38, 4604-16
- [52] **Kahraman C., Kaya İ.**, 2010, *A fuzzy multi criteria methodology for selection among energy alternatives*, *Expert Systems with Applications*, 37, 6270-81
- [53] **Kahraman C., Kaya T.**, 2010, *Multi criteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul*, *Energy*, 35, 2517-27
- [54] **Daim T., Kocaoglu D., Yang J., Wang B.**, 2010, *A decision model for energy resource selection in China*, *Energy Policy*, 38, 7130-41
- [55] **Kim J. W., Lee S. K., Mogi G.**, 2009, *Decision support for prioritizing energy technologies against high oil prices: A fuzzy analytic hierarchy process approach*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22, 915-20
- [56] **Cebi S., Kahraman C., Kaya İ.**, 2009, *Comparative analysis for multi attribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process*, *Energy*, 34, 1603-16
- [57] **Jebaraj S., Iniyar S.**, 2006, *A review of energy models*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, 281-311
- [58] **Jovanovic M., Afgan N., Radovanovic P., Stevanovic V.**, 2009, *Sustainable development of the Belgrade energy system*, *Energy*, 34, 532-9.
- [59] **Doukas H. C., Andreas B. M., Psarras J. E.**, 2007, *Multi-criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic*

formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic variables, European Journal of Operational Research, 182, 844–55.

[60] **Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Shi G. H., Zhang X. T.**, 2008, *A fuzzy multi-criteria decision-making model for trigeneration system*, Energy Policy, 36, 3823–32.

[61] **Pilavachi P.A., Stephanidis S. D., Pappas V. A., Afgan N. H.**, 2009, *Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies*, Applied Thermal Engineering, 29, 2228–34.

[62] **Afgan N. H., Carvalho M. G.**, 2002, *Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants*. Energy 2002;27, 739–55.

[63] **Afgan N. H., Carvalho M. G.**, 2004, *Sustainability assessment of hydrogen energy systems*, International Journal of Hydrogen Energy, 29, 1327–42.

[64] **Afgan N. H., Carvalho M. G.**, 2008, *Sustainability assessment of a hybrid energy system*, Energy Policy, 36, 2903–10.

[65] **Begic F., Afgan N. H.**, 2007, *Sustainability assessment tool for the decision making in selection of energy system—Bosnian case*, Energy, 32, 1979–85.

[66] **Mamlook R., Akash B. A., Nijmeh S.**, 2001, *Fuzzy sets programming to perform evaluation of solar systems in Jordan*, Energy Conversion and Management, 42, 1717–26.

[67] **Mamlook R., Akash B. A., Mohsen M. S.**, 2001, *A neuro-fuzzy program approach for evaluating electric power generation systems*. Energy, 26, 619–32.

[68] **Akash B. A., Mamlook R., Mohsen M. S.**, 1999, *Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process*, Electric Power Systems Research, 52, 29–35.

[69] **Mohsen M. S., Akash B. A.**, 1997, *Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy proce..* Energy Conversion and Management, 38, 1815–22.

[70] **Chatzimouratidis A. I., Pilavachi P. A.**, 2009, *Technological, economic and sustainability evaluation of power plants using the Analytic Hierarchy Process*, Energy Policy, 37, 778–87.

[71] **Dinca C., Badea A., Rousseaux P., Apostol T.**, 2007, *A multi-criteria approach to evaluate the natural gas energy systems*, Energy Policy, 35, 5754–65.

[72] **Huang Fu Y, Wu J.Y., Wang R. Z., Huang X. H.**, 2005, *Study on comprehensive evaluation model for combined cooling heating and power system (CCHP)*, Journal of Engineering Thermophysics, 26, 13–6.

[73] **Chattopadhyay D, Ramanathan R.**, 1998, *A new approach to evaluate generation capacity bids*, IEEE Transactions on Power Systems, 13, 1232–7.

[74] **Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhang X. T., Shi G. H.**, 2008, *Integrated evaluation of distributed triple-generation systems using improved grey incidence approach*, Energy, 33, 1427–37.

- [75] **Pilavachi P. A., Roumpeas C. P., Minett S., Afgan N. H.**, 2006, Multi-criteria evaluation for CHP system options. *Energy Conversion and Management*, 47, 3519–29.
- [76] **Liposcak M., Afgan N. H., Duic N., da Graca Carvalho M.**, 2006, *Sustainability assessment of cogeneration sector development in Croatia*, *Energy*, 31, 2276–84.
- [77] **Chatzimouratidis A. I., Pilavachi P. A.**, 2007, *Objective and subjective evaluation of power plants and their non-radioactive emissions using the analytic hierarchy process*, *Energy Policy*, 35, 4027–38.
- [78] **Chatzimouratidis A. I., Pilavachi P. A.**, 2008, *Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process*, *Energy Policy*, 36, 1074–89.
- [79] **Chatzimouratidis A. I., Pilavachi P. A.**, 2008, *Sensitivity analysis of the evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process*, *Energy Conversion and Management*, 49, 3599–611.
- [80] **Beccali M., Cellura M., Mistretta M.**, 2003, *Decision-making in energy planning. Application of the electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology*, *Renewable Energy*, 28, 2063–87.
- [81] **Diakoulaki D., Karangelis F.**, 2007, *Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 716–27.
- [82] **Cavallaro F., Ciraolo L.**, 2005, *A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island*, *Energy Policy*, 33, 235–44.
- [83] **Burton J., Hubacek K.**, 2007, *Is small beautiful? A multicriteria assessment of smallscale energy technology applications in local governments*, *Energy Policy*, 35, 6402–12.
- [84] **Madlener R., Kowalski K., Stagl S.**, 2007, *New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: the case of renewable energy use in Austria*, *Energy Policy*, 35, 6060–74.
- [85] **Wang J. J., Jing Y. Y., Zhan C. F.**, *Weighting methodologies in multi-criteria evaluations of combined heat and power systems*, *International Journal of Energy Research*, doi:10.1002/er.1528.
- [86] **Papadopoulos A., Karagiannidis A.**, 2008, *Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems*, *Omega*, 36, 766–76.
- [87] **Goumas M. G., Lygerou V. A., Papayannakis L. E.**, 1999, *Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects*, *Energy Policy*, 27, 147–54.
- [88] **Haralambopoulos D. A., Polatidis H.**, 2003, *Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework*, *Renewable Energy*, 28, 961–73.

- [89] **Løken E., Botterud A., Holen A. T.**, 2009, *Use of the equivalent attribute technique in multi-criteria planning of local energy systems*, European Journal of Operational Research, 197, 1075–83.
- [90] **Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhao, J. H.**, 2009, *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2263-78
- [91] **Bali Ö. ve Gencer C.**, 2005, *AHP, Bulanık AHP ve Bulanık Mantıkla Kara Harp Okuluna Öğretim Elemanı Seçimi*, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi, 4(1), 24-43
- [92] <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/193-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/805-bolum-02-nukleer-enerjinin-temel-prensipleri.html>, Erişim tarihi: 22.10.2011
- [93] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2012
- [94] **Evans A., Evans T., Strezov V.**, 2010, Comparing the sustainability parameters of renewable, nuclear and fosil fuel electRICTY generation Technologies, World Energy Council, World Energy Congress, Montreal
- [95] **Turan S.**, 2006, Nükleer Enerji: Nükleer Santralin Konya'ya Kurulabilirliği, Getirileri ve Götürüleri, Konya Ticaret Odası
- [96] <http://enerjienstitusu.com/2011/11/01/temiz-ve-guvenli-enerji-jeotermal/>, Erişim tarihi: 22.10.2011
- [97] U.S. Energy Information Administration, 2007
- [98] <http://nuclearfissionary.com/2010/03/05/why-capacity-factor-matters-to-energy-production/>, Erişim tarihi: 22.10.2011
- [99] Projected Costs of Generating Electricity, 2010, International Energy Agency & Nuclear Energy Agency & Organization for Economic Co-Operation and Development
- [100] <http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/85-nukleer-atiklar/261-hizmetten-cikarma-atiklari.html>, Erişim tarihi: 22.10.2011
- [101] **Ertuğrul Ö. F., Kurt M. B.**, 2009, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Maliyet Analizi ve Sürdürülebilir YEK Uygulamaları, 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Elektrik Mühendisleri Odası
- [102] **İskender S.**, 2005: *Türkiye'de ve Dünya'da Enerji & Nükleer Enerji Gerçeği*, Tütev Yayınları, Ankara
- [103] **Ekdal A., Erturk F., Goncalaoğlu B. İ.**, 2000, Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması, Ekoloji, Çevre Dergisi, 34, 9-14
- [104] <http://haber.gazetevatan.com/Haber/428519/1/Gundem>, Erişim tarihi: 05.02.2012
- [105] Dünya Gazetesi Yayınları, 2011, Sektör Araştırması: Enerji

EKLER

EK A.1 : Ana Ölçütlerin ve Alt Ölçütlerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

EK B.1 : Teknik Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

EK C.1: Ekonomik Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

EK D.1: Çevresel Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

EK E.1: Sosyal Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

EK F.1: İkili Karşılaştırma İçin Örnek Değerlendirme Formu

EK A

EK A.1: Ana Ölçütlerin ve Alt Ölçütlerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

Çizelge A.1: Ana ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisleri

	TEKNİK			EKONOMİK			ÇEVRESEL			SOSYAL		
TEKNİK	1,00	1,00	1,00	0,47	0,63	0,87	0,85	1,17	1,57	1,40	1,88	2,40
EKONOMİK	1,14	1,59	2,11	1,00	1,00	1,00	0,96	1,36	1,88	1,78	2,29	2,80
ÇEVRESEL	0,64	0,86	1,17	0,53	0,73	1,05	1,00	1,00	1,00	0,67	0,93	1,28
SOSYAL	0,42	0,53	0,71	0,36	0,44	0,56	0,78	1,08	1,49	1,00	1,00	1,00

Çizelge A.2: Teknik alt ölçütlerinin teknik ana ölçüte göre ikili karşılaştırmalar matrisi

	Verimlilik			Kalite			Birim Yakıt Enerji Kapasitesi			Teknolojik Olgunluk Düzeyi			Kapasite Faktörü			Kaynak Elverişliliği		
Verimlilik	1,00	1,00	1,00	1,78	2,29	2,80	0,45	0,58	0,80	0,85	1,17	1,57	1,88	2,39	2,90	0,47	0,63	0,87
Kalite	0,36	0,44	0,56	1,00	1,00	1,00	0,47	0,63	0,87	0,47	0,63	0,87	0,47	0,63	0,87	0,47	0,63	0,87
Birim Yakıt Enerji Kapasitesi	1,25	1,71	2,23	1,14	1,59	2,11	1,00	1,00	1,00	0,85	1,17	1,57	1,99	2,51	3,01	0,40	0,51	0,67
Teknolojik Olgunluk Düzeyi	0,64	0,86	1,17	1,14	1,59	2,11	0,64	0,86	1,17	1,00	1,00	1,00	1,99	2,51	3,01	0,47	0,63	0,87
Kapasite Faktörü	0,34	0,42	0,53	1,14	1,59	2,11	0,33	0,40	0,50	0,33	0,40	0,50	1,00	1,00	1,00	0,34	0,42	0,53
Kaynak Elverişliliği	1,14	1,59	2,11	1,14	1,59	2,11	1,49	1,96	2,50	1,14	1,59	2,11	1,88	2,39	2,90	1,00	1,00	1,00

Çizelge A.3: Kalite alt ölçütlerinin kalite ölçütüne göre ikili karşılaştırmalar matrisi

	Güvenilirlik			Dayanıklılık		
Güvenilirlik	1,00	1,00	1,00	0,78	1,08	1,49
Dayanıklılık	0,67	0,93	1,28	1,00	1,00	1,00

Çizelge A.4: Ekonomik alt ölçütlerinin ekonomik ana ölçüte göre ikili karşılaştırmalar matrisi

	Yatırım Maliyeti			İ&B Maliyeti			Yakıt Maliyeti			Elektrik Üretim Maliyeti			İşletim Süresi		
Yatırım Maliyeti	1,00	1,00	1,00	1,14	1,59	2,11	0,75	1,08	1,54	1,05	1,47	1,99	1,28	1,74	2,27
İ&B Maliyeti	0,47	0,63	0,87	1,00	1,00	1,00	0,80	1,17	1,68	1,14	1,59	2,11	0,71	1,00	1,40
Yakıt Maliyeti	0,65	0,93	1,33	0,60	0,86	1,25	1,00	1,00	1,00	0,90	1,26	1,72	1,78	2,29	2,80
Elektrik Üretim Maliyeti	0,50	0,68	0,96	0,47	0,63	0,87	0,58	0,79	1,11	1,00	1,00	1,00	0,87	1,26	1,78
İşletim Süresi	2,27	0,58	0,78	0,71	1,00	1,40	0,36	0,44	0,56	0,56	0,79	1,14	1,00	1,00	1,00

Çizelge A.5: Çevresel alt ölçütlerinin çevresel ana ölçütüne göre ikili karşılaştırmalar matrisi

	Çevresel Riskler			Çevresel Etkiler		
Çevresel Riskler	1,00	1,00	1,00	0,62	0,86	1,21
Çevresel Etkiler	0,83	1,17	1,63	1,00	1,00	1,00

Çizelge A.6: Çevresel riskler alt ölçütlerinin çevresel riskler ölçütüne göre ikili karşılaştırmalar matrisi

	CO ₂ Emisyonu			NO _x Emisyonu			Arazi Kullanımı			SO ₂ Emisyonu			Gürültü		
CO ₂ Emisyonu	1,00	1,00	1,00	1,05	1,47	1,99	1,15	1,58	2,12	0,96	1,36	1,88	1,87	2,39	2,89
NO _x Emisyonu	0,50	0,68	0,96	1,00	1,00	1,00	1,22	1,67	2,20	0,96	1,36	1,88	1,76	2,26	2,77
Arazi Kullanımı	0,47	0,63	0,87	0,46	0,60	0,82	1,00	1,00	1,00	0,36	0,44	0,56	0,71	1,00	1,40
SO ₂ Emisyonu	0,53	0,73	1,05	0,53	0,73	1,05	1,78	2,29	2,80	1,00	1,00	1,00	1,70	2,21	2,71
Gürültü	0,35	0,42	0,53	0,36	0,44	0,57	0,71	1,00	1,40	0,37	0,45	0,59	1,00	1,00	1,00

Çizelge A.7: Sosyal alt ölçütlerinin sosyal ana ölçütüne göre ikili karşılaştırmalar matrisi

	Benimsenme			İstihdam			İş Güvenliği		
Benimsenme	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	1,36	0,63	0,93	1,37
İstihdam	0,74	1,00	1,36	1,00	1,00	1,00	0,87	1,26	1,78
İş Güvenliği	0,73	1,08	1,59	0,56	0,79	1,14	1,00	1,00	1,00

EK B

EK B.1: Teknik Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

Çizelge B.1: Verimlilik

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,87	1,26	1,78	0,80	1,17	1,68	1,78	2,29	2,80	0,47	0,63	0,87	1,68	2,19	2,69
Rüzgâr	0,56	0,79	1,14	1,00	1,00	1,00	0,71	1,00	1,40	1,25	1,71	2,23	0,50	0,68	0,96	1,54	2,03	2,55
Nükleer	0,60	0,86	1,25	0,71	1,00	1,40	1,00	1,00	1,00	1,25	1,71	2,23	0,50	0,68	0,96	1,49	1,96	2,50
Güneş	0,36	0,44	0,56	0,45	0,58	0,80	0,45	0,58	0,80	1,00	1,00	1,00	0,50	0,68	0,96	0,67	0,93	1,28
Hidroelektrik	1,14	1,59	2,11	1,05	1,47	1,99	1,05	1,47	1,99	1,05	1,47	1,99	1,00	1,00	1,00	0,38	0,47	0,62
Jeotermal	0,37	0,46	0,60	0,39	0,49	0,65	0,40	0,51	0,67	0,78	1,08	1,49	1,63	2,12	2,64	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.2: Kalite

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	1,14	1,59	2,11	0,53	0,73	1,05	1,14	1,59	2,11	1,33	1,79	2,32	1,99	2,51	3,01
Rüzgâr	0,47	0,63	0,87	1,00	1,00	1,00	0,36	0,44	0,56	1,49	1,96	2,50	0,44	0,58	0,78	1,57	2,05	2,59
Nükleer	0,96	1,36	1,88	1,78	2,29	2,80	1,00	1,00	1,00	2,19	2,71	3,22	1,14	1,59	2,11	2,19	2,71	3,22
Güneş	0,47	0,63	0,87	0,40	0,51	0,67	0,31	0,37	0,46	1,00	1,00	1,00	0,43	0,56	0,75	1,40	1,88	2,40
Hidroelektrik	0,43	0,56	0,75	1,28	1,74	2,27	0,47	0,63	0,87	1,33	1,79	2,32	1,00	1,00	1,00	2,32	2,83	3,34
Jeotermal	0,33	0,40	0,50	0,39	0,49	0,64	0,31	0,37	0,46	0,42	0,53	0,71	0,30	0,35	0,43	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.3: Birim yakıt enerji kapasitesi

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	2,32	2,83	3,34	0,35	0,43	0,55	1,28	1,74	2,27	2,19	2,71	3,22	2,27	2,79	3,31
Rüzgâr	0,30	0,35	0,43	1,00	1,00	1,00	0,36	0,45	0,58	0,50	0,68	0,96	0,64	0,86	1,17	0,74	1,00	1,36
Nükleer	1,82	2,32	2,85	1,72	2,22	2,74	1,00	1,00	1,00	2,50	3,02	3,53	2,23	2,76	3,28	2,50	3,02	3,53
Güneş	0,44	0,58	0,78	1,05	1,47	1,99	0,28	0,33	0,40	1,00	1,00	1,00	0,67	0,93	1,28	0,67	0,93	1,28
Hidroelektrik	0,31	0,37	0,46	0,85	1,17	1,57	0,31	0,36	0,45	0,78	1,08	1,49	1,00	1,00	1,00	0,78	1,08	1,49
Jeotermal	0,30	0,36	0,44	0,74	1,00	1,36	0,28	0,33	0,40	0,78	1,08	1,49	0,67	0,93	1,28	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.4: Teknolojik olgunluk düzeyi

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	1,28	1,74	2,27	1,36	1,82	2,36	1,17	1,61	2,15	1,33	1,79	2,32	1,21	1,66	2,19
Rüzgâr	0,44	0,58	0,78	1,00	1,00	1,00	0,44	0,58	0,78	1,36	1,82	2,36	0,42	0,53	0,71	1,54	2,03	2,55
Nükleer	0,42	0,55	0,74	1,28	1,74	2,27	1,00	1,00	1,00	1,33	1,79	2,32	1,21	1,66	2,19	1,40	1,88	2,40
Güneş	0,47	0,62	0,85	0,42	0,55	0,74	0,43	0,56	0,75	1,00	1,00	1,00	0,47	0,63	0,87	1,40	1,88	2,40
Hidroelektrik	0,43	0,56	0,75	1,40	1,88	2,40	0,46	0,60	0,83	1,14	1,59	2,11	1,00	1,00	1,00	1,78	2,29	2,80
Jeotermal	0,46	0,60	0,83	0,39	0,49	0,65	0,42	0,53	0,71	0,42	0,53	0,71	0,36	0,44	0,56	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.5: Kapasite faktörü

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	1,49	1,96	2,50	0,47	0,62	0,85	1,28	1,74	2,27	1,11	1,54	2,07	1,17	1,61	2,15
Rüzgâr	0,40	0,51	0,67	1,00	1,00	1,00	0,42	0,55	0,74	1,49	1,96	2,50	0,39	0,49	0,64	1,40	1,88	2,40
Nükleer	1,17	1,61	2,15	1,36	1,82	2,36	1,00	1,00	1,00	1,49	1,96	2,50	1,36	1,82	2,36	1,36	1,82	2,36
Güneş	0,44	0,58	0,78	0,40	0,51	0,67	0,40	0,51	0,67	1,00	1,00	1,00	0,40	0,51	0,67	1,63	2,12	2,64
Hidroelektrik	0,48	0,65	0,90	1,57	2,05	2,59	0,42	0,55	0,74	1,49	1,96	2,50	1,00	1,00	1,00	1,66	2,15	2,69
Jeotermal	0,47	0,62	0,85	0,42	0,53	0,71	0,42	0,55	0,74	0,38	0,47	0,62	0,37	0,47	0,60	1,00	1,00	1,00

Çizelge B.6: Kaynak elverişliliği

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,40	0,51	0,67	0,42	0,55	0,74	0,37	0,47	0,60	0,37	0,47	0,60	0,40	0,51	0,67
Rüzgâr	1,49	1,96	2,50	1,00	1,00	1,00	2,20	2,71	3,24	0,41	0,53	0,70	1,25	1,71	2,23	2,64	2,79	3,31
Nükleer	1,36	1,82	2,36	0,31	0,37	0,46	1,00	1,00	1,00	0,34	0,41	0,52	0,36	0,45	0,58	0,41	0,53	0,70
Güneş	1,66	2,15	2,69	1,44	1,90	2,45	1,93	2,43	2,96	1,00	1,00	1,00	1,63	2,12	2,64	2,45	2,98	3,50
Hidroelektrik	1,66	2,15	2,69	0,45	0,58	0,80	1,72	2,22	2,74	0,38	0,47	0,62	1,00	1,00	1,00	2,50	3,02	3,53
Jeotermal	1,49	1,96	2,50	0,30	0,36	0,38	1,44	1,90	2,45	0,29	0,34	0,41	0,28	0,33	0,40	1,00	1,00	1,00

EK C

EK C.1: : Ekonomik Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

Çizelge C.1: Yatırım maliyeti

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,43	0,56	0,75	2,45	2,98	3,50	2,45	2,98	3,50	0,39	0,49	0,65	1,68	2,19	2,69
Rüzgâr	1,33	1,79	2,32	1,00	1,00	1,00	2,69	3,22	3,73	2,45	2,98	3,50	1,45	1,94	2,45	1,14	1,59	2,11
Nükleer	0,29	0,34	0,41	0,27	0,31	0,37	1,00	1,00	1,00	1,40	1,88	2,40	0,33	0,40	0,50	0,36	0,44	0,56
Güneş	0,29	0,34	0,41	0,29	0,34	0,41	0,42	0,53	0,71	1,00	1,00	1,00	0,32	0,38	0,47	0,35	0,43	0,55
Hidroelektrik	1,54	2,03	2,55	0,41	0,52	0,69	1,99	2,51	3,01	2,11	2,62	3,13	1,00	1,00	1,00	0,51	0,70	0,99
Jeotermal	0,37	0,46	0,60	0,47	0,63	0,87	1,78	2,29	2,80	1,82	2,32	2,85	1,01	1,42	1,95	1,00	1,00	1,00

Çizelge C.2: İşletme & bakım maliyeti

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	2,31	2,85	3,37	1,49	1,96	2,50	2,31	2,85	3,37	0,75	1,08	1,54	0,83	1,17	1,63
Rüzgâr	0,30	0,35	0,43	1,00	1,00	1,00	0,55	0,73	1,01	1,49	1,96	2,50	0,39	0,50	0,66	0,37	0,47	0,60
Nükleer	0,40	0,51	0,67	0,99	1,36	1,82	1,00	1,00	1,00	1,57	2,05	2,59	0,43	0,57	0,76	0,43	0,57	0,76
Güneş	0,30	0,35	0,43	0,40	0,51	0,67	0,39	0,49	0,64	1,00	1,00	1,00	0,39	0,49	0,64	0,37	0,47	0,60
Hidroelektrik	0,65	0,93	1,33	1,52	1,99	2,54	1,31	1,76	2,31	1,57	2,05	2,59	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	1,36
Jeotermal	0,62	0,86	1,21	1,66	2,15	2,69	1,31	1,76	2,31	1,66	2,15	2,69	0,74	1,00	1,36	1,00	1,00	1,00

Çizelge C.3: Yakıt maliyeti

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,31	0,37	0,46	0,69	1,00	1,45	0,30	0,36	0,45	0,34	0,42	0,54	0,38	0,49	0,64
Rüzgâr	2,16	2,67	3,24	1,00	1,00	1,00	2,50	3,02	3,53	0,72	0,94	1,21	0,66	0,87	1,14	0,72	0,99	1,33
Nükleer	0,69	1,00	1,45	0,28	0,33	0,40	1,00	1,00	1,00	0,37	0,48	0,62	0,34	0,42	0,54	0,38	0,49	0,64
Güneş	2,25	2,76	3,33	0,83	1,06	1,39	1,61	2,09	2,69	1,00	1,00	1,00	0,67	0,93	1,28	0,67	0,93	1,28
Hidroelektrik	1,87	2,36	2,95	0,87	1,14	1,52	1,87	2,36	2,95	0,78	1,08	1,49	1,00	1,00	1,00	0,71	1,00	1,40
Jeotermal	1,55	2,03	2,61	0,75	1,01	1,38	1,55	2,03	2,61	0,78	1,08	1,49	0,71	1,00	1,40	1,00	1,00	1,00

Çizelge C.4: Elektrik üretim maliyeti

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,42	0,53	0,71	1,49	1,96	2,50	2,45	2,98	3,50	0,39	0,49	0,65	0,78	1,08	1,49
Rüzgâr	1,40	1,88	2,40	1,00	1,00	1,00	1,49	1,96	2,50	2,36	2,88	3,40	0,67	0,93	1,28	0,66	0,86	1,13
Nükleer	0,40	0,51	0,67	0,40	0,51	0,67	1,00	1,00	1,00	1,49	1,96	2,50	0,40	0,51	0,67	0,38	0,47	0,62
Güneş	0,29	0,34	0,41	0,29	0,35	0,42	0,40	0,51	0,67	1,00	1,00	1,00	0,35	0,44	0,57	0,33	0,40	0,57
Hidroelektrik	1,54	2,03	2,55	0,78	1,08	1,49	1,49	1,96	2,50	1,77	2,26	2,84	1,00	1,00	1,00	1,40	1,88	2,40
Jeotermal	0,67	0,93	1,28	0,88	1,17	1,52	1,63	2,12	2,64	1,77	2,47	3,04	0,42	0,53	0,71	1,00	1,00	1,00

Çizelge C.5: İşletim süresi

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	1,57	2,05	2,59	0,50	0,68	0,96	1,40	1,88	2,40	1,54	2,03	2,55	1,33	1,79	2,32
Rüzgâr	0,39	0,49	0,64	1,00	1,00	1,00	0,31	0,38	0,47	0,65	0,85	1,11	0,64	0,86	1,17	0,74	1,00	1,36
Nükleer	1,05	1,47	1,99	2,11	2,64	3,18	1,00	1,00	1,00	2,45	2,98	3,50	2,36	2,88	3,40	2,79	3,32	3,84
Güneş	0,42	0,53	0,71	0,90	1,18	1,55	0,29	0,34	0,41	1,00	1,00	1,00	0,67	0,93	1,28	0,67	0,93	1,40
Hidroelektrik	0,39	0,49	0,65	0,85	1,17	1,57	0,29	0,35	0,42	0,78	1,08	1,49	1,00	1,00	1,00	0,47	0,59	0,62
Jeotermal	0,43	0,56	0,75	0,74	1,00	1,36	0,26	0,30	0,36	0,71	1,08	1,49	1,63	1,69	2,13	1,00	1,00	1,00

EK D

EK D.1: Çevresel Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

Çizelge D.1: Çevresel riskler

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,42	0,53	0,71	1,41	1,88	2,43	0,44	0,58	0,78	0,33	0,40	0,50	0,44	0,58	0,78
Rüzgâr	1,40	1,88	2,40	1,00	1,00	1,00	2,50	3,02	3,53	0,78	1,08	1,49	1,25	1,71	2,23	0,85	1,17	1,57
Nükleer	0,41	0,53	0,71	0,28	0,33	0,40	1,00	1,00	1,00	0,35	0,43	0,55	0,35	0,43	0,55	0,35	0,43	0,55
Güneş	1,28	1,74	2,27	0,67	0,93	1,28	1,82	2,32	2,85	1,00	1,00	1,00	1,78	2,29	2,80	0,74	1,00	1,36
Hidroelektrik	1,99	2,51	3,01	0,45	0,58	0,80	1,82	2,32	2,85	0,36	0,44	0,56	1,00	1,00	1,00	0,46	0,60	0,83
Jeotermal	1,28	1,74	2,27	0,64	0,86	1,17	1,82	2,32	2,85	0,74	1,00	1,36	1,21	1,66	2,19	1,00	1,00	1,00

Çizelge D.2: Çevresel etkiler

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,33	0,40	0,51	0,30	0,36	0,44	0,44	0,58	0,78	0,32	0,39	0,48	0,42	0,53	0,71
Rüzgâr	1,95	2,47	2,99	1,00	1,00	1,00	0,57	0,73	0,98	1,28	1,74	2,27	0,44	0,58	0,78	0,64	0,86	1,17
Nükleer	2,27	2,79	3,31	1,02	1,36	1,76	1,00	1,00	1,00	1,40	1,88	2,40	0,40	0,51	0,67	0,43	0,56	0,75
Güneş	1,28	1,74	2,27	0,44	0,58	0,78	0,42	0,53	0,71	1,00	1,00	1,00	0,42	0,55	0,74	0,73	0,96	1,24
Hidroelektrik	2,07	2,59	3,10	1,28	1,74	2,27	1,49	1,96	2,50	1,36	1,82	2,36	1,00	1,00	1,00	0,62	0,86	1,21
Jeotermal	1,40	1,88	2,40	0,85	1,17	1,57	1,33	1,79	2,32	0,81	1,05	1,36	0,83	1,17	1,63	1,00	1,00	1,00

EK E

EK E.1: Sosyal Alt Ölçütlerine Göre Enerji Kaynaklarının İkili Karşılaştırma Matrisleri

Çizelge E.1: Benimsenme

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,33	0,40	0,50	1,41	1,88	2,43	0,28	0,33	0,40	0,28	0,33	0,40	0,28	0,33	0,40
Rüzgâr	1,99	2,51	3,01	1,00	1,00	1,00	2,50	3,02	3,53	1,36	1,82	2,36	1,54	2,03	2,55	1,49	1,96	2,50
Nükleer	0,41	0,53	0,71	0,28	0,33	0,40	1,00	1,00	1,00	0,32	0,39	0,48	0,30	0,36	0,30	0,30	0,36	0,55
Güneş	2,50	3,02	3,53	0,42	0,55	0,74	2,08	2,59	3,13	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	1,36	0,74	1,00	1,36
Hidroelektrik	2,50	3,02	3,53	0,39	0,49	0,65	3,31	2,79	3,34	0,74	1,00	1,36	1,00	1,00	1,00	0,64	0,86	1,17
Jeotermal	2,50	3,02	3,53	0,40	0,51	0,67	1,82	2,81	3,32	0,74	1,00	1,36	0,85	1,17	1,57	1,00	1,00	1,00

Çizelge E.2: İstihdam

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	1,41	1,88	2,43	0,67	0,93	1,28	0,64	0,86	1,17	0,69	0,89	1,13	1,44	1,90	2,45
Rüzgâr	0,41	0,53	0,71	1,00	1,00	1,00	0,41	0,53	0,70	0,67	0,93	1,28	0,41	0,53	0,70	0,78	1,08	1,49
Nükleer	0,78	1,08	1,49	1,44	1,90	2,45	1,00	1,00	1,00	0,61	0,78	1,01	0,71	0,91	1,17	1,44	1,90	2,45
Güneş	0,85	1,17	1,57	0,78	1,08	1,49	0,99	1,28	1,64	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	1,36	1,36	1,82	2,36
Hidroelektrik	0,88	1,13	1,44	1,44	1,90	2,45	0,85	1,09	1,41	0,74	1,00	1,36	1,00	1,00	1,00	1,57	2,05	2,59
Jeotermal	0,41	0,53	0,70	0,67	0,93	1,28	0,41	0,53	0,70	0,42	0,55	0,74	0,39	0,49	0,64	1,00	1,00	1,00

Çizelge E.3: İş güvenliği

	Fosil			Rüzgâr			Nükleer			Güneş			Hidroelektrik			Jeotermal		
Fosil	1,00	1,00	1,00	0,31	0,36	0,45	1,54	2,03	2,57	0,34	0,42	0,54	0,30	0,36	0,44	0,34	0,42	0,54
Rüzgâr	2,23	2,76	3,28	1,00	1,00	1,00	2,50	3,02	3,53	1,33	1,79	2,34	1,22	1,66	2,21	1,41	1,88	2,43
Nükleer	0,39	0,49	0,65	0,28	0,33	0,40	1,00	1,00	1,00	0,30	0,36	0,44	0,31	0,37	0,46	0,31	0,37	0,46
Güneş	1,86	2,36	2,93	0,43	0,56	0,75	2,28	2,79	3,34	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	1,36	0,78	1,08	1,49
Hidroelektrik	2,27	2,79	3,31	0,45	0,60	0,82	2,16	2,67	3,21	0,74	1,00	1,36	1,00	1,00	1,00	0,64	0,86	1,17
Jeotermal	1,86	2,36	2,93	0,41	0,53	0,71	2,16	2,67	3,21	0,67	0,93	1,28	0,85	1,17	1,57	1,00	1,00	1,00

EK F

EK F.1: İkili Karşılaştırma Örnek Değerlendirme Formu

Aşağıdaki ikili karşılaştırmalar için uygun gördüğünüz alanı işaretleyiniz. Eğer soldaki ölçüt sağdaki ölçüte göre daha önemli ise “eşit önemli” derecesinden sola doğru ne kadar önemli olduğunu belirtiniz. Eğer soldaki ölçüt sağdaki ölçüte göre daha az önemli ise “eşit önemli” derecesinden sola doğru ne kadar daha az önemli olduğunu belirtiniz.

Çizelge F.1

Alt Ölçütün Diğerine Göre Önemi									
Ölçüt	Kesin Önemli	Çok Fazla Önemli	Çok Daha Önemli	Daha Önemli	Eşit Önemli	Çok Az Önemli	Daha Az Önemli	Çok Daha Az Önemli	Kesin Önemsiz
Teknik									Ekonomik
Teknik									Çevresel
Teknik									Sosyal
Ekonomik									Çevresel
Ekonomik									Sosyal
Çevresel									Sosyal

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Muhittin Emir ATÇI

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul – 10.01.1987

Adres: Kaptan Arif Çıkmazı Sok. Medine Apt. No:3/4 Suadiye / İstanbul

E-Posta: emiratci@gmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi – Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Müh.

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Mesleki Deneyim

Michael Page International – Consultant

K2 Partnering Solutions – SAP Delivery Consultant

MyTECHNIC – Purchasing Assistant Specialist

Ödüller

YTÜ Lisans Eğitimi Fakülte ve Bölüm Birinciliği