

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILACAK YAKIT
TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şafak TAYŞI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILACAK YAKIT
TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR MODELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Şafak TAYŞI
(507101138)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlker TOPÇU
Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim
Programı : Herhangi Program**

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507101138 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Şafak TAYŞI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILACAK YAKIT TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR MODELİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İlker TOPÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Demet BAYRAKTAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **6 Haziran 2012**

Aileme,

ÖNSÖZ

Kapsamlı bir araştırma ve değerlendirme ile benim açımdan yararlı bir çalışma olduğuna inandığım yüksek lisans tezimi hazırladığım süre içinde, konu ile ilgili bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, ilgi ve önerilerini hiç bir zaman esirgemeyen, tez danışmanlığımı özenle yürüten değerli hocam Prof. Dr. İlker TOPÇU'ya ve tez konumla ilgili bilgi ve deneyimlerinden ötürü çalışmama katkı sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU'ya teşekkür ederim.

Mayıs 2012

Şafak Tayşı
(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ÜRETİM DURUMU	5
2.1 Dünya'da Elektrik Üretim Durumu.....	5
2.2 Türkiye'de Elektrik Üretim Durumu.....	8
2.2.1 Türkiye'de yenilenebilir yakıt türlerinden elektrik üretimi	15
2.2.2 Türkiye'de yenilenebilir olmayan yakıt türlerinden elektrik üretimi.....	18
3. ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN KULLANILABİLECEK YAKIT TÜRLERİ 21	
3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	22
3.1.1 Hidroelektrik enerjisi	22
3.1.2 Rüzgar enerjisi	23
3.1.3 Güneş enerjisi.....	24
3.1.4 Biyokütle enerjisi	25
3.1.5 Jeotermal enerji	26
3.2 Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları.....	27
3.2.1 Nükleer enerji.....	27
3.2.2 Fosil yakıtlar	28
3.2.2.1 Kömür-Linyit	29
3.2.2.2 Petrol	30
3.2.2.3 Doğalgaz	30
3.3 Birleşik ısı ve güç enerjisi (CHP).....	31
3.4 Karar Modelinde Değerlendirilecek Yakıt Türleri	32
4. YAKIT TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK KRİTERLER.....	35
4.1 Önceki Çalışmalarda Kullanılan Kriterler.....	35
4.2 Karar Modelinde Kullanılacak Kriterler	44
5. ÖNERİLEN KARAR MODELİ	47
5.1 Kullanılan Yöntemler	48
5.1.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS).....	48
5.1.2 TOPSIS	51
5.2 Uygulama	53
5.2.1 Önerilen model kapsamında 1. ve 2. aşama.....	54
5.2.2 Seçim Kriterlerinin Ağırlıklarının Elde Edilmesi	56
5.2.3 Yakıt Türlerinin Sıralanması.....	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69

KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

AHP : Analitik Hiyerarşı Süreci

TOPSIS : İdeal Çözümlere Benzerliğe Göre Tercihlerin Sıralanması Yöntemi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye’deki kurulu güç ve elektrik üretim miktarlarının gruplara göre dağılımı.....	9
Çizelge 2.2 : 2009 yılı itibariyle Türkiye’nin yerli kaynak potansiyeli.....	11
Çizelge 2.3: Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimi (kWh/Kişi)	12
Çizelge 2.4 : Türkiye’de nüfus ve kişi başına elektrik tüketimine ait gelecek projeksiyonu.....	14
Çizelge 2.5 : Talep değişim tahminleri.....	14
Çizelge 2.6: Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Kolektör Alanları İle Üretim ve Tüketim Değerleri	17
Çizelge 2.7 : Türkiye’de Elektrik Üretimine Uygun Jeotermal Sahalar.....	17
Çizelge 2.8 : Hidroelektrik Üretimin Toplam Elektrik Üretimi İçinde Payı.	18
Çizelge 2.9: Linyite dayalı santraller	20
Çizelge 3.1: Karar modelinde değerlendirilecek yakıt türleri	33
Çizelge 4.1 : Ana kriterler/kriterler	35
Çizelge 4.2: Ana kriterler/kriterler	37
Çizelge 4.3: Ana kriterler/kriterler	39
Çizelge 4.4 : Ana kriterler/kriterler	41
Çizelge 4.5: Karar ağlarında bulunan kümeler ve kümelerde bulunan faktörler.....	42
Çizelge 4.6: Karar modelinde kullanılacak kriterler.....	45
Çizelge 5.1: Katılımcı bilgileri	47
Çizelge 5.2:AHS Önem Ölçeği.	50
Çizelge 5.3: Rassallık Endeksi Verileri	51
Çizelge 5.4: Karar modelinde kullanılacak seçenekler.....	54
Çizelge 5.5 :Ana kriter ve kriterlere ait ikili karşılaştırmalar	57
Çizelge 5.6: Seçim kriterlerinin ağırlıkları	62
Çizelge 5.7: Birinci kritere göre seçeneklerin değerlendirilmesi	63
Çizelge 5.8 :Karar matrisi.....	63
Çizelge 5.9: Normalize edilmiş karar matrisi	64
Çizelge 5.10:Ağırlıklandırılmış karar matrisi.....	65
Çizelge 5.11: Pozitif ve Negatif ideal çözümler	65
Çizelge 5.12 :Ayrım ölçüleri	66
Çizelge 5.13: İdeal çözüme göre yakınlıklar	66
Çizelge 5.14: Seçeneklere ait tercih puanları	67
Çizelge 6.1: Yakıt türleri sıralama.....	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 :2010 Yılı Dünya Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	6
Şekil 2.2 :Enerji Kaynaklarına Göre Dünya Elektrik Üretimi.....	6
Şekil 2.3 :Elektrik Tüketimi.....	11
Şekil 2.4 :2010 Yılı Türkiye Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı..	12
Şekil 2.5 :2009 Yılı Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimi.....	13
Şekil 2.6 :Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimleri Artış Oranları....	13
Şekil 2.7 :Türkiye’de Rüzgar Hızı Dağılımları.....	15
Şekil 2.8 :Rüzgara Dayalı Üretim.....	16
Şekil 2.9 :Türkiye’de Hidroelektrik Potansiyelinin Gelişimi....	18
Şekil 2.10:Doğalgazın Toplam Üretimdeki Payı....	19
Şekil 3.1 :Enerji Üretim Kaynakları....	21
Şekil 3.2 :Güneş Enerjisi ile Elektrik Enerjisi Üretimi.....	24
Şekil 3.3 :Nükleer Enerji ile Elektrik Enerjisi Üretimi.....	28
Şekil 3.4 :Fosil Yakıtlardan Elektrik Enerjisi Üretimi....	29
Şekil 3.5 :Birleşik Isı ve Güç Enerjisi Teknolojisi ile Elektrik Üretim Akışı.....	32
Şekil 5.1: Amaçlanan AHS-TOPSIS Yöntemi Aşamaları.....	48
Şekil 5.2: AHS Hiyerarşik Yapısı.....	49
Şekil 5.3: Modele ait Hiyerarşik Yapı....	55
Şekil 5.4: Modelin Super Decisions Programında Yapılandırılması....	56
Şekil 5.5: Ana Kriterlere Ait Önem Dereceleri....	58
Şekil 5.6: Fiziki Faktörlere Ait Kriter Önem Dereceleri....	58
Şekil 5.7: Çevresel Faktörlere Ait Kriter Önem Dereceleri.....	59
Şekil 5.8: Ekonomik Faktörlere Ait Kriter Önem Dereceleri....	59
Şekil 5.9: Kontrol Edilemeyen Durumlara Ait Kriter Önem Dereceleri....	60
Şekil 5.10: Teknolojik Faktörlere Ait Kriter Önem Dereceleri....	60
Şekil 5.11: Sosyo-Politik Faktörlere Ait Kriter Önem Dereceleri....	61
Şekil 5.12: Yakıt Türü Puan Sıralamaları.....	67

TÜRKİYE’DE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILACAK YAKIT TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR KARAR MODELİ

ÖZET

Bilindiği üzere enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Ülkemiz, kalkınma hedeflerini gerçekleştirme, toplumsal refahı artırma ve sanayi sektörünü uluslararası alanda rekabet edebilecek bir düzeye çıkarma çabası içindedir. Bu durum, enerji talebinde uzun yıllardır hızlı bir artışı beraberinde getirmektedir. Önümüzdeki yıllarda da bu eğilimin devam edeceği hesaplanmaktadır. Türkiye için en temel sorunlarından bir tanesi, elektrik üretim miktarının artırılması için en etkin enerji politikasının saptanmasıdır. Bu konuda yapılmış olan çalışmaların işaret ettiği üzere, uygun enerji kaynağının seçilmesi kapsamlı ve çok boyutlu bir analizi gerekli kılmaktadır. Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının değerlendirilmesi, ülkelerin içinde bulunduğu çevresel, politik, coğrafi şartlardan bağımsız ele alınamaz. Örneğin bulunduğu konum itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük çoğunluğu coğrafi ve çevresel faktörlere bağımlıdır. Ya da doğalgaza dayalı bir santralin işletme sürekliliğini, ülkenin politik istikrarı ya da enerji kaynağının arz güvenliğinden bağımsız ele almak olanaksızdır. Bu bağlamda, her ülke, içerisinde bulunduğu coğrafi ve politik durumları göz önüne alarak enerji politikasını bağımsız bir şekilde kurgulamak durumundadır.

Bu çalışmada Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türlerinin seçimi ve sıralanması problemi ele alınmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve TOPSIS (İdeal Çözümlere Benzerliğe Göre Tercihlerin Sıralanması Yöntemi) yöntemleri birlikte en uygun enerji politikasının belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır.

Öncelikle modelde kullanılacak olan seçenekler ve kriterlerin belirlenmesi aşamasında kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan olmak üzere toplamda 9 yakıt türü modelde değerlendirilmeye tabii tutulmuştur. Hidroelektrik, rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal yakıt türleri yenilenebilir enerji kapsamında; nükleer, kömür&linyit, petrol ve doğalgaz ise yenilenebilir olmayan enerji kapsamında değerlendirilmiştir. Seçeneklerin belirlenmesi aşamasından sonra, kapsamlı bir literatür çalışması ardından daha önceki çalışmalarda ele alınan ana kriterler ve kriterler gruplandırılmıştır. Ardından ise Türkiye örneği göz önünde bulundurularak, karar modelinde kullanılacak 6 ana kriter ve 18 kriter belirlenmiştir. Kriterler ve seçeneklerin belirlenmesinden sonra uygulama aşamasında uzmanlara sorulmak üzere anket oluşturulmuştur. İki bölümden oluşan anketin birinci bölümü ana kriter ve kriterlerin nispi ağırlıklarının hesaplanmasına imkan sağlarken, ikinci bölümü ise her bir seçeneğin ilgili kriterlere göre değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. AHS yöntemi ana kriterler ve alt kriterlerin önem derecesinin belirlenmesi için, TOPSIS yöntemi ise tedarikçilerin sıralanması için kullanılmıştır. AHS yönteminde

kriter ağırlıkları ve tutarsızlık oranları Super Decisions programı ile elde edilmiştir. TOPSIS yönteminin adımları için Microsoft Excel hesaplamalarından yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda biyokütle enerjisi en çok tercih edilen yakıt türü olarak seçilmiştir. Geriye kalan sıralama ise sırasıyla; hidroelektrik enerjisi, kömür&linyit, nükleer enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, petrol ve doğalgaz olarak belirlenmiştir.

A DECISION MODEL FOR EVALUATION OF ENERGY SOURCES FOR THE ELECTRICITY GENERATION FOR THE CASE OF TURKEY

SUMMARY

As is known, energy is the most important factor that increases the quality of life and enables the economic and social progress. In Turkey, the growing population, industrialization and increasing standard of living have considerably increased the dependence on imported energy. Consequently, in addition to the development of conventional energy resources, exploitation of non-conventional energy resources and energy conservation has become inevitable.

Like every country, Turkey is in a struggle for reaching the development targets, increasing social wealth and making the industry sector competitive in international area. This effort brings the increase in energy demand year by year. Additionally, it is believed that this tendency will continue in the coming years. However, there is a question still stands to be answered; how will we generate electricity when we run out of coal, oil, and natural gas, or when the demand for electricity is greater than that generated by solar cells, wind power, or hydroelectric dams? To find out the appropriate energy source combination to use in the following years, one of the decision-making methods is utilized this thesis. From this point of view, it is obvious that a major problem Turkey faces now is to find the most suitable way of obtaining additional electrical power. There is a conflict between the economic and environmental value of the alternatives. The conventional fuels such as coal and oil are less attractive energy resources if they are evaluated from an environmental point of view. Renewable energy resources that are generally seen as suitable substitutes for conventional resources, however, differ in their capacities for power generation, suitability of potential site, sustainability and stability of energy resource, etc. Additionally, renewable technologies are generally coming with relatively high capital costs and low operation and maintenance costs. These characteristics make them attractive in the long run, but less attractive in a competitive setting where the premium is on cost minimization. Therefore, the appropriate selection of an electricity generation resource necessitates a multi-attribute evaluation of the electricity generation systems.

In this study, a multi-criteria decision model is addressed for the evaluation and ranking of the energy sources for the electricity generation for the case of Turkey. To determine the most appropriate energy policy, the multi-criteria decision making techniques AHP (Analytic Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) are applied to the model.

This study consists of 6 sections. In section 1, the introduction part in which a brief summary of the thesis is given.

The second section analyses the current state of electricity production in Turkey and World and plans for the future. In this part, sources of electricity generation are analyzed and the generation ratios of each resource, electricity consumption per

capita are given year by year. For the future, the projected electricity consumption and generation values are discussed. According to these values, potential scenarios for the Turkey and World are underlined.

In section 3, all the potential energy resources are described in detail after a comprehensive literature review. These resources are classified in two groups which are renewable and nonrenewable. For the renewable resources, hydroelectricity energy, wind energy, solar energy, biomass and geothermal energy are evaluated. For the nonrenewable resources, nuclear energy, coal & lignite, petroleum and natural gas are evaluated. All the mentioned resources are explained according to the several factors such as environmental, economic, political criteria.

The fourth section shows the criteria that are used to evaluate the alternative energy resources from different perspectives and provides a detailed evaluation of all the resources considered. First all the main criteria and sub-criteria are grouped after a comprehensive literature review. To determine the final criteria list for the case of Turkey, some criteria are removed by receiving the expert opinions. According to the final list, there are 7 main criteria and 18 criteria. The main criteria are formed as; physical aspects, environmental aspects, economic aspects, uncontrolled conditions, efficiency, technological aspects and socio-political aspects. Under each of these main criteria, sub-criteria are existed.

The fifth section shows the application of the suggested model and the findings. Firstly, the integrated approach formed with AHP and TOPSIS methods are explained. After that the application part is introduced. In application phase, a survey with two sections is created. For the survey part, 8 expert who are from academic and private sector are identified. For the academic platform, one of the experts is from Industrial Engineering Department from the Management Faculty of İstanbul Technical University, the other three experts are from the Energy Institute of İstanbul Technical University. The remaining four experts are from private sector. But these ones are also postgraduate students in the Energy Institute in İstanbul Technical University. After the survey is carried out, the geometric means of the survey results are entered into Super Decisions program to get the weights of the each main criteria and sub-criteria by the aid of AHP method. In the second part of the survey, each of the energy alternatives is evaluated with respect to each criterion. TOPSIS method is used to rank the energy resources and determine the most appropriate one for the Turkey. Microsoft Excel software are used to handle the calculations which are necessary for TOPSIS method,

Finally in the sixth section, conclusions and further suggestions are given. The results show that biomass is the most exciting alternative to resolve Turkey's electricity generation problem in the future. In worldwide, within the scope of CO₂ emission, there is a great attention to renewable resources due to the anxiety of global warming. When biomass is compared to the other renewable resources, reasonable cost levels make it attractive. From this point of view, it will be advantageous for Turkey to make investment plans and encouragement programs about the power plants which will use biomass fuel. Hydroelectricity source is ranked as second according to the study. Some characteristic like fully renewable, no harmful gases emission and compatibility with the national energy policies make it second in the ranking list. Coal & Lignite and nuclear resources are ranked as third

and fourth respectively. Actually the ranking of these two conventional resources is somewhat different from the previous studies for the case of Turkey. As it is understood, the importance levels given by experts for the environmental and operations risks make them reasonable sources. The remaining ranking is as follows; geothermal, wind, solar, natural gas and petroleum.

This study can contribute to the authorities to identify the right priorities during determining the national energy policy. In further studies, the survey can be carried out with more than 8 experts, and the working areas of experts can be enlarged. When experts from different major areas participate to the study (i.e. engineers, people from public, government, etc.) more reliable results can be obtained. Moreover, the results of this study may be compared with the results of other MCDM methods like ELECTRE, PROMETHEE, or VIKOR.

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Günümüzde dünya nüfusunun %20'sinden fazlasını teşkil eden 1.5 milyar insan halen elektriğe kavuşmuş değildir. 2030 yılında bu sayının sadece 200 milyon azalması beklenmektedir. Bu insanların %85'i Afrika ve Güney Asya'nın kırsal bölgelerinde yaşamakta olup enerjiye erişimlerinin sağlanması son derece önemlidir [1;2]. Ancak, artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, dünya enerji talebindeki artış, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayabilecek ticari gelişimden henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji arz güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır. Tüm dünyada son 25 yılda, özellikle elektrik enerjisine talebin yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Elektriğin 2035 yılına kadar en hızlı büyüyen (%2.5) son kullanıcı enerji formu olması, nihai enerji tüketimindeki payının 2008'deki %17 düzeyinden 2020'de %20'ye, 2035'te ise %23'e çıkması beklenmektedir.

Gelişme düzeyi ile elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimindeki payı arasında bir ilişki bulunmaktadır. 2010 yılında elektrik tüketimimiz bir önceki yıla (193.2 milyar kW-saat) göre %7.92 artarak 208.5 milyar kW-saat, elektrik üretimimiz ise bir önceki yıla göre (194.81 milyar kW-saat) %7.89 artarak 210.18 milyar kW-saat olarak gerçekleşmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırladığı son elektrik talep tahmini rakamlarının (2010-2019), 2018 yılı baz alındığında, bir önceki çalışmaya (2009-2018) göre %1.65 (Yüksek Talep için) ve %2.62 (Düşük Talep için) arttığı görülmüştür. Revize rakamlar, 2019 yılında Yüksek Talep Senaryolarına göre 389.98, Düşük Talep Senaryolarına göre ise yaklaşık 367.35 milyar kW-saat düzeyine ulaşılacağını göstermektedir[1;3].

Türkiye'de; artan nüfus, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi ithal enerji bağımlılığını her geçen gün artırmaktadır. Bu sebeple geleneksel enerji kaynaklarındaki gelişmelere ilaveten geleneksel olmayan enerji kaynaklarından da

yararlanılması kaçınılmaz bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. 1999 yılında ülkemizde toplam enerji üretimi talebin % 36'sını karşılarken, 2010 yılında % 28'ini, 2020 yılında ise yaklaşık olarak % 24'ünü karşılayabileceği öngörülmektedir. Elektrik üretim miktarının arttırılması için en etkin yolun bulunması konusu Türkiye için en temel meselelerden bir tanesidir. Seçenekler değerlendirilirken, ekonomik ve çevresel faktörler göz önüne alındığında bazı çelişkili durumlar ortaya çıkabilmektedir[4;5]. Örneğin, kömür ve petrol gibi geleneksel yakıt türleri çevresel açıdan değerlendirildiğinde cazipliğini yitirebilmektedir. Öte yandan geleneksel yakıt türlerine alternatif teşkil eden yenilenebilir enerji kaynakları ise üretimdeki kapasite, potansiyel mevkinin uygunluğu, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve durağanlığı gibi açılardan ele alındığında farklılıklar gösterebilmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynakları görece yüksek yatırım maliyetleri ve düşük işletme ve bakım masraflarına sahiptirler. Bu özellikler uzun vadede onları etkin kılsa da maliyet minimizasyonunun önem arz ettiği rekabetçi ortamda dezavantaj oluşturmaktadır. Tüm bu nedenlerden ötürü, elektrik üretiminde kullanılacak olan yakıt türlerinin seçimi aşamasında, elektrik üretim sistemlerinin çok ölçütlü bir değerlendirmeye tabii olması önem arz etmektedir.

Yapılan literatür çalışması sonucunda görülmüştür ki, enerji politikalarının belirlenmesi her ülke ya da bölge için farklılık göstermektedir. Çünkü karar analizinde göz önüne alınan faktörler bölgeden bölgeye farklılıklar göstermektedir. Örneğin, herhangi bir ülkede kurulacak bir teknolojiye ait teknik uzmanlık düzeyi yetersiz ise ilgili teknoloji o bölgede cazibesini yitirebilmektedir. Ya da elektrik üretiminde kullanılacak yakıt türü tamamıyla farklı ülkeden ithal edilmekteyse, bu durumun ekonomik ve politik anlamda çeşitli riskler taşıdığından bahsedilebilir. Öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine bakacak olursak, güneş enerjisi, hidrogüç ya da rüzgar enerjisinin yıl içerisindeki iklim koşulları ile direkt ilişkisinin olduğundan söz edilebilir. Örneğin güneşlenme sürelerinin azaldığı ya da rüzgar esintilerinin kesintiye uğradığı dönemlerde elektrik üretim miktarlarının ve buna bağlı olarak verim oranlarının ciddi oranda düştüğü bilinmektedir.

Bu çalışmada temel olarak, Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türlerinin değerlendirilmesi ve sıralanmasına dair çok-kriterli karar analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde Dünya'da ve Türkiye'de elektrik üretim durumuna dair bilgi ve gelişmelerden bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde, elektrik

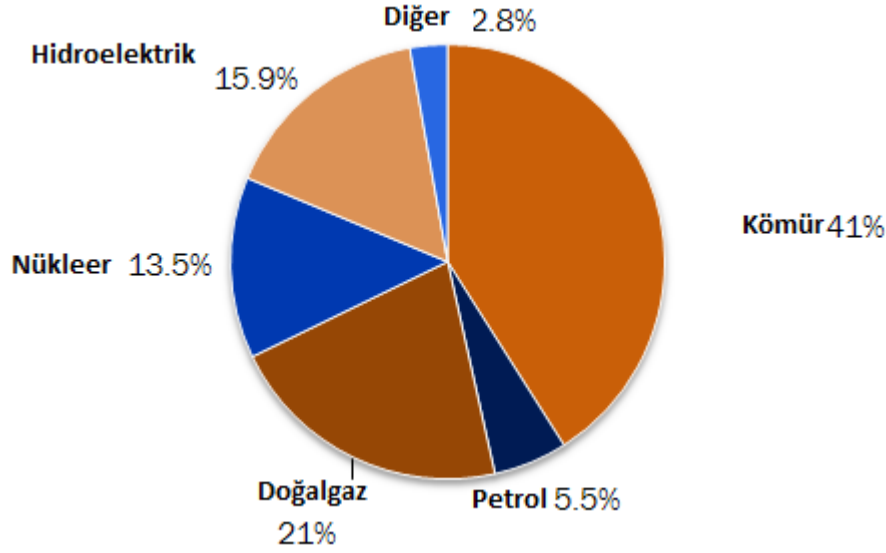
retimi için kullanılabilecek tüm yakıt türleri hakkında bilgi verilmiş ve bu yakıt türlerinden hareketle, karar modelinde değerlendirilecek yakıt türleri saptanmıştır. Dördüncü bölümde, kapsamlı bir literatür çalışması ardından daha önceki çalışmalarda ele alınan ana kriterler ve kriterler gruplandırılmıştır. Ardından ise Türkiye rneği göz önünde bulundurularak, karar modelinde kullanılacak 6 ana kriter ve 18 kriter belirlenmiştir. Beşinci bölümde, AHS ve TOPSIS yöntemlerinin birleştirilmesinden oluşan entegre yaklaşım hakkında bilgi verilmiş ardından AHS ve TOPSIS yöntemleri anlatılmış ve son olarak modele dair uygulama yapılmıştır. Son bölüm olan altıncı bölümde ise modelin sonuçları tartışılarak öneriler getirilmiştir.

2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ÜRETİM DURUMU

2.1 Dünya'da Elektrik Üretim Durumu

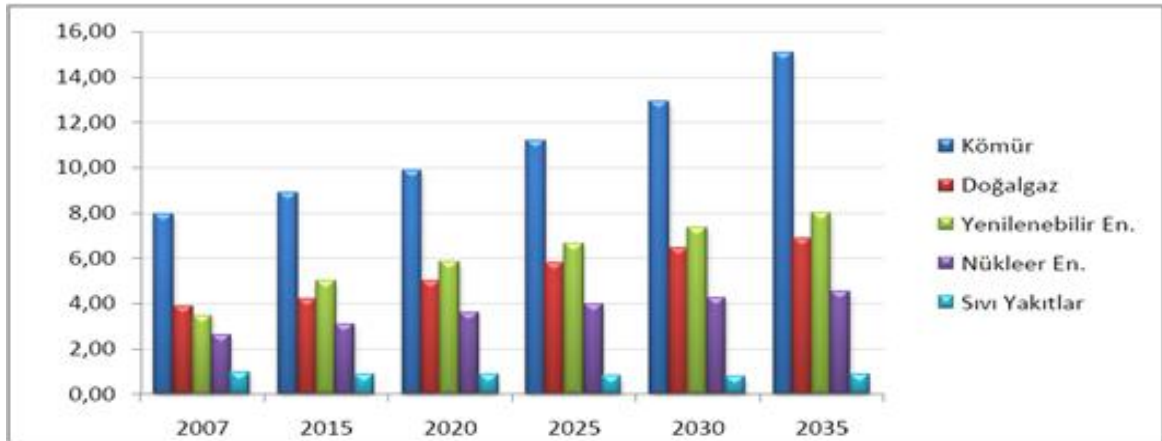
Tüm dünyada son 25 yılda, özellikle elektrik enerjisine talebin yoğunlaştığı gözlemlenmektedir. Elektriğin 2035 yılına kadar en hızlı büyüyen (%2.5) son kullanıcı enerji formu olması, nihai enerji tüketimindeki payının 2008'deki %17 düzeyinden 2020'de %20'ye, 2035'te ise %23'e çıkması beklenmektedir[1;2;6]. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan senaryo çalışmasına göre (WEO2010) elektrik üretiminin, 2008'de 20,183 TWh'den ortalama %2.4'lük artışlarla 2020'de 28,032 TWh'ye, 2030'da 34,716 TWh'ye ve 2035'de de 38,423 TWh'ye yükselmesi beklenmektedir. Bu rakamlar 2008-2035 döneminde %90.0'lık artışa işaret etmektedir Benzer şekilde, ABD Enerji Bilgi İdaresi olan EIA tarafından hazırlanan Referans Senaryo Çalışması'na (IEO2010) göre ise 2007'de 18,800 TWh olan elektrik üretiminin 2020'de 25,000 TWh'ye yükselmesi beklenmektedir. 2007 – 2035 döneminde ise toplam %87.2'lik bir artışla (yıllık %2.3'lük artışlarla), 2035'de üretimin 35,200 TWh'ye yükseleceği hesaplanmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde görülen büyük ekonomik gelişmeler elektrik talebinin de bu ülkelerde artmasına sebep olmaktadır. Kişi başına gelirin artmasıyla yaşam standartları artmakta, bu da endüstri, aydınlatma ve ev aletleri için olan elektrik talebini arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak, WEO2010 çalışmasındaki elektrik üretiminde öngörülen bu 18,240 TWh'lik artışın büyük kısmının (%83.7'sinin), 2008-2035 arasında ortalama yıllık %0.9 oranında artış beklenen Türkiye'nin de aralarında bulunduğu OECD üyesi ülkelere ziyade, %3.6 oranında kuvvetli bir artış beklenen OECD üyesi olmayan ülkelere gerçekleşeceği hesaplanmaktadır. Tüm dünyada elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin 2035 yılına kadar brüt 4,160 GW artması beklenmektedir. Bu bağlamda elektrik sektörünün, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan Yeni Politikalar Senaryosu'na göre 2010-2035 döneminde yapılması beklenen 32.8 trilyon dolarlık enerji yatırımlarındaki payının tek başına 16.6 trilyon dolar (2009 rakamlarıyla) olacağı öngörülmektedir.

2010 yılı verilerine göre dünya elektrik üretimi 21.100 TWh olarak gerçekleşmiştir ve bunun % 41'i kömürden, % 21'i doğal gazdan, % 15,9'u da hidroelektrik kaynaklardan sağlanmıştır[7]. Küresel elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı şekil 2.1'de gerçekleşmiştir;



Şekil 2.1 : 2010 Yılı Dünya Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı[7;61].

2010 yılında üretilen elektriğin % 41,7'si sanayide, % 1,6'sı ulaşırmada, geri kalan % 56,7'si ise tarım, ticari hizmetler, kamu hizmeti, konutlar ve diğer alanlarda tüketilmiştir. En büyük elektrik üreticisi 4344 TWh ile Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olurken en büyük elektrik ihracatçısı 48 TWh ile Fransa, en büyük ithalatçı ise 42 TWh ile Brezilya'dır[31]. Yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarına göre Dünya elektrik üretimi (TWh), yıllar itibarıyla şekil 2.2'de olduğu gibidir[8].



Şekil 2.2 : Enerji Kaynaklarına Göre Dünya Elektrik Üretimi (TWh)[8].

2008-2035 döneminde elektrik üretiminde kömür ve doğal gazın en önemli kaynaklar olmaya devam edeceği, kömürün payının %41'den %42.8'e, doğal gazın payının %21.3'ten %21.7'ye yükseleceği; petrolün payının ise %5.5'den %1.6'ya, hidroliğin payının %15.9'dan %13.3'e, nükleerin payının da %13.5'den %10.8'e düşeceği öngörülmektedir. En büyük yüzdelik artış ise rüzgarda beklenmektedir. Aynı dönemde rüzgarın %1.1'lik payının %5'e yükseleceği öngörülmektedir. Kömür yakıtlı elektrik üretiminin 2035 yılına kadar ortalama yılda %2.6 artması beklenmektedir. Ancak kömürden elektrik üretimi ile ilgili projeksiyonlar, sera gazı emisyonlarını azaltmaya veya sınırlamaya yönelik ulusal mevzuatların veya uluslararası anlaşmaların yürürlüğe girmesine göre önemli ölçüde değişebilir. Bu tarz kısıtlamalar olmadığı takdirde, özellikle Çin, Hindistan ve OECD-dışı diğer Asya ülkeleri gibi zengin kömür yataklarına sahip yerlerde, daha pahalı yakıtların yerine kömürün kullanılacağı düşünülmektedir [2;6].

Doğalgaz yakıtlı elektrik üretiminin ise 2030 yılına kadar yıllık %2.5'lik bir oranda artması öngörülmektedir. Doğal gazın elektrik üretimindeki önemli rolünün süreceği, ancak 2020 yılından sonra doğal gazın elde edilme maliyetlerinin artacağı dolayısıyla 2020 sonrasında doğal gaz kullanımındaki artışın önemli ölçüde yavaşlayacağı öngörülmektedir[7].

Nükleer enerjiden elektrik üretiminin ise 2008'de gerçekleşen 2,731 TWh değerinden 2035 yılında 4,147 TWh'e yükseleceği, ancak nükleer enerjinin toplam enerji üretimindeki payının %14'ten %11'e düşeceği hesaplanmaktadır. Dünyadaki nükleer santral kurulu gücünün ise 2008 yılındaki 391 GW değerinden, 2035'de 551 GW'a çıkması beklenirken, nükleer kapasitede Avrupa Birliği'nde düşüşler öngörülmektedir. Özellikle 2020 yılından sonra ömrünü tamamlayarak devreden çıkarılacak çok sayıda nükleer santralin varlığının etkisiyle Avrupa Birliği'nde 2008 itibarıyla 139 GW olan nükleer kurulu gücün 2035'de 106 GW'a inmesi beklenmektedir. 2035'e kadar Çin (83 GW) başta olmak üzere OECD-dışı Asya ülkelerinde 108 GW'lık artış tahmin edilmektedir. Rusya'nın ilave ünitelerle nükleer kapasitesini 2035 yılına kadar 13 GW arttıracığı düşünülmektedir. ABD'de de 14 GW'lık bir artışla 2035 yılında 120 GW'a ulaşılması beklenmektedir[2;6].

Yüksek petrol fiyatları, fosil yakıtların çevresel etkileri üzerine duyulan endişeler, dünyanın pek çok ülkesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının arttırılmasına yönelik verilen teşvikler, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş

oranda kullanımının yolunu açmaktadır. 2035 yılına kadar dünya genelinde hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketiminde yıllık %3.2'lik artışlar beklenmektedir [9]. Hidrolik dışında yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçteki oranı 2008'de %4 iken, 2030 yılında bu oranın %10'a yükseleceği, hidroelektriğin ise aynı dönemde %16'dan %13'e gerileyeceği öngörülmektedir. Yenilenebilir kaynaklardaki artışa en büyük katkı ise rüzgar enerjisinden gelecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanım payının %18.7 (2008) seviyesinden 2020 yılında %21.7 ve 2035 yılında da %23.1'e ulaşacağı düşünülmektedir [2;6].

Yenilenebilir enerji tüketiminde beklenen bu artışın OECD dışındaki ülkelerde, özellikle Çin, Hindistan, Brezilya, Malezya ve Vietnam'da inşasına başlanan orta ve 5 büyük ölçekli hidroelektrik santrallardan gelmesi beklenirken, OECD ülkelerinde ise gelecekte, Kanada ve Türkiye haricinde, büyük ölçekli çok az hidroelektrik santral inşa projesi öngörülmektedir. OECD ülkelerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışın rüzgar ve biyokütle başta olmak üzere hidrolik dışındaki kaynaklardan karşılanması beklenmektedir. Rüzgar enerjisine olan yatırımlar, OECD-dışı ülkelerde özellikle Çin'de artmaya devam etmektedir [2]. Güneş (PV ve CSP) ve dalga enerjisi uygulamaları ise henüz büyük ölçüde ticarileşme sürecinin başlangıç aşamasında olup, 2035 yılında PV için 352 TWh, CSP için 185 TWh ve dalga enerjisi için de 39 TWh'lik elektrik üretim seviyelerine ulaşılması öngörülmektedir[2;3].

2.2 Türkiye'de Elektrik Üretim Durumu

Türkiye'nin enerji politikasının temel hedefi, enerji ve tabii kaynakları; verimli, etkin, güvenli ve çevreye duyarlı şekilde değerlendirerek, ülkenin dışa bağımlılığını azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamaktır.

Bu bağlamda Türkiye'nin enerji politikasının ana öğeleri[3];

- Dışa bağımlılığın en alt düzeye indirilmesi,
- Kaynak çeşitliliğine ve yerli, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmesi,
- Çevre üzerindeki etkilerin en aza indirilmesi,
- Verimli, üretilmesi ve kullanılması,
- Kamu yararının ve tüketici haklarının gözetilmesi,

- Serbest piyasa uygulamaları içinde kamu ve özel kesim imkanlarının harekete
- geçirilmesi olarak ifade edilmiştir.

Ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmeleri açısından elektrik, yaşamsal bir girdi olarak kabul edilmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, son yıllardaki ekonomik büyüme ve teknolojik gelişmenin bir sonucu olarak, elektrik tüketimi hızlı bir artış göstermektedir. Türkiye’de elektrik üretimi için, geleneksel enerji kaynaklarından oldukça yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Türkiye’nin karşı karşıya kaldığı ana problem, ilave elektrik üretiminin en uygun şekilde nasıl karşılanacağı üzerinedir[10;11].

Kaynaklar açısından bakıldığında, 2010 yılı itibariyle, toplam elektrik üretiminin %45.9’u doğalgazdan, %18.4’ü yerli kömürden, %24.5’i hidrolik kaynaklardan, %6.9’u ithal kömürden, %2.5’i sıvı yakıtlardan, %1.35’i rüzgardan ve %0.47’ü jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır[29]. 2009 ve 2010 yıllarına ait Türkiye’de toplam kurulu güç ve toplam elektrik üretim değerleri çizelge 2.1’deki gibidir.

Çizelge 2.1 : Türkiye’deki kurulu güç ve elektrik üretim miktarlarının gruplara göre dağılımı [12].

		Kurulu Güç (MW)		Enerji Üretimi (GWh)	
		2009	2010	2009	2010
Türkiye	Termik	29,416.3	31,800.2	157,359.2	155,844.2
Toplamı	Hidrolik + Rüzgar	15,341.7	16,787.6	37,453.7	54,337.4
	Toplam	44,758.0	48,587.8	194,812.9	210,181.6

Türkiye, özellikle yüksek talep artışının karşılanması, yeterli yatırımların yapılması ve verimliliğin artırılması için enerji sektöründe rekabete dayalı ve şeffaf bir piyasa yapısının oluşturulması yönünde adımlar atmaktadır. Bu hedef doğrultusunda, 2001 yılında yayımlanan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile yeni üretim yatırımlarının özel sektör tarafından yapılması öngörülmüştür. 2005 yılında “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun”u, 2007 yılında “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu”nu ile “Enerji Verimliliği Kanunu” yürürlüğe girerken, “Yerli Kömür

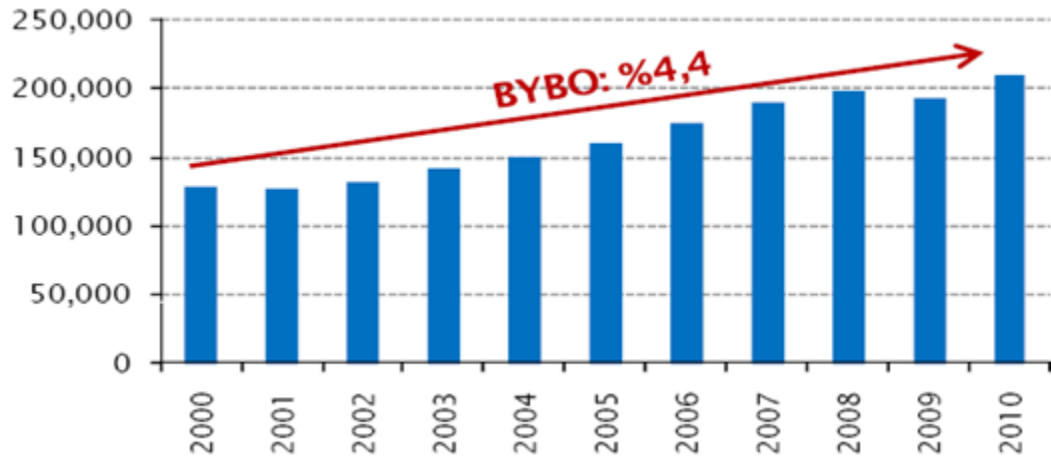
Kaynaklarının Elektrik Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesine İlişkin Yasal Düzenleme” de aynı yıl çıkarılmıştır. 2008 yılında “Rüzgar Enerjisine Dayalı Lisans Başvurularının Teknik Değerlendirilmesi Hakkında Yönetmelik” çıkarılmıştır. Ayrıca 3213 sayılı Maden Kanunu’nda ve uygulama yönetmeliklerinde yeni düzenlemeler yapılmıştır. Özellikle Yenilenebilir Enerji ile ilgili Kanun’da AB uygulamaları ile de paralel şekilde alım garantisi ve bazı destekleme mekanizmaları yer almıştır. Yenilenebilir Enerji ile ilgili Kanun ve “Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetlerinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkındaki Yönetmelik” çerçevesinde hidroelektrik santral (HES) yapmak üzere bugüne kadar 13,887 MW gücündeki 477 adet projeye EPDK tarafından lisans verilmiştir. Hızla artan elektrik talebini karşılamak ve ithalat bağımlılığından kaynaklı riskleri azaltmak üzere 2017-2020 yılları arasında, nükleer enerjinin de elektrik üretim kurulu gücü kompozisyonuna %5 oranında dahil edilmesi planlanmaktadır. Bu amaçla, 5710 sayılı “Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun” ve ilgili yönetmelik 2008 yılı başında yürürlüğe girmiştir. Yerli kömür kaynaklarının ekonomiye kazandırılması amacıyla TKİ Genel Müdürlüğü uhdesinde bulunan kömür sahalarının santral yapma koşuluyla özel sektöre devredilmesine yönelik çalışmalar kapsamında 5 adet saha (Tekirdağ-Saray, Bolu- Göynük, Çankırı-Orta, Adana-Tufanbeyli, Eskişehir-Mihalıççık) rödövans modeli ile özel sektöre devredilmiştir. Benzer şekilde, 5710 sayılı Kanun’da yapılacak değişikliği müteakip, Afşin-Elbistan havzasında bulunan linyit kaynaklarının elektrik üretimi amaçlı değerlendirilmesine ilişkin olarak 2010 yılında ihaleye çıkılması planlanmaktadır. Burada, en az toplam 2,400 MW kurulu güce sahip 2 adet termik santralin özel sektör tarafından yapılması öngörülmektedir. 2004 yılı itibarıyla 18 MW düzeyinde olan rüzgar enerjisi kurulu gücü 2008 yılı sonunda 364 MW’a, 2009 sonunda ise 753.7 MW’a ulaşmıştır. Yenilenebilir Enerji ile ilgili Kanun’un yürürlüğe girmesinden sonra 2,887 MW kurulu gücünde 80 adet yeni rüzgar projesine lisans verilmiştir. Bu projelerden toplam 1,000 MW kurulu güce ulaşılacak olan santrallerin yapımı devam etmektedir [1;3;13]. Yapılan çalışmalar sonucunda 2009 yılı sonu itibarıyla tespit edilmiş bulunan yerli enerji kaynakları potansiyeli aşağıdaki çizelge 2.2’de verilmektedir;

Çizelge 2.2 : 2009 Yılı İtibariyle Türkiye'nin Yerli Kaynak Potansiyeli [1].

Kaynak	Potansiyel
Linyit	11.4 milyar ton
Taşkömürü	1.3 milyar ton
Asfaltit	77.0 milyon ton
Ham Petrol	42.0 milyon ton
Bitümler	18.5 milyon ton
Hidrolik	129.4 milyar kWh/yıl
Doğalgaz	7.0 milyar m ³
Rüzgar	48,000 MW
Jeotermal	32,010 MWt/yıl (510 MW'ı elektrik üretimine elverişli)
Biyokütle	8.6 Mtep
Güneş Enerjisi	32.6 Mtep
Doğal Uranyum	9,129 ton

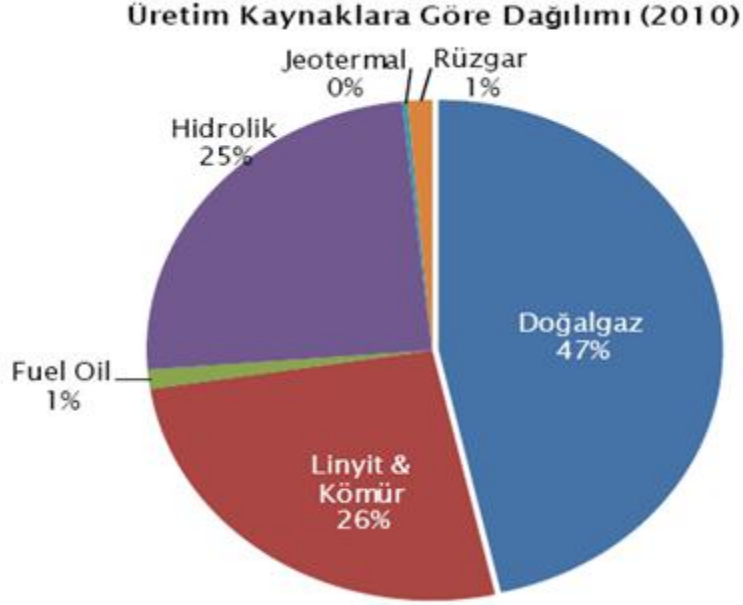
* Değerler görünür, muhtemel ve mümkün rezervlerin toplamını vermektedir.

Elektrik tüketimi 2009 yılında %2 düşüşle 194 milyar Kwh, 2010 yılında %8 artışla 210 milyar Kwh olmuştur. Son 10 yıllık dönemde elektrik tüketimi yılda ortalama %4,4 artış göstermiştir. Kriz yılları olan 2001 ve 2009 dışında elektrik tüketiminde daralma görülmemiştir[14]. Yıllar itibariyle elektrik tüketim değerleri şekil 2.3'deki gibidir.



Şekil 2.3 : Elektrik Tüketimi (mlr KWh) [14].

2010 yılı itibarıyla elektrik üretiminde %74 pay ile termik kaynaklar öne çıkmaktadır. Üretim kaynakları arasında en yüksek pay %47 ile doğalgaza aittir. Onu %26 ile linyit ve kömür izlemektedir. Petrol ve petrole dayalı ürünler üretimde %1'lik pay almaktadır. Hidrolik kaynakların %25 payı bulunurken, rüzgarda kat edilen mesafeye rağmen payı %1'in üzerinde değildir [14]. 2010 Yılı Türkiye Elektrik Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı şekil 2.4'de verilmektedir.



Şekil 2.4 : 2010 Yılı Türkiye Elektrik Üretim Kaynaklarına Göre Dağılımı[7].

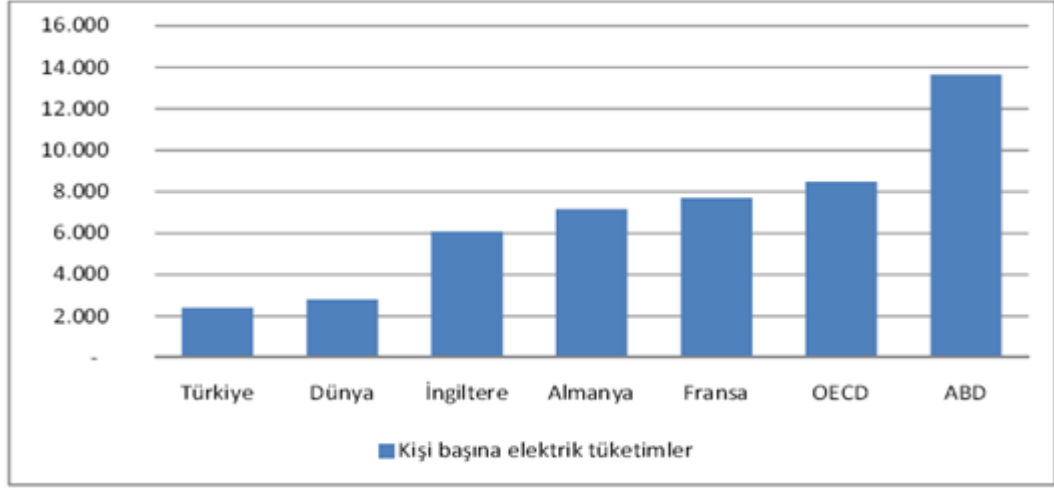
Şekilde 2010 yılı Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilmektedir. Dünyadaki dağılım ile karşılaştırıldığında elektrik üretiminde ülkemizin doğal gaza çok daha bağımlı olduğu görülmektedir. Türkiye’de doğal gazın elektrik üretimindeki payı dünya elektrik üretimindeki payının iki katından fazla olup, kömürün payı dünya ortalamasının altındadır. Hidrolik kaynakların üretimdeki payı ise hemen hemen aynı seviyededir [7].

OECD verileri yıllar itibarıyla incelendiğinde bir gelişmişlik göstergesi olarak kabul edilen kişi başına düşen elektrik tüketimimizde artış görülmektedir. Buna rağmen aşağıdaki şekil, bize Türkiye’nin aynı gösterge açısından önemli bir mesafe kat etmesi gerektiğini göstermektedir. Kişi başına düşen elektrik tüketimleri çizelge 2.3’de gösterilmiştir[7].

Çizelge 2.3 : Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimi (kWh/Kişi)[7].

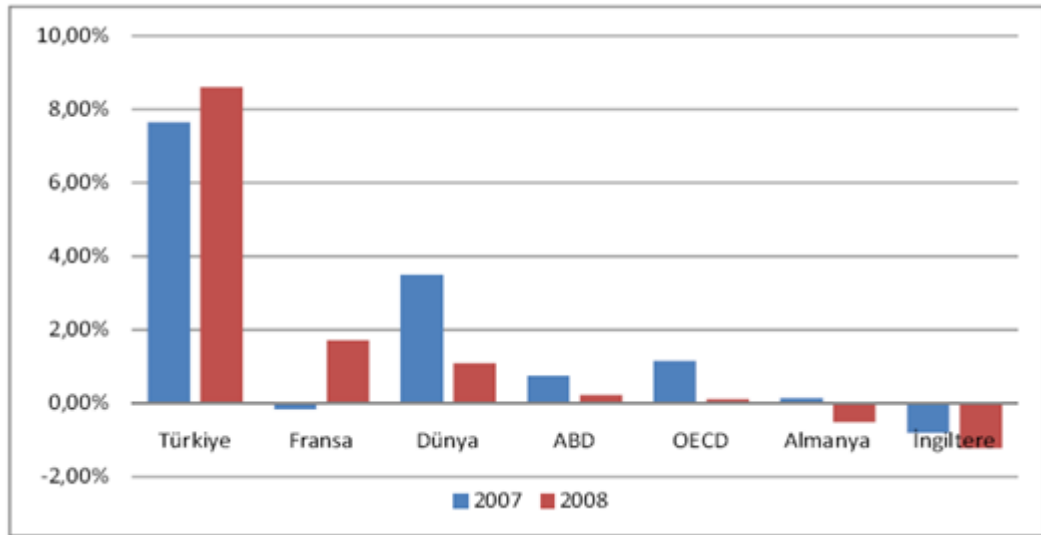
	2006	2007	2008
Dünya	2659	2752	2782
OECD	8381	8477	8486
ABD	13515	13616	13647
Almanya	7175	7185	7148
Fransa	7585	7573	7703
İngiltere	6192	6142	6067
Türkiye	2053	2210	2400

Şekil 2.5’de ise Türkiye’de elektrik tüketimi bazı gelişmiş ülkelerle ve Dünya ortalamasıyla karşılaştırılmıştır., Türkiye’nin kişi başına düşen elektrik tüketimi dünya ortalamasının altında yer almaktadır. Sanayileşme ve kentleşme ile paralel olarak Türkiye’de durumun değişeceği tahmin edilmektedir[7].



Şekil 2.5 : 2009 Yılı Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimi (MWh/kişi)[7].

Nitekim şekil 2.6’da yer alan 2007 ve 2008 yıllarına ait artış yüzdelelerini gösteren şekilde, elektrik enerjisi tüketim artış hızımızın gelişmiş ülkelere ve dünya ortalamasına göre çok yüksek olduğu açık bir şekilde görülmektedir[7].



Şekil 2.6 : Kişi Başına Düşen Elektrik Tüketimleri Artış Oranları [7].

Geçmiş elektrik tüketim oranlarından yola çıkarak gelecekte nüfus artışı, sosyal ve ekonomik gelişme ve artan şehirleşmeden kaynaklı olarak elektrik tüketim oranlarının artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir[15]. Yakın gelecekte elektrik enerjisi santrallerinin kurulumunun önemini vurgulayarak, geleceğe ait,

nüfus yoğunluğu ve kişi başına elektrik tüketim miktarlarına ait oluşturmuş oldukları projeksiyon çizelge 2.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.4 : Türkiye’de nüfus ve kişi başına elektrik tüketimine ait gelecek projeksiyonu [15].

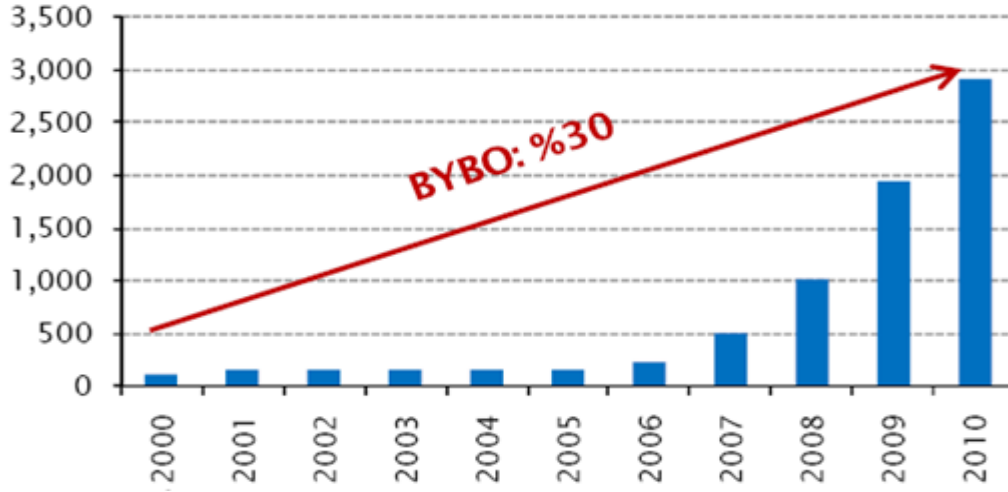
Türkiye’de nüfus ve kişi başına elektrik tüketimine ait gelecek projeksiyonu					
	Yıllar				
	2003	2005	2010	2015	2020
Nüfus (milyon)	70.77	73.1	78.46	83.34	87.76
Elektrik Tüketimi/Nüfus(kWh kişi başına)	2413.45	2730.51	3693.60	4761.46	6234.5

Önümüzdeki 10 yıllık dönemde TEİAŞ tarafından yapılan analizlere göre elektrik talebinin yılda ortalama %6,5 - %7,2 arası büyüme göstermesi beklenmektedir. Bu tahminlere göre 2010 yılında 210 milyar kWh olan yıllık tüketimin 2019 yılında 367 – 390 milyar kWh seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Talep değişim tahminleri çizelge 2.5’de gösterilmiştir[14].

Çizelge 2.5 : Talep değişim tahminleri [14].

Talep Değişim Tahminleri (%)		
	Düşük Senaryo	Yüksek Senaryo
2011	5.0	5.0
2012	6.7	7.5
2013	6.7	7.5
2014	6.7	7.5
2015	6.7	7.5
2016	6.6	7.4
2017	6.6	7.4
2018	6.6	7.4
2019	6.6	7.4
Ortalama	6.5	7.2

Tüketim artışını karşılayabilmek için gelecek on yılda toplam yatırım ihtiyacı 120 milyar doların üzerindedir. Bu yatırımların çoğunlukla özel sektör tarafından yapılması hedeflenmektedir.



Şekil 2.8 : Rüzgara dayalı üretim (mn KWh) [16].

Türkiye'nin kullanılabilir biyokütle potansiyeli yaklaşık olarak 17 Mtoe (milyon ton petrol eşdeğeri) dir[17]. Kullanılabilir biyokütleden üretilecek olan elektrik enerjisi, bireysel ve kurumsal olmak üzere toplamda 160000'den fazla istihdam ve 4.4 milyar \$ lık bir gelir potansiyeli yaratabilecek durumdadır. Türkiye'de 2009 yılı sonunda toplam elektrik enerjisi üretimi 194.813 GWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik üretiminin 340 GWh'i biyokütleden elde edilmiştir. Türkiye'de elektrik üretiminde biyokütle % 0,174 gibi çok az bir paya sahiptir. Orman ürünleri sanayisinin üretim artıkları ve orman artıklarının elektrik üretiminde kullanılmasıyla birlikte biyokütleden elektrik üretimi payı % 0,174 ,den % 2"ye yükselme potansiyeli taşımaktadır. Biyokütle yakıtının yanma emisyonları azdır. Fosil yakıtlara göre çok az asit yağmuru ve duman üretir. Uygun teknolojiler ve uygun yöntemler kullanılarak doğru bir şekilde enerjiye dönüştürüldüğünde, çevre üzerinde zararı az, hızlı bir şekilde yeniden üretilen, uzun süreli ve güvenli bir enerji kaynağıdır[18]. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verilerine göre; Türkiye'de yatay yüzeye gelen ortalama radyasyon değerleri 4,17 kWh/m²-gün iken, yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.740 saattir. Türkiye'de henüz güneş pili, şebekeye bağlantılı PV sistemi ve CSP teknolojileri uygulamada görülmemektedir[16]. Çizelge 2.6'da, ülkemizde yıllara göre kurulu kolektör alanları ile üretim ve tüketim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 : Ülkemizde Yıllara Göre Kurulu Kolektör Alanları İle Üretim ve Tüketim Değerleri [16].

Yıl	Kurulu Kolektör Alanı (m2)	Üretim TEP)	Tüketim (TEP)
2008	12.000 000	420.000	420.000
2009	12.250 000	428.750	428.750
2010 (Tahmini)	12.350 000	432.250	432.250

Türkiye, jeotermal enerji potansiyeli yönünden dünyanın önemli ülkeleri arasındadır. Türkiye’de 40 °C'nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. Bu sahaların % 95'i düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal sahalardır. Türkiye'nin jeotermal enerji türünden elektrik üretim potansiyeli 31.500 MWt olarak tahmin edilmektedir. Fakat bu büyük jeotermal enerji potansiyeline göre konut ısıtmacılığı, seracılık ve sağlık amaçlı kullanım olarak Türkiye'de toplam kurulu kapasite 867 MWt'dir. Ayrıca 20.4 MWe elektrik üretme gücüne sahip Kızıldere jeotermal sahasında 1985 yılından bu yana elektrik enerjisi üretimi sürmektedir. Aydın- Germencik, Aydın-Salavatlı ve Denizli-Tekkehamam sahasında ise elektrik üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Çizelge 2.7’de, jeotermal kaynağın içerdiği akışkan sıcaklığına göre sıralanmış olarak elektrik üretimine uygun jeotermal sahalara yer almaktadır[16;19].

Çizelge 2.7 : Türkiye’de Elektrik Üretimine Uygun Jeotermal Sahalar[16].

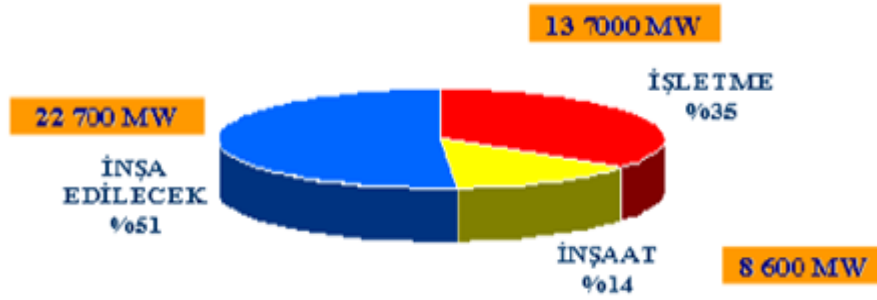
Sahanın Adı	°C	Sahanın Adı	°C
Denizli - Kızıldere	242	Kütahya – Simav	162
Aydın – Germencik – Ömerbeyli	232	İzmir – Seferihisar	153
Manisa –Alaşehir – Kurudere	184	Manisa – Salihli – Caferbey	150
Manisa – Salihli – Göbekli	182	Aydın – Yılmazköy	142
Çanakkale – Tuzla	174	İzmir – Balçova	136
Aydın – Pamukören	173	İzmir – Dikili	130
Aydın – Salavatlı	171		

Hidroelektrik santraller günümüzde %95’e varan verimle çalışmaktadır. Fosil kaynaklar %60 verimle çalıştığı göz önüne alındığında hidroelektrik santrallerin önemi daha iyi anlaşılacaktır. Ayrıca düşük işletme maliyetleri ve uzun işletme ömrü diğer avantajlarıdır. Elektrik üretiminde doğal gazla ağırlık verilmesi sonucu, hidroelektrik üretimi ve hidroelektriğin payı, çizelge 2.8’de görüleceği üzere yıllar içinde gerilemiştir [16;20].

Çizelge 2.8 : Hidroelektrik Üretimin Toplam Elektrik Üretimi İçinde Payı[20].

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Toplam Elektrik Üretimi	122.724,7	129.399,5	140.580,5	150.698,3	161.956,2	176.299,8	191.558,1	198.418	194.112,1
Hidrolik Üretimi	24.009,9	33.683,8	35.329,5	46.083,7	39.560,5	44.244,2	35.850,8	33.269,8	35.905
Hidroelektrik Üretim Payı (%)	19,6	26,0	25,1	30,6	24,4	25,1	18,7	16,8	18,5

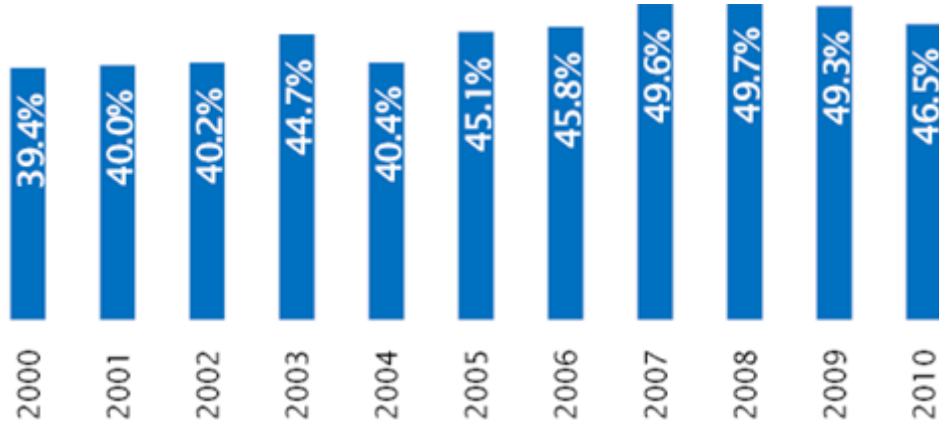
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2010 yılı verilerine göre mevcut hidroelektrik potansiyelin yaklaşık %35'i kullanılmakta, %14'ü inşaat aşamasında, kalan %51'lik bölüm ise değerlendirilmeyi beklemektedir[16]. Türkiye'de hidroelektrik potansiyelinin gelişimi Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 : Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelinin Gelişimi[20].

2.2.2 Türkiye'de yenilenebilir olmayan yakıt türlerinden elektrik üretimi

Türkiye'de doğalgaz tüketimi 1987 yılından bu yana sürekli artan bir eğilim içindedir. 1987 yılında 500 milyon m³ olan doğal gaz tüketiminin 2008 yılı sonunda 36,9 milyar m³'e ulaşmıştır. Serbestleşmeyle birlikte enerji alanındaki yatırımlarına ağırlık veren özel sektörün doğalgaza dayalı üretim yapması nedeniyle son 10 yılda doğalgazın elektrik üretimindeki payı %39'dan %46'ya yükselmiştir. 2000 ila 2010 yılları arasında doğalgazın toplam üretimdeki yüzde payı şekil 2.10'da görüldüğü gibidir [14;20].



Şekil 2.10 : Doğalgazın toplam üretimdeki payı[14].

Türkiye, henüz nükleer santral ile tanışmadı. Ancak nükleer enerjinin hammaddesi olan uranyum ve toryum bakımından çok zengin. Türkiye’de tesadüfen bulunmuş uranyum rezervi 10 bin ton civarında. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü’nün verilerine göre Türkiye’de 380 bin ton görünür toryum rezervi bulunuyor. Sondaj çalışmalarıyla bu rakamın iki katına çıkabileceği belirtiliyor. 12 Mayıs 2010 tarihinde Ankara’da imzalanan “Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti’nde Akkuyu Sahası’nda bir Nükleer Güç Santrali’nin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma”nın onaylanmasının uygun bulunduğu ilişkin Kanun Resmi Gazete de yayımlanmıştır. 14 Aralık 2010 tarihi itibarıyla da Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş. kurulmuştur. Kurulması planlanan Akkuyu santralinde kullanılacak olan 4 reaktör ile planlanan toplam elektrik üretimi 4800 MWe dir. Bunun yanı sıra Türkiye’de nükleer program dahilinde olup Sinop’ta kurulması düşünülen 4 reaktörlü santralden ise beklenen güç üretimi 5600 MWe dir[7;21;22].

Kaynaklar açısından bakıldığında, 2010 yılı itibarıyla, %18.4’ü yerli %6.9’u ise ithal olmak üzere toplam elektrik üretiminin % 25.3’ü kömürden sağlanmıştır[1]. Türkiye elektrik üretiminde 1950 den beri yoğun olarak kullanılan linyit, en önemli enerji kaynaklarından bir tanesidir. Çıkarılan linyit düşük kaliteli olmakla beraber aynı zamanda ciddi hava kirliliğine sebebiyet vermektedir[23]. Yerli kömür kaynaklarının ekonomiye kazandırılması amacıyla TKİ Genel Müdürlüğü uhdesinde bulunan kömür sahalarının santral yapma koşuluyla özel sektöre devredilmesine yönelik çalışmalar kapsamında Bolu-Göynük ve Eskişehir-Mihalıççık sahaları rödövars modeli ile özel sektöre devredilmiştir. Bunun yanı sıra Çankırı-Orta Sahası ise aynı amaca yönelik olarak ruhsat devri yapılarak özel sektöre verilmiştir. Benzer şekilde,

Afşin-Elbistan havzasında bulunan linyit kaynaklarının elektrik üretimi amaçlı değerlendirilmesine ilişkin olarak 2011 yılında ihaleye çıkılması için çalışmalar devam etmektedir[1;3].

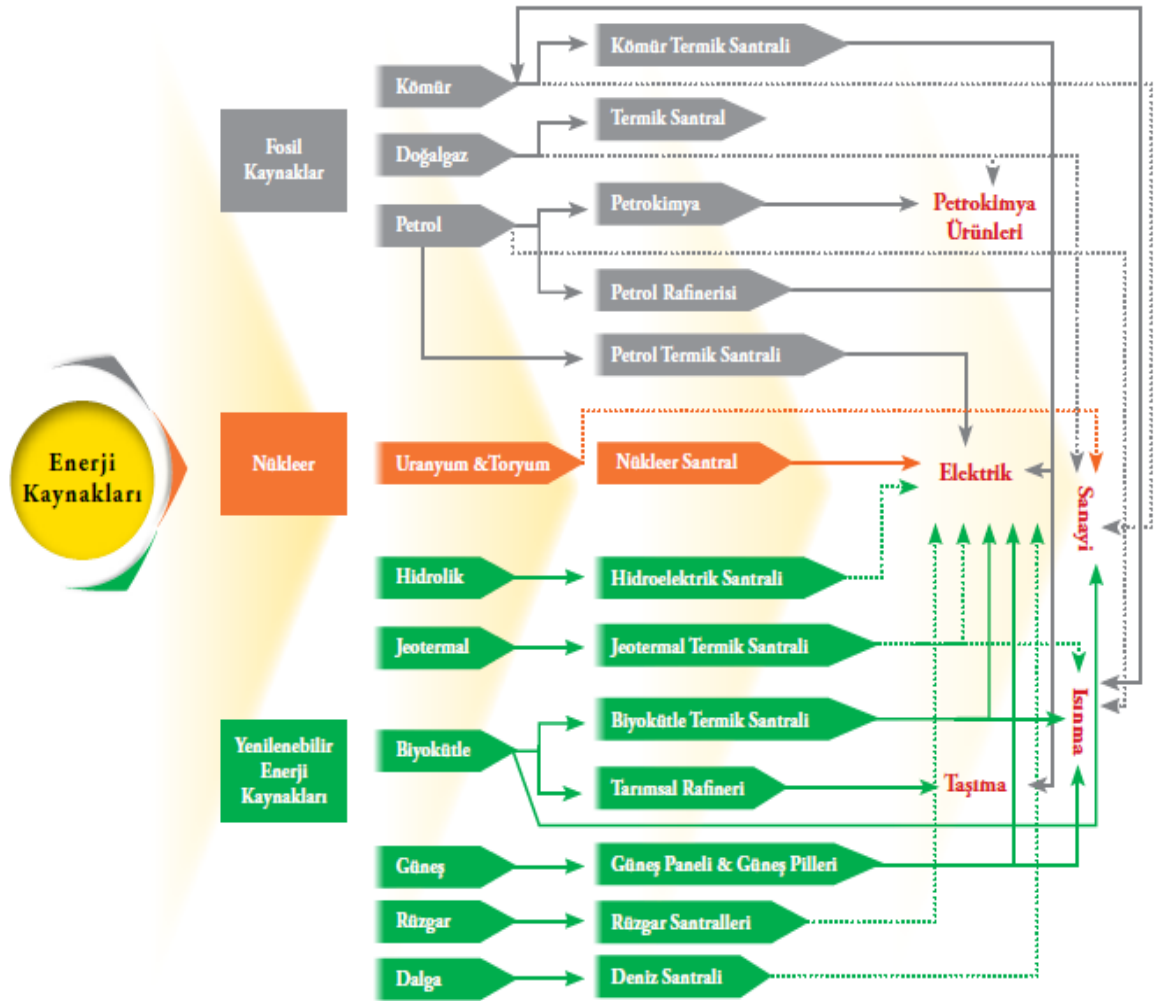
1970’li yıllardan itibaren başlayan elektrik enerjisi üretim amaçlı termik santral ve linyit üretim yatırımları çok büyük oranda kamu sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yatırımlar aşağıdaki çizelge 2.9’da özetlenmektedir.

Çizelge 2.9 : Linyite dayalı santraller[8].

Proje Adı	Kömür Tüketim Kapasitesi (bin ton/yıl)	Kurulu Güç (MW)
Muğla-Yatağan	5.350	630
Muğla-Milas-Sekköy	3.750	420
Muğla-Hüsamlar-Kemerköy	5.000	630
Çanakkale Çan	1.800	320
Kütahya Seyitömer	7.100	600
Kütahya Tunçbilek	2.450	365
Manisa Soma	8.000	1.034
Bursa Orhaneli	1.500	210
Afşin Elbistan A	18.000	1.360
Afşin Elbistan B	18.000	1.440
Sivas Kangal	5.400	450
Ankara Çayırhan	4.300	620
Toplam	80.650	8.079

3. ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN KULLANILABİLECEK YAKIT TÜRLERİ

Elektrik üretiminde girdi olarak kullanılan çeşitli yakıt türleri bulunmaktadır. Bu yakıt türlerini yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynakları olarak ikiye ayırmak mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynakları; hidrogüç, rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal olarak sıralanabilir. Öte yandan yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarına ise fosil yakıt türleri (petrol, kömür, linyit), doğal gaz ve nükleer enerji türleri örnek olarak gösterilebilir [15;24]. Enerji üretim kaynakları şekil 3.1’de görüldüğü gibidir ;



Şekil 3.1 : Enerji üretim kaynakları[16].

3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

3.1.1 Hidroelektrik enerjisi

Su gücüyle üretilen elektrik enerjisine hidroelektrik enerji denir. Hidroelektrik enerji santralleri genellikle barajların yanında kurulur; böylece hızla akan bir akarsuyun ya da bir baraj gölünde birikerek yüksekten dökülen suyun enerjisi su türbinlerini, bu türbinler de elektrik üreteçlerini çalıştırır[25].

Hidroelektrik teknolojinin, yüksek miktarda güç üretmesi bakımından elektrik üretimine katkısı bilinmektedir. Tam anlamıyla yenilenebilir olması ve CO₂ salınımı yapmıyor oluşu önemli etkenlerin başında gelmektedir. Bilinmelidir ki, bir defa hidroelektrik santrali kurulduktan sonra akabinde meydana gelen işletme masrafları oldukça düşük düzeyde gerçekleşmektedir. Maliyeti düşüktür ve kirlilik yaratmaz. Verimlilik oranı % 80 dolaylarındadır [5;26].

Şüphesiz ki yukarıda bahsedilen avantajların yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Akarsuların doğal akışını değiştirdiğinden ötürü suda yaşayan birçok canlı çeşidinin yok olmasına neden olabilmektedir. Barajlar çevresindeki bölgenin ekolojisini değiştirir. Örneğin; barajlarda toplanan su her zaman için, nehirlerden akar durumda olan suya göre daha soğuktur ve bu durum, bazen balık ölümlerine neden olur. Oluşan gölet nedeni ile yeraltı suları zayıflamakta hatta tamamen kesilebilmektedir [26].

Mikro hidroelektrik santrallerden bahsedecek olursak, Mikro HES tesislerinin gerek kurulum, gerekse işletme aşamasında çevresine en küçük bir menfi tesirinden söz edilemez. Bu özellikleri ile geniş rezervuar alanına sahip büyük HES'lerden çok daha çevrecidirler. Mikro HES tesisleri kurulu gücü 1kW-500kW arasındaki enerji üretim tesisleridir. Ülkemizde bu alanda yatırım yapma imkanı son mevzuat düzenlemeleri ile mümkün hale gelmiştir. Mikro HES çalışmalarında herkes bağımsız bir şekilde elektriğini üretebilecek, bu sayede halkımız elektrik parası ödemeyecek. Bu muhteşem bir fırsat. Köyünde yeterli akarsu kaynakları ve arazi bulunan kişiler ÇED'siz lisansız; ancak onaylı bir proje dahilinde elektrik üretilip kullanabilecek ve satabilecek. 10 wattlık bir tesis köyün bir mahallesinin elektriğini karşılayabilme özelliğine sahiptir[27;28].

Türkiye'nin toplam hidroelektrik enerjisi potansiyeli 433,000 GW saat/yıl, bu miktar Dünya'nın yıllık toplam potansiyelinin yaklaşık olarak % 1'ine tekabül etmektedir.

Türkiye’ de, hidroelektrik santral inşası için toplam 436 site, 26 ana nehir bölgeleri üzerinde dağıtılmıştır. Avrupa’nın toplam hidroelektrik enerji kapasitesi içerisinde Türkiye’nin payı yüzde 14 civarındadır. Sahip olunan potansiyelin yaklaşık olarak yarısı teknik açıdan işletilebilir durumda olmakla beraber yaklaşık olarak yüzde 28’i (122,322 GW saat/yıl) ise ekonomik açıdan işletilmeye müsait durumdadır[4].

3.1.2 Rüzgar enerjisi

Rüzgâr enerjisi, ısıları farklı olan hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşur. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2’si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Rüzgâr türbinleri, yenilenebilir nitelikte olan hava akımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Rüzgar türbinleri, bir rotor, bir güç şaftı ve rüzgarın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çevirecek bir jeneratör kullanırlar. Rüzgar rotordan geçerken, aerodinamik bir kaldırma gücü oluşturur ve rotoru döndürür. Bu dönel hareket jeneratörü hareket ettirir ve elektrik üretir. Türbinlerde ayrıca, dönme oranını ayarlayacak ve kanatların hareketini durduracak bir rotor kontrolü bulunur. Rüzgar şiddeti yükseklikle arttığı için rüzgar türbinleri kule tepelerine yerleştirilir [26;29].

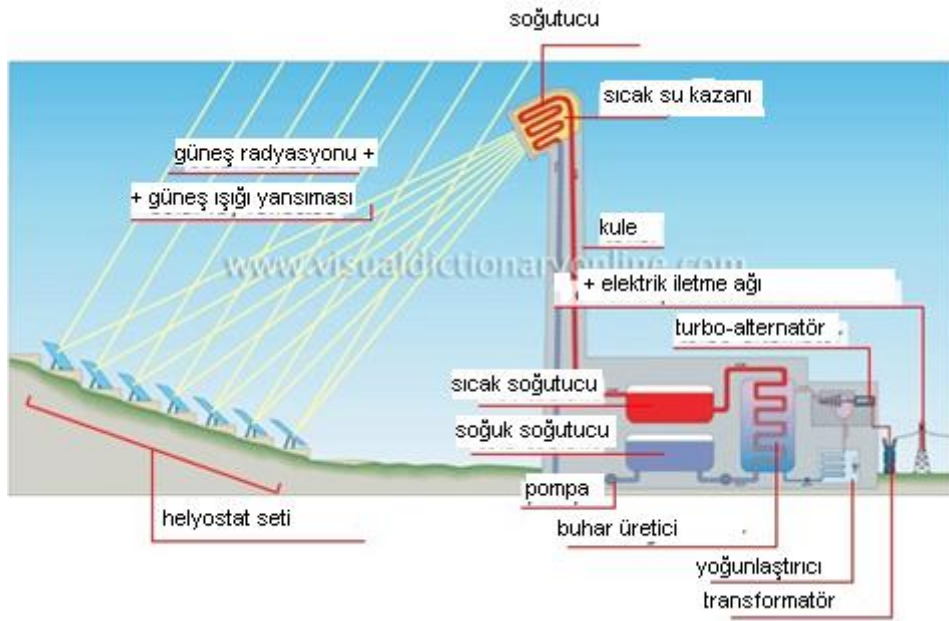
Rüzgar enerjisi kirlilik yaratmayan, çevreye çok az zarar veren ve ücretsiz kullanımı olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Yeryüzünde %95 gibi bir alanda rüzgar enerjisi elde edilebilir ve bu alanlarda aynı zamanda ziraat, ormancılık gibi faaliyetler de sürdürülebilir. Evsel kullanım için iyi bir alternatif enerji kaynağıdır. Türbülansın olmadığı ya da oldukça düşük seviyede olduğu rüzgarlı bölgede, rüzgarın bir yönden esip diğer yöne (180°) doğru hareket ettiği bölgeler ideal bölgeler olarak değerlendirilir. Çoğunlukla sahil bölgelerindeki santraller verimli işlemektedir. Oluşturulan enerji santrali yerleşim yerlerinde ya da kuşların göç yolları üzerinde bulunmamalıdır. Enerji üretimi gürültülü ve göze hoş görünmeyen bir görüntüde gerçekleşir. Bakım ekipmanları pahalı olmakla birlikte enerji depolama masrafları yüksek seviyelerdedir[5].

Türkiye’nin toplam rüzgar enerjisi potansiyelinin 400 milyar kW saat/yıl dolaylarında olduğunu, teknik olarak uygulanabilirliği göz önüne alındığında ise sahip olunan potansiyel, 120 milyar kW saat/yıl olarak tahmin edilmiştir. Bu değer de Türkiye’nin toplam elektrik üretiminin 1.2 katına tekabül etmektedir[4].

3.1.3 Güneş enerjisi

Elektrik üretimi, sıcak su sağlama, apartmanlar için ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi kullanım alanları mevcuttur. Fotovoltaik sistemler güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme işlevi görürler. Fotovoltaik hücreler güneş ışığının Emilimini sağlayan yarıiletken malzeme içerir. Güneş enerjisi elektronlara çarparak atomlarının serbest kalmasını yani elektronların malzeme üzerinde akmasına sebebiyet vererek elektrik üretimi sağlarlar. Elektrik tesisi ayrıca elektrik üretimi için güneş ısısını kullanan yoğunlaşmış güneş enerjisi sistemini kullanabilmektedir. Güneş ışığı biriktirilip aynalara odaklandırıldığında yüksek yoğunluklu ısı kaynağı elde edilmiş olur. Bu ısı kaynağı elektrik üreten jeneratörü çalıştırmak için mekanik güç ya da buhar üretir[30].

Doğrudan güneş ışınları ile soğutucunun ısıtılır ve suyun buhar haline dönüşmesi sonrası turbo-alternatörler elektrik üretiminde bulunur. Üretim süreci şekil 3.2’de gösterildiği gibidir [31].



Şekil 3.2 : Güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretimi [34].

Enerji üretim sistemleri modüler yapı sergilemektedirler. Modüler olmaları herhangi bir ebat ihtiyacını karşılamak üzere inşa edilebilmeleri ve değişen enerji taleplerine yanıt verecek şekilde genişletilmesine imkan sağlamaları anlamına gelmektedir[32]. 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. Düşük verimlidir (%15); başlangıç

maliyeti çok yüksektir, piller gibi depolama malzemeleri için uygun değildir. Tüketiciler için maliyeti yüksektir[26].

Fotovoltaik modüller; emisyon, gürültü ya da titreşim olmadan ışıktan direkt olarak elektrik üretebilmektedirler. Güneş ışığı kullanım ücretinin bulunmamasına karşın, her geçen gün maliyetlerin azalıyor olmasına rağmen hala enerji üretim maliyetleri son derece yüksektir. Güneş enerjisi, düşük enerji yoğunluğuna sahiptir. Fotovoltaik modüller düşük miktarda elektrik üretimi için yüksek yüzey alanı ihtiyacına sahiptirler[5].

3.1.4 Biyokütle enerjisi

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu süre süreceği için, biyokütle tükenmez bir enerji kaynağıdır. Biyokütle; tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir[9].

Elektrik üretimi biyokütlenin direkt yanması ile gerçekleşmektedir. Ticari kullanım amaçlı ileri gazlaştırma ve piroliz (sıcak tesiriyle erime) teknolojileri mevcuttur. Biyokütle elektrik tesislerinde kullanılan teknoloji kömür yakıtlı tesislerde kullanılan teknoloji ile oldukça benzerlik göstermektedirler. Örnekte, biyokütle tesisleri benzer buhar türbin jeneratörleri ve yakıt sevk sistemleri kullanmaktadırlar. Küresel ısınmadan kaynaklı oluşan kaygıdan ötürü, dünya genelinde CO2 salınımı kapsamında biyokütleyi de kapsayan yenilenebilir enerji kaynaklarına kayda değer bir ilgi söz konusudur. Biyokütlenin yakıt kaynağı olarak ciddi bir potansiyelinin olmasının yanında diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında makul maliyet seviyelerinde olduğu görülmektedir[17;33].

Biyokütle; sürdürülebilirlik, kolaylıkla bulunabilirlik ve çevre üzerinde istenmeyen etkiye sebep olmama gibi bazı önemli avantajlara sahip olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisi, bu özellikler nedeni ile Türkiye için önem kazanmıştır ve bu önem giderek artacaktır[34]. Önümüzdeki yıllarda bu teknolojilerde yeni gelişmelerin yanında, yalnız biyokütle kaynağıyla çalışan büyük termik santrallerin yapımı planlanmaktadır. İsveç ve Finlandiya gibi ülkelerde bölgesel biyokütle

santralleri ile elektrik üretimi yapılmakta olup yeni santrallerin yapımı sürmektedir[35]. Toplama, nakletme ve depolama işlemleri pahalıdır. Yakıtların ısı içeriği düşüktür ve yanma işlemi sırasında kirletici gazlar ve sıvı atıklar oluşabilmektedir.

3.1.5 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji yerkürenin iç ısıdır. Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır. Jeotermal kaynakların üç önemli bileşeni vardır:

1. Isı kaynağı,
2. Isıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan,
3. Suyun dolaşımını sağlamaya yeterli kayaç geçirgenliği[36].

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi dünyada ilk olarak 1904 yılında İtalya'da gerçekleştirilmiş ve bugün İtalya, Amerika, Japonya, Filipinler ve Yeni Zelanda başta olmak üzere 22 ülkenin jeotermal kaynaklı elektrik üretimi 8274 MWe değerine ulaşmıştır. Jeotermal enerji üretim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına oranla düşüktür. Bu maliyet, entegre kullanımlar söz konusu olduğunda, daha da düşmektedir. Şöyle ki 110 MWe kapasiteli bir santraldan üretilen elektriğin şebekeye satış bedeli 4 cent/kWh' dır[15].

Türkiye'nin jeotermal elektrik üretim potansiyeli 764.81 MW olarak tahmin edilmektedir. Ülkemizde bulunan tek jeotermal elektrik santrali Denizli-Kızıldere'de 20.4 MW kapasite ile 1984 yılında kurulmuştur. Türkiye, bu santral ile jeotermal elektrik üretiminde 19 ülke arasından 12. Sıradadır[15].

Hazne sıcaklığı 150 °C'den fazla olan jeotermal sahalarda konvansiyonel elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda geliştirilen ve ikili (binary) çevrim olarak adlandırılan bir sistemle, buharlaşma noktaları düşük gazlar kullanılarak $T > 80^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklıktaki akışkandan elektrik üretilebilmektedir. Kömür katkılı santrallerdeki CO₂ salınımı, jeotermal santrallerine göre 1600 kat daha fazladır. Bu karşılaştırmaların ışığında, jeotermal enerjinin avantajı kesin olarak görülebilmektedir. Jeotermal enerjinin diğer enerji kaynaklarına göre avantajlı olan yönleri; yenilenebilir ve kesintisiz olması, fosil enerji kaynaklarına göre düşük maliyetli olması ve çevre kirlenmesinin yok denecek kadar az olması ile en önemlisi yerli enerji kaynağı olmasıdır[24]. Yeraltından çıkarılarak tüketilen kısmın , aynı oranda, kısa süreçte tekrar oluşması mümkün olmamaktadır. Ayrıca bu kaynaklarda

elde edilen su genellikle aşındırıcı ve kirlilik yaratıcı minareller de içermektedir[26; 37].

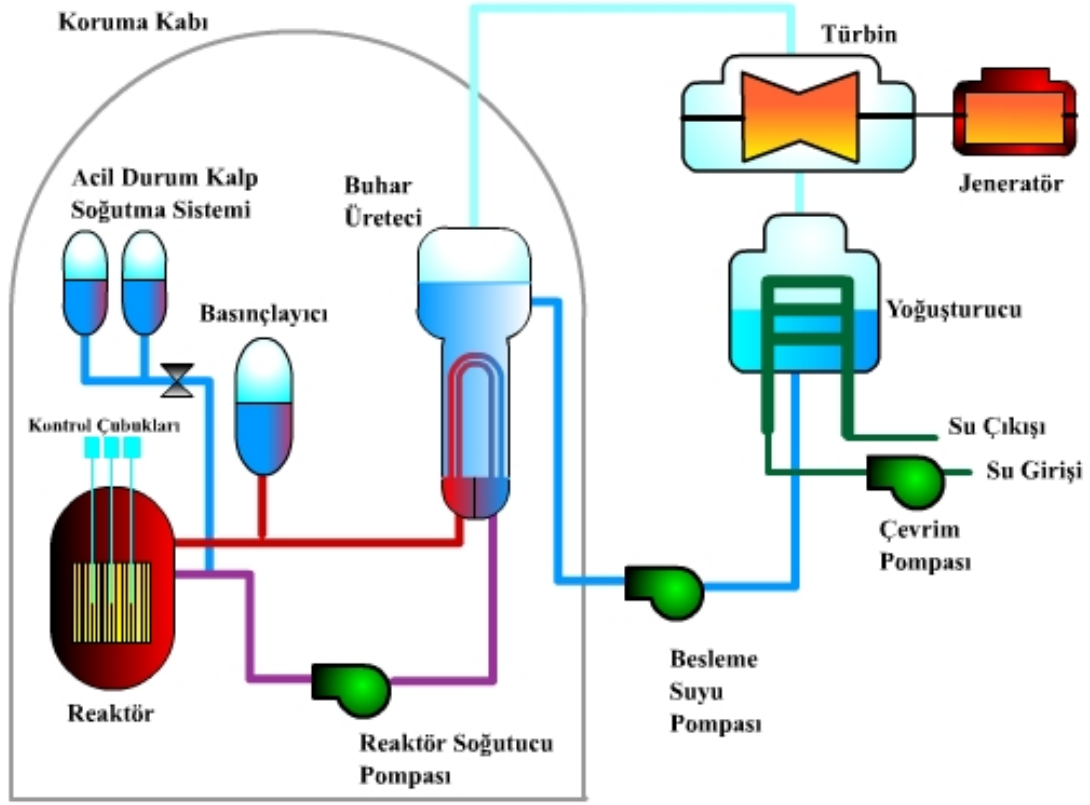
Türkiye 1972 senesinde ülkenin jeotermal enerjisi açısından var olan potansiyelinin farkına vardı ve tesislerin inşasını planlamakta olan bir program oluşturdu. Ne yazık ki oluşturulan program tam anlamıyla uygulanamadı ve sahip olunan zengin kaynaklar atıl durumda kaldı. Son dönemlerde bazı yetkililer tarafınca, jeotermal enerjiden faydalanılması adına bazı bildirimler kamuoyuna duyurulmakta fakat Devlet tarafınca henüz yeterli koordineli destek verilmemiştir [30].

3.2 Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları

3.2.1 Nükleer enerji

Nükleer enerji, atomun çekirdeğinden elde edilen bir enerji türüdür. Nükleer reaktörler nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Temel olarak fisyon sonucu açığa çıkan nükleer enerji nükleer yakıt ve diğer malzemeler içerisinde ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı enerjisi bir soğutucu vasıtasıyla çekilerek bazı sistemlerde doğrudan bazı sistemlerde ise ısı enerjisini başka bir taşıyıcı ortama aktararak türbin sisteminde kinetik enerjiye ve daha sonra da jeneratör sisteminde elektrik enerjisine dönüştürülür. Malzemelerin çok çeşitli fiziksel, kimyasal ve nükleer özellikleri sebebiyle pek çok değişik nükleer reaktör tasarımı mevcuttur. Aşağıdaki şekilde bir Basınçlı Su Reaktörünün basit şeması verilmiştir. Bu tasarımda reaktör kalbindeki yakıtlardan ısı enerjisi basınç altında tutularak kaynaması engellenen su ile çekilmektedir. Çekilen ısı enerjisi buhar üreteçlerinde ikinci devredeki suya aktarılmakta böylece üretilen buhar ile türbin-jeneratör sistemi döndürülerek elektrik enerjisi üretilmektedir[38].

Nükleer yakıt türü ucuz olmasının yanında taşınması da kolaydır. Küresel ısınmaya sebebiyet verecek olan sera gazı salınım riskinin bulunmaması ya da enerji üretimi sırasında asit yağmurlarının açığa çıkmamasına rağmen, çevre ve insan sağlığı açısından ciddi risk taşımaktadır. Nükleer atıkların depolanması işlemi problem teşkil etmektedir[5].



Basınçlı Su tipi Bir Reaktörün Basit Şeması

Şekil 3.3 : Nükleer enerji ile elektrik enerjisi üretimi [38].

Hükümet yetkilileri 2012 yılında Akkuyu 'da 1300 MW kapasiteli nükleer enerji santralinin kuruluşunun planladığını ilan etmişlerdi. Bununla beraber daha önce de olduğu gibi bazı anti nükleer ve çevreci grupların bu karara ciddi direnç gösterdikleri gözlemlenmiştir. Esasen, bir çok Avrupa ülkesi, yüksek miktardaki radyoaktif atık üretiminden kaynaklı olarak, gelecekte nükleer tesislerinden arınmayı planlamaktadır. Türkiye deprem bölgesinde bulunan bir ülke olmasına rağmen yetkililer gelecekteki yüksek elektrik ihtiyaçlarını nükleer enerji santralleri ile karşılamayı planlamaktadırlar[15].

3.2.2 Fosil yakıtlar

Fosil yakıtlar, mineral yakıtlar olarak da bilinir, hidrokarbon içeren kömür, petrol ve doğal gaz gibi doğal enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlar endüstriyel alanda çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Elektrik üretiminde, genelde fosil yakıtın yanması ile açığa çıkan enerji bir türbine güç olarak iletilir. Enerji santrallerinde yanma ile elde edilen gazlar, direkt olarak gaz türbinini döndürmektedir[39]. Elektrik üretim akışı şekil 3.4'de görüldüğü gibidir;



Şekil 3.4 : Fosil yakıtlardan elektrik enerjisi üretimi[39].

3.2.2.1 Kömür-Linyit

Fosil enerji kaynaklarından olan kömür; Dünya üzerinde yaygın olarak bulunması, üretilmesi ve görünür kömür rezervlerinin şu anki üretim seviyeleri baz alındığında diğer fosil yakıtlara göre ömürlerinin fazla oluşu, fiyat istikrarı, taşıma kolaylığı, depolama imkanlarının rahatlığı, kullanımının kolaylığı yönünden emniyetli ve güvenilir olması, kullanıcıya arzının ucuzluğu ve sürekliliği gibi özellikleri ile vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır. Kömürün bu konumu, geçmişte olduğu gibi gelecekte de sürdürülebilir kalkınma ve enerjide güvenilirlik açısından önemli bir role sahip olmaya devam edecektir. Ülkemizde fosil kaynaklar içinde en büyük rezerve sahip olan kaynak kömürdür. Kömür rezervimiz içindeki en büyük pay 12,3 milyar ton ile linyite aittir. Linyit rezervlerimizin ağırlıklı olarak düşük ısı değerinde olması, bu kaynaklarımızın daha çok termik santrallerde elektrik üretim amaçlı tüketilmesine olanak sağlamaktadır. 2007 yılında üretilen satılabilir linyitin %85'i termik santrallerde tüketilmiştir [40].

Türkiye hem taş kömürü hem de linyit rezervlerine sahip olan bir ülkedir. Taşkömürü büyük oranda ülkesin batı bölgesinde, Zonguldak Havzasında, bulunmaktadır. Bu bölgede 700 milyon metrik tondan fazla işlenebilir rezervin olduğu düşünülmektedir. 8 milyar metrik tondan (Dünya'daki 7. en büyük rezerv) fazla olduğu tahmin edilen yaygın ve bereketli linyit rezervleri de mevcuttur. Bu rezervin büyük çoğunluğu ekonomik olarak işlenmeye müsait olmakla beraber yaklaşık olarak % 7 sinin ısı içeriği 3000 kcal/kg dan fazladır[4]. Elektrik üretiminde kömürün payının azalacağı, doğal gaz payında ise önemli artışların olacağı tahmin edilmektedir. Buna karşın, kömürün, elektrik üretiminde en fazla kullanılan yakıt olma niteliğinin 2030 yılına kadar değişmeyeceği öngörülmektedir. Fosil yakıtlar oldukça verimli ve ucuzdurlar. Fosil yakıt özütleme ve kullanıma hazır enerji haline getirmenin çevreye vermiş

olduğu birtakım etkiler söz konusudur. Küresel ısınma ve sera gazları yayılımına olan etkisi ve asit yağmurlarına sebebiyet vermesi açısından pahalı hava kirliliği kontrolleri gerektirmektedir[5;15].

Düşük kaliteli olması ve düşük kalori değerine sahip olmasına rağmen, linyit Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde ana kaynak olma özelliğini korumaktadır. Çünkü linyit rezervleri oldukça bereketlidir. Enerji ve tabii kaynaklar bakanlığının öngörüsüne göre linyit yaygın olarak kullanılmaya devam edecektir[23].

3.2.2.2 Petrol

Petrolün işlenmesi sonucu ortaya çıkan benzin, mazot, fuel-oil, motorin ürünleri termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Petrolün Dünya elektrik üretimi piyasasındaki rolünün önümüzdeki 20 sene içerisinde azalacağı beklenmektedir. Petrol fiyatları düşük olduğu dönemde, özellikle adalar gibi hidroelektrik santrali ya da kömür gibi yakıtlara ulaşmanın mümkün olmadığı uzak yerleşim yerlerinde, petrol elektrik üretimi amaçlı kullanılmaktaydı. Taşıma ve depolama işlemlerinin kolay olması bakımından petrol elektrik üretimi için elverişlidir. Petrol yakıtlı elektrik santralleri kömür yakıtlı santraller ile aynı şekilde çalışmaktadırlar. Petrol ısı üretmesi için yakılır, ısı buhar oluşturması için kullanılır ve oluşturulan buhar türbini döndürme işlevi görür. Bu tarz santrallerde ulaşılan verimlilik % 35 dolaylarında gerçekleşmektedir. İşlem sırasında oluşturulan enerjinin % 65 civarı kaybedilmektedir, israf olmaktadır[41].

Petrol hemen hemen Türkiye’nin enerji ihtiyacının yarısını karşılamaktadır. Fakat zamanla yerini doğalgaza bırakmaktadır. Türkiye petrol ihtiyacının yaklaşık olarak % 90 ı Ortadoğu ve Rusya’dan karşılanmaktadır. Türkiye’nin toplam petrol rezervi 931 milyon tondur. Petrolün payı elektrik üretiminde 1970 de % 30 civarlarındayken, 2001 yılında % 8 dolaylarına gerilemiştir[15]. Türkiye’de yıllık 3,5 milyon ton petrol üretimiyle 13-14 yıl yetecek petrol rezervlerimizin olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen yıllık kullanılan petrol miktarının %90 ‘ı ithal edilmektedir[42].

3.2.2.3 Doğalgaz

Doğalgaz dünya enerji arzının oldukça yüksek önem taşıyan unsurlarından biridir. Fosil yakıtlara göre göreceli olarak temiz, güvenli ve kullanışlı enerji kaynaklarından

bir tanesidir[4]. 2005 yılı verilerine göre, Türkiye’de tüketilen toplam doğalgazın % 57’ si elektrik üretiminde, yüzde 22 ‘si meskenlerde, yüzde 19’ u sanayide ve geriye kalan yaklaşık yüzde 2 lik kısmı ise gübreleme işleminde kullanılmıştır. Buradan hareketle doğalgazın elektrik üretimindeki önem derecesi anlaşılmaktadır. Dünyadaki en hızlı büyüyen temel enerji kaynağı doğalgazdır[15;43].

Türkiye enerji piyasasında da benzer bir eğilim ile, doğalgaz piyasası kayda değer bir büyüme göstermektedir. Son 15 yıl içerisinde elektrik üretimindeki doğalgazın kullanım oranı keskin bir artış göstererek 2001 yılı için % 41 dolaylarına ulaşmıştır. Öngörülmektedir ki, mesken ve sanayi kullanımlarında da ciddi artış beklenmesine karşın, doğalgazın elektrik üretim amaçlı kullanım payı beklenen talep artışının en önemli nedenini oluşturacaktır. Öngörülere göre, 2020 yılı itibariyle sektördeki doğalgaz kullanım oranı yüzde 68.5 ile elektrik üretimi, yüzde 18.3 ile sanayi kullanımı, yüzde 12.1 ile mesken kullanımı ve yüzde 1.1 ile de gübreleme amaçlı kullanılacaktır[15].

Doğalgaz verimli olan, geniş ölçüde ulaşılabilir ve iletimi kolayca gerçekleştirilebilen bir yakıt türüdür. Fakat tüketilen doğalgazın büyük bir çoğunluğunun değişken (stabil olmayan) ekonomiye sahip ülkelere temin edilmesi, temin istikrarının politik gelişmelerden etkilenebileceği izlenimini vermektedir.

2004 yılı verilerine göre, sahip olunan gaz rezervlerinin, mevcut tüketim oranlarıyla devam edildiği sürece 60 yıllık kullanımı karşılayacağı öngörülmektedir[5]. Doğalgaz kömür yanması ile karşılaştırıldığında CO₂ salınımının kayda değer miktarda azaldığı görülse de, doğalgaz yakıtının CO₂ salınımında belirli bir etkisinin olması nedeniyle, iklim değişikliğine sebebiyet verdiği de bilinmektedir.

3.3 Birleşik Isı ve Güç enerjisi (CHP)

En temel ifadeyle ; elektrik ve ısı aynı anda üretilirken, faydalı şekilde tüketilmesidir. CHP teknolojisi ile elektrik üretim akışı şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Birleşik ısı ve güç enerjisi teknolojisi ile elektrik üretim akışı [44].

Birleşik ısı ve güç enerjisi kullanımının çeşitli avantajları mevcuttur;

- Üretilen elektrik; ihtiyaç duyulan tüketim noktasında, iletim ve dağıtım kayıplarına uğramadan, ihtiyaç noktasında tüketilir.
- Kullanıcısına temiz ve kesintisiz elektrik sağlar.
- İletim ve dağıtım sisteminde ilave yatırım gerekmez.
- Çevresel Faktörler açısından ele alındığında düşük Karbon Salınım özelliği ön plana çıkmaktadır.

Uygulama alanlarına bakılacak olursa; toplu konut, alışveriş merkezi, hastane, otel, üniversite kampusu ve yüksek binalar örnek gösterilebilir.

Bununla beraber bazı dezavantajları mevcuttur. Örneğin birleşik ısı ve güç sistemleri tamamen yenilenebilir enerji kategorisine girmemektedirler. Hala doğalgaza bağlı olarak çalışan CHP sistemler mevcuttur. Fakat piyasada, biyokütle gibi yenilenebilir yakıtlardan istifade eden buhar kazanları bulunmaktadır. CHP sistemlerinin mevsimsel bazı varyasyonları söz konusudur. Müşterilerin dinamik gereksinimlerine cevap verme aşamasında bazı sıkıntılara sebebiyet verebilmektedir. Örneğin yaz dönemlerinde aşırı fazla ısı üretmektedirler. Ayrıca kullanıma göre değişkenlik gösteren geri ödeme süreleri 7 ila 12 yıl arasında değişmekte olup, anlaşıldığı üzere hala yüksek seviyelerdedir[44].

3.4 Karar Modelinde Değerlendirilecek Yakıt Türleri

Yapılan literatür taraması sonucunda elektrik üretiminde kullanılacak olan yakıt türleri yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan başlıkları altında kategorize edildi. Modelde değerlendirilecek olan yakıt türleri çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1 : Karar modelinde değerlendirilecek yakıt türleri.

Kategori	Yakıt Türü
Yenilenebilir	Hidroelektrik [4 ; 5 ; 30 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48]
	Rüzgar [4 ; 5 ; 30 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48]
	Güneş [4 ; 5 ; 30 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48]
	Biyokütle [4 ; 5 ; 30 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48]
	Jeotermal [4 ; 30 ; 46 ; 47 ; 48]
Yenilenebilir Olmayan	Nükleer [4 ; 5 ; 30 ; 45]
	Kömür & Linyit [37 [4 ; 5 ; 30]
	Petrol [4 ; 30]
	Doğalgaz [4 ; 5 ; 30]

4. YAKIT TÜRLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK KRİTERLER

Klasik bir Çok Kriterli Karar Verme Sorunu en genel hali ile "verilen bir karar kümesi içinden Karar Verme Durumuna bağlı olarak en iyi kararı seçme" olarak tanımlanabilir. Genel anlamda Çok Kriterli Karar Verme gerektiren bir sorun seçeneklerin kriterlere göre değerlendirilerek bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapılması ile çözülebilir[49].

4.1 Önceki Çalışmalarda Kullanılan Kriterler

Türkiye örneğinde gerekli elektrik üretim alternatifinin seçimine olanak sağlayan enerji kaynaklarının çok ölçütlü değerlendirilmesi üzerine yapılmış olan çalışmada, olası enerji seçenekleri; fiziki, çevresel, ekonomik ve politik ve diğer kontrol edilemeyen faktörler açısından analiz edilmiştir[5]. Çalışmada ele alınan ana kriterler/kriterler çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1 : Ana kriterler/kriterler [5].

Ana Kriter	Kriterler
Fiziki	Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği
	Potansiyel mevkinin uygunluğu
Çevresel	Dışsal maliyet tahminleri
Ekonomik	Dengelenmiş maliyet
Politik ve diğer kontrol edilemeyen durumlar	İstikrar

Fiziki

Kaynaklar “fiziki” açıdan değerlendirildiğinde; Bilindiği üzere elektrik enerjisi üretiminde kullanılan , yenilenebilir ve tükenir diye de ifade edilebilen yenilenebilir olmayan enerji kaynakları olarak iki gruba ayrılırlar. Buradaki ayrım “enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği” kriteri ile sağlanır. Ayrıca, “potansiyel mevkinin uygunluğu” kriteri ile de mevcut enerji kaynağının uygunluğu araştırılmak istenmektedir.

Çevresel

Çevresel” açıdan değerlendirildiğinde “dışsal maliyet tahminleri” kriteri üzerinde durulmuştur. Bahsedilen dışsallıklar enerji kullanımının çevresel ve sağlık açısından etkileri ve bu etkilerin dışsal maliyetleri olarak ele alınmıştır. Dolayısıyla küresel ısınma, kirliliğin sağlık üzerine olan etkisi, meslek hastalıkları ve kazalar gibi zararları dikkate alınmıştır. Dışsal maliyetler çevreye ve topluma yüklenen maliyetleri ifade etmektedir fakat enerji üreticileri ve tüketicileri açısından hesaba katılmamışlardır. Dolayısıyla bu maliyet türü piyasa fiyatına dahil edilmemektedir.

Ekonomik

“Ekonomik” açıdan ise hangi teknoloji ve enerji kaynağının kullanımı ile en düşük maliyete ulaşılabileceğinin belirlenmesi aşamasında ise “dengelenmiş maliyet” kriteri ele alınmıştır. Dengelenmiş maliyet sermaye, enerji kaynağı ve işletme ve bakım maliyetlerini dikkate almaktadır.

Politik ve diğer kontrol edilemeyen durumlar

Son olarak “politik ve diğer kontrol edilemeyen durumlar” açısından ise “istikrar kriteri” ele alınmıştır. Fosil yakıtlar, doğalgaz gibi bazı kaynaklar ülkenin politik istikrarsızlığından ötürü her zaman için güven veremeyebilmektedirler. Rüzgar gibi su gibi diğer bazı kaynakların ise sene boyunca gösterecekleri istikrar önem arz etmektedir.

Türkiye örneğinde en iyi enerji teknolojisi alternatifinin seçilmesi aşamasında çok kriterli karar verme tekniğinden yararlanılmıştır[45]. Alternatif teknolojileri teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan analiz etmişlerdir. Çalışmada ele alınan ana kriterler/kriterler çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 : Ana kriterler/kriterler [45].

Ana Kriter	Kriterler
Teknik	Etkinlik/Verim
	Ekserji verimi
Ekonomik	Yatırım maliyeti
	İşletme ve bakım masrafları
Çevresel	NO _x emisyonu
	CO ₂ emisyonu
	Toprak kullanımı
Sosyal	Sosyal uygunluk/geçerlilik
	İş alanları açma

Teknik

“Etkinlik” enerji kaynağından ne kadar faydalı enerji elde edilebileceğini ölçen bir kriterdir. Etkinlik katsayısı, en sık rastlanılan kullanımıyla, elde edilen enerji çıktısının enerji girdisine oranı olarak tanımlanır. Verimli enerji artan enerji talebini azaltmak açısından oldukça önem arz etmektedir.

“Ekserji verimi” termodinamiğin ikinci yasasını dikkate alarak sürecin etkinliğini hesaplamaya çalışır. Yapılan proste ısı değişimi gerçekleştiğinde her zaman bir ekserji kaybı meydana gelmektedir. Ekserji kullanılabilecek durumda olan kalan enerjiyi ifade etmektedir.

Ekonomik

“Yatırım maliyeti” mekanik ekipmanın satın alınması, teknolojik kurulumlar, ulusal ağ ile olan bağlantıların ve yolların inşası, mühendislik hizmetleri, sondaj çalışması ve diğer olası inşaat işleri gibi bileşenlerden oluşmaktadır.

“İşletme ve bakım masrafları” kriterine bakacak olursak. İşletme maliyetleri enerjiye harcanan ücretler ve mali kaynaklar, ürünler ve servisleri içermektedir. Bakım masrafları ise bakım için yapılan harcamaları ifade etmektedir. İşletme ve bakım masrafları sabit ve değişken maliyetler olarak iki alt kategoriye ayrılmaktadırlar.

Çevresel

“NO_x emisyonu” hava kirliliğine, asit çökeltisine ve iklim değişikliklerine neden olabilecek çeşitli molekül gruplarından oluşmaktadır. Organik kimyasallarla tepkimeye girdiğinde sağlığa zarar veren ve mutasyonlara sebep olan geniş

çeşitlilikte zehirli ürünler oluşturmaktadır. Dolayısıyla çoğu uzmana göre enerji sistemlerinin NO_x emisyonu önemli bir kriter olarak ele alınmaktadır.

“CO₂ emisyonu” kriterine bakacak olursak, CO₂ sera etkisine sebebiyet veren renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Çoğunlukla geleneksel enerji sistemleri yüzünden salınır. CO₂; bir çok hükümet, akademik camia ve araştırmacılar tarafından dikkate alınan ve üzerinde çalışılan küresel ısınmaya neden olabilmektedir. Doğal olarak, sürdürülebilirliğin değerlendirilmesi hususunda CO₂ salınımı önemli bir kriteri teşkil etmektedir.

“Toprak kullanımı” kriterinin karar vericiler için önemine bakacak olursak, bilindiği üzere çevre ve tabiat enerji sistemlerinden doğrudan etkilenmektedirler. Bu sebeple, her bir santral için gerekli olan arazi gereksinimi değerlendirme safhası için önem teşkil etmektedir. Ürün aynı olmasına rağmen farklı enerji sistemleri farklı alanlar işgal edebilirler.

Sosyal

“Sosyal uygunluk/geçerlilik” yerel halkın kurulması planlanan enerji sistemine olan bakış açısını ifade etmektedir. Oldukça önemli bir durumu teşkil etmektedir, halkın fikirleri ve çeşitli grupların göstermiş olduğu direnç projenin tamamlanması için gerekecek zamanı ciddi şekilde etkileyecektir. Dikkat edilmedir ki “sosyal geçerlilik” doğrudan ölçülebilir bir figür değildir. Niteliksel bir kriterdir.

“İş alanları açma” kriteri hükümet yetkililerinin karar verme sürecinde kaçınılmaz olarak göz önüne alınmaktadır ve enerji sistemlerinin katkıları açısından önem arz etmektedir.

Türkiye örneğinde alternatifler arasından en uygun enerji politikasına karar verme aşamasında çok kriterli karar verme tekniği uygulanmıştır[46]. Alternatifleri teknolojik, çevresel, ekonomik ve sosyo-politik açıdan analiz etmişlerdir. Çalışmada ele alınan ana kriterler/kriterler çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Ana kriterler/kriterler [46].

Ana Kriter	Kriterler
Teknolojik	Uygulanabilirlik
	Risk
	Güvenilirlik
	Hazırlık aşamasının süresi
	Uygulama aşamasının süresi
	Performansın sürekliliği ve tahmin edilebilirliği
	Lokal teknik uzmanlık
Çevresel	Kirletici madde emisyonu
	Arazi gereksinimleri
	Atık imha işlemine olan gereksinim
Sosyo-politik	Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk
	Politik onaylama
	Sosyal onaylama
	İşçilik etkisi
Ekonomik	Uygulama maliyeti
	Fon kullanılabilirlik
	Ekonomik değer

Teknolojik

“Uygulanabilirlik” kriteri enerji politikasının uygulanması için güvenliliğin olasılığını ölçmektedir. Karar parametresi için başarılı bir şekilde test edildiği zamanların sayısı dikkate alınabilir.

“Risk” kriteri, daha önce yapılan emsal bir durum için hatalarla ilgili problem sayısını ölçerek enerji politikasının uygulanması için güvenliliğin olasılığını ölçmektedir.

“Güvenilirlik” kriteri enerji politikasının teknolojisini değerlendirmektedir. Kullanılacak teknoloji sadece laboratuvar ortamında test edilmiş olabilir, sadece örnek santrallerde uygulanmış olabilir, hala geliştiriliyor olabilir ya da konsolide edilmiş bir teknoloji de olabilir.

“Hazırlık aşamasının süresi” kriteri finansal varlıkları azaltıp minimum maliyete ulaşabilmek amacıyla alternatif enerji politikasının uygunluğunu ölçmektedir. Hazırlık aşaması yılları ya da ayları göz önünde bulundurarak oluşturulan bir neticedir.

“Uygulama aşamasının süresi” kriteri minimum maliyete ulaşabilmek için alternatif enerji politikasının uygulanabilirliğini ölçmektedir. Uygulama aşamasının süresi aşaması yılları ya da ayları göz önünde bulundurarak oluşturulan bir neticedir.

“Performansın sürekliliği ve tahmin edilebilirliği” kriteri enerji politikası için teknolojinin performansına dair değerlendirme yapmaktadır. Teknolojinin güvenli bir şekilde sürekli çalışıyor olduğunu bilmek önem arz etmektedir.

“Lokal teknik uzmanlık” kriteri; ele alınan teknolojinin karışıklığı ve yerel aktörlerin kapasitesinin niteliksel olarak karşılaştırılmasına dayanan, alternatif enerji politikası için bakım ve kurulum için uygun işletme desteğini garanti altına almayı hedefleyen bir değerlendirme sürecini içerir.

Çevresel

“Kirletici madde emisyonu” kriteri yanma işlemi ya da sıvı atıklar ile oluşan CO₂ nin eşdeğer emisyonları ölçer. Kriterin değerlendirilmesi süreci, emisyonun çeşidi ve miktarı ile atık arıtmasından kaynaklı maliyeti içermektedir. Ayrıca enerji yatırımları için elektro-manyetik karışmaları, kötü kokular ve mikroklimatik değişiklikler de kriterin değerlendirilmesi safhasında göz önüne alınır.

“Arazi gereksinimleri” kriteri enerji yatırımı için en önemli faktörlerden bir tanesidir. Arazi için güçlü talep ekonomik kayıpları da belirleyebilmektedir.

“Atık imha işlemine olan gereksinim” kriteri enerji politikasının çevre kalitesine verdiği zararı değerlendirmektedir. Yaşam kalitesine olan zararı düşürmek ve sürdürülebilirliği arttırabilmek için alternatif politikalar dikkate alınabilir.

Sosyo-Politik

“Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk” kriteri ulusal enerji politikası ile önerilen enerji politikasının entegrasyonunu analiz etmektedir. Hükümetin izlediği politika ile önerilen enerji politikasına ait hedeflerin yakınsaklık derecesini ölçmeyi amaç edinmektedir. Bu kriter ayrıca hükümet desteğini ve kurumsal aktörlerin eğilimini dikkate alır.

“Politik onaylama” kriteri önerilen enerji politikası için liderlerin fikirsel anlamda bir görüş birliğine ulaşp ulaşmadıklarını araştırmaktadır. Ayrıca politikacıların tepkilerini çekmeyip onları tatmin edebilmeyi göz önüne almaktadır.

“Sosyal onaylama” kriteri sosyal paydaşlar arasındaki fikir birliğini arttırmayı hedeflemektedir. Bazı özel ilgi alanlarında aktif olan sosyal grupların tepkilerinden kaçınmayı da göz önünde bulundurur.

“İşçilik etkisi” kriterine bakacak olursak, enerji politikalarının doğrudan ya da dolaylı olarak istihdama olan etkileri önem arz etmektedir.

Ekonomik

“Uygulama maliyeti” kriteri tamamen kullanıma hazır hale gelebilmesi için gerekli toplam enerji yatırımı maliyetini analiz eder.

“Fon kullanılabilirlik” kriteri ulusal ve uluslararası fon kaynaklarını ve hükümetin ekonomik desteğini değerlendirir.

“Ekonomik değer” kriteri önerilen enerji politikasını şimdiki değer (PW), iç verimlilik (IRR), fayda maliyet analizi (B/C), ve geri ödeme zamanı gibi bazı mühendislik ekonomisi teknikleri yardımıyla ekonomik açıdan değerlendirir.

Örnek olay incelemesi olarak İrlanda’da bir şehir bölgesini ele alan makalede, konut ısıtma enerjisi ve evsel elektrik tüketimine dair 6 farklı senaryonun değerlendirilmesi aşamasında çok kriterli karar analizi yapılmıştır[50]. Seçenekleri çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan analiz etmişlerdir. Çalışmada ele alınan ana kriterler/kriterler çizelge 4.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 : Ana kriterler/kriterler [50].

Ana Kriter	Kriterler
Çevresel, ekonomik ve sosyal	Ekolojik ayak izi (kişi başına Gha)
	Sülfür dioksit (SO ₂) (kişi başına ton)
	Nitrojen oksit (NO _x) (kişi başına ton)
	Diğer sera gazları-GWP (kişi başına ton bazında CO ₂)
	Arz güvenliği
	Enerji maliyetleri (kişi başına €)
	Kişi başına tüketim yüzünden yaratılan istihdam

“Arz güvenliği” kriteri arz kesintileri riskini kabul edilebilir bir seviyeye düşürmek ve aynı zamanda satın alınabilir enerjinin mevcut ihtiyacı karşılayabiliyor olmasından emin olmak şeklinde tanımlanmıştır. Yani, güvenli enerji sistemi bazı

olası sistem şoklarına veya düzensizliklere karşı dirençlidir ve enerji ithalatlarına daha az bağımlıdır.

“Ekolojik Ayak İzi”, insanların kullandığı yenilenebilir kaynakları sağlayabilmek için gereken, biyolojik olarak verimli ve suyun bulunduğu alanı hesaplar. Buna, altyapı ile CO₂ emilimini sağlayacak bitki örtüsü için gereken alan da dahildir.

Türkiye için, çok kriterli karar problemini oluşturularak, uygun enerji politikasının belirlenmesini amaçlayan bir çalışma ortaya koyulmuştur[30]. Analitik Ağ Süreci (ANP) yönteminin kullanıldığı çalışmaya ait kontrol kriterleri ve karar ağı çizelge 4.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 : Karar ağlarında bulunan kümeler ve kümelerde bulunan faktörler[30].

Boyutlar	Kümeler	Faktörler
Faydalar	Teknolojik	Teknoloji
	Eğitimsel	Eğitim
	Katılımcılar	Üniversiteler, kuruluşlar
Fırsatlar	Katılımcılar	Özel şirket, devlet yatırımları, araştırma kuruluşları
Maliyetler	İşletme maliyetleri	Marjinal maliyetler, risk maliyetleri, yanlış kullanım maliyetleri, taşıma maliyetleri
	Kurulum maliyetleri	Yatırım, depolama
Riskler	Katılımcılar	Devlet, diğer ülkeler, kamu, kuruluşlar
	Vergiler	Vergiler
	Enerji kaynağının özellikleri	Güvenlik, kıtlık, yaygın kullanım, yenilenebilir
	Çevresel	Asit yağmurları, iklim değişikliği, sera etkisi, erozyon, sosyal etki
	Ambargolar	Ambargolar

Faydalar

“Teknoloji” kriteri için, Türkiye teknolojik gelişmeleri yakından takip edip yeni tasarlanmış enerji dönüştürme tekniklerinden faydalanmalı ve araştırma ve geliştirme konularına önem vererek yerli teknolojide ilerleme kaydetmelidir.

“Eğitimsel” açıdan düşünüldüğünde, üniversitelerde verilen teknik eğitim dışında devam etmekte olan bir başka eğitim de mevcuttur. Bazı kuruluşların eğitim departmanları da, enerjinin doğru kullanımı ile ilgili ortaokul ve lise öğrencilerini bilgilendirmektedir.

“Katılımcılar” kriteri üniversiteler ve çeşitli kuruluşları ifade etmektedir. Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.(TEAŞ), Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ), Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Boru Hatları ile Petrol Taşıma Anonim Şirketi (BOTAŞ), Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) gibi kuruluşlar enerji sektöründeki hedeflerin ve politikaların belirlenmesi, arama inceleme çalışmalarına olanak sağlama, kaynaklarının üretim ve tüketimlerinin dengeli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadırlar. Daha başarılı yatırım planlaması açısından bu kendi aralarında iletişim halinde olmalılar. Öte yandan üniversiteler de bu konuda etkin olan kuruluşlardır. Türkiye’de bazı üniversitelerde petrol mühendisliği ve nükleer enerji mühendisliği lisans programları mevcuttur.

Fırsatlar

“Katılımcılar”; özel sektör, devlet yatırımları, araştırma kuruluşları kaynaklar açısından fırsatları etkileyen katılımcılardır. Türkiye’nin enerji politikaları yoğun kural ve düzenlemelere tabii olan bir karma ekonomi modelinden eksiksiz bir liberal plana doğru geçmektedir. Öte yandan, Devlet, enerji sektöründeki mali gereksinimleri karşılamak ve özel sektörü özendirmek amaçlı girişimlerde bulunmaktadır.

Maliyetler

“İşletme maliyetleri” olarak marjinal maliyetler, risk maliyetleri, yanlış kullanımdan kaynaklı maliyetler ve taşıma maliyetleri ele alınmaktadır.

“Kurulum maliyetleri”, enerji tesisi kurulması planlandığında detaylı bir şekilde hesaplanmalıdır.

Riskler

Risk açısından düşünüldüğünde enerji politikası kararını etkileyen “katılımcılar” incelendiğinde Devlet, diğer ülkeler ve kuruluşlar örnek gösterilebilir.

“Vergiler ve para politikaları” açısından bakıldığında, Türkiye’de bulunan enerji açmazı daha çok mali sıkıntılardan kaynaklıdır. Kaynak kıtlığından ötürü, geçmişte yapılmış olan bir çok plan başarısız oldu.

“Enerji kaynağının özellikleri” kriteri, enerji kaynaklarına ait kullanım güvenliği, kıtlık, yaygın kullanım ve yenilenebilirliğin derecesi gibi faktörleri göz önüne almaktadır.

“Çevresel” açıdan düşünüldüğünde; asit yağmurları, iklim değişikliği, sera gazı etkisi, erozyon ve sosyal etkiler dikkate alınmıştır. Türkiye’de hava kirliliği ciddi endişe teşkil etmeye başlamıştır. Enerji kullanımından kaynaklı hava kirliliği; kömür, linyit, petrol, doğalgaz, tahta ve tarımsal ve hayvansal artıkların yanmasından kaynaklanmaktadır.

“Ambargolar” kriterine bakılacak olursa; güneş, jeotermal ve rüzgar enerjileri ulusal kaynaklar olduklarından ötürü daha güvenlidirler ve ambargo riskini taşımamaktadırlar. Türkiye’de bulunan enerji santrallerinin büyük bir kısmı girdi olarak doğal gazı kullanmaktadırlar. Yani dışa bağımlı bir durumu teşkil etmektedir. Bu durum ise olası ambargolar açısından soru işareti yaratmaktadır.

4.2 Karar Modelinde Kullanılacak Kriterler

Seçenekler arasında ekonomik ya da çevresel değerler açısından bazı çelişkili durumlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin kömür, petrol gibi geleneksel yakıt türleri çevreye olan etkileri göz önüne alınıp değerlendirildiğinde daha az çekici olmaktadır. Bununla birlikte, genelde geleneksel enerji kaynaklarına ikame olarak ele alınan yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik üretimindeki kapasiteleri bakımından, kurulacağı bölgenin uygunluğu açısından, sürdürülebilirlik ya da enerji kaynaklarının stabil olması bakımından farklılık gösterebilmektedir. Buna ilave olarak, yenilenebilir enerji kaynakları görece olarak daha yüksek yatırım maliyeti ve düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahiptirler. Bu nitelikler bu tür kaynakları uzun dönemde cazip kılsa da, maliyet minimizasyonunun elzem olduğu rekabetçi bir çevrede daha az cazip hale getirebilmektedir. Bu nedenle, elektrik üretimde kullanılacak olan uygun yakıt türünün seçim aşamasında elektrik üretim sistemleri için çok kriterli değerlendirme işlemi yapılması uygun düşmektedir [5].

Çizelge 4.6 : Karar modelinde kullanılacak kriterler.

Ana Kriter	Kriter
Fiziki	Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği [5]
	Potansiyel mevkinin uygunluğu [5]
Çevresel	Dışsal maliyet tahminleri [5]
	Kirletici madde emisyonu [4 ; 47 ; 48]
	Arazi gereksinimleri [4 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48]
	Atık imha işlemine olan gereksinim [4 ; 47 ;48]
Ekonomik	Yatırım maliyeti [45 ; 46]
	İşletme ve bakım masrafları [45 ; 46]
Kontrol edilemeyen durumlar	Politik istikrardan etkilenme [5]
	Arz güvenliği [50]
Etkinlik	Etkinlik [45 ; 46]
Teknolojik	Operasyon riski [4 ; 47 ; 48]
	Teknoloji düzeyi [4 ; 47 ; 48]
	Uygulama aşamasının süresi [4 ; 47 ; 48]
	Teknik uzmanlık düzeyi [4 ; 47 ; 48]
Sosyo-politik	Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk [4 ; 47 ; 48]
	Sosyal onaylama [4 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48]
	İşsizliği azaltma [4 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48 ; 50]

5. ÖNERİLEN KARAR MODELİ

AHS ve TOPSIS yöntemlerini kullanan entegre yaklaşım 4 aşamadan oluşmaktadır:

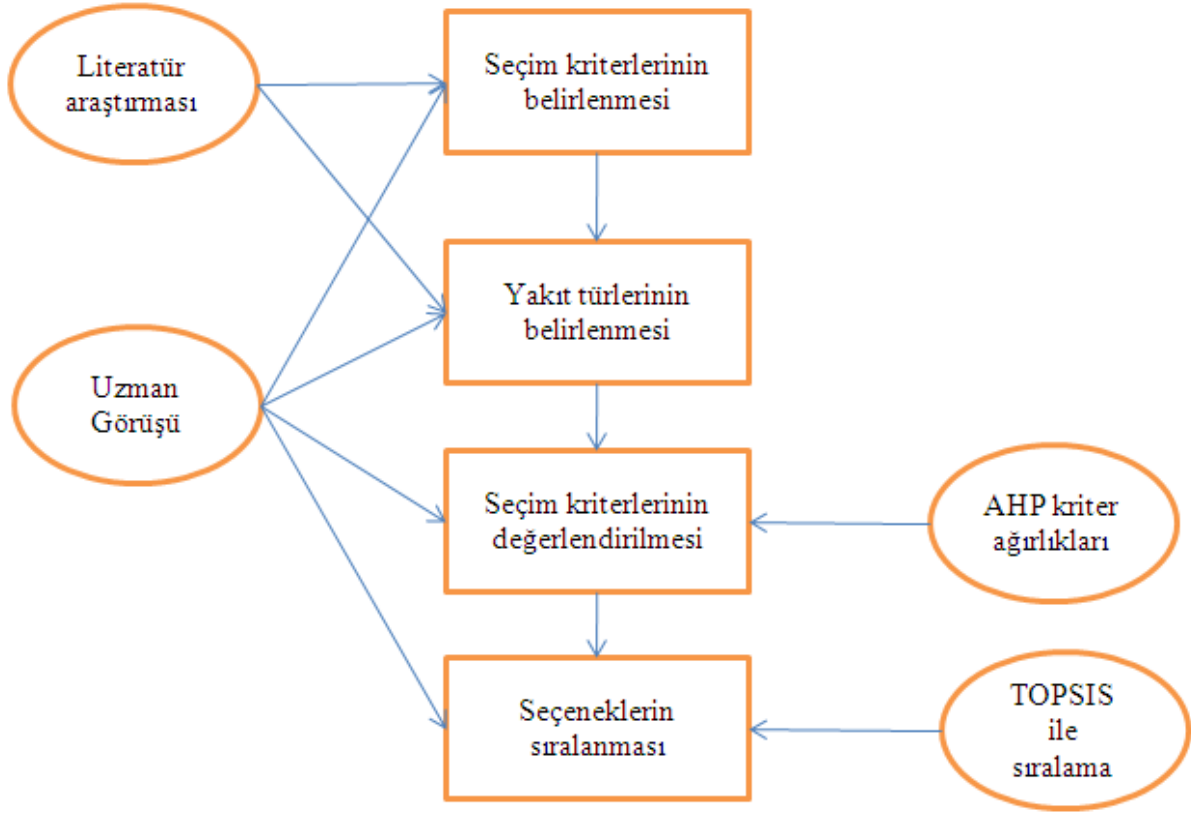
- (1) Seçim kriterlerinin belirlenmesi,
- (2) Yakıt türlerinin belirlenmesi,
- (3) Seçim kriterlerinin değerlendirilmesi,
- (4) Yakıt türlerinin değerlendirilmesi.

Öncelikle kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Literatür araştırmasının ardından seçim kriterleri ve yakıt türlerinin belirlenmesi aşaması gelmektedir. Yapılan literatür çalışması sonucunda seçenekler ve kriterlere ait belirli gruplamalar yapılmıştır. Seçenekler tarafında yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan yakıt türleri olarak, kriterler tarafında ise ana kriterler ve kriterler şeklinde yapılan gruplamalar ardından, uzman görüşleri dikkate alınarak ve Türkiye örneği göz önünde bulundurularak nihai grupta yapılmıştır. Daha sonraki aşamada kriter ağırlıklarının saptanması sırasında AHS yöntemi kullanılmıştır. İkili karşılaştırma matrislerinden oluşan anketin birinci bölümü 8 uzmana yöneltilmiştir. Uzmanlara ait bilgiler çizelge 5.1’de gösterilmiştir (Anket ekler bölümünde verilmiştir).

Çizelge 5.1 : Katılımcı bilgileri.

Ad Soyad	Enstitü/Bölüm	Kurum
Doç Dr. Gülgün Kayakutlu	Endüstri Mühendisliği	Üniversite
Prof. Dr. Ahmet Durmayaz	Enerji Enstitüsü	Üniversite
Prof. Dr. Hüseyin Atila Özgener	Enerji Enstitüsü	Üniversite
Yrd. Doç. Dr. Coşkun Fırat	Enerji Enstitüsü	Üniversite
Cem Keskin	Enerji Enstitüsü (YL Öğrenci)	Özel sektör
Hüseyin Volkan Yiğit	Enerji Enstitüsü (YL Öğrenci)	Özel sektör
Yasemin Özliman	Enerji Enstitüsü (YL Öğrenci)	Özel sektör
Okan Sayaner	Enerji Enstitüsü (YL Öğrenci)	Özel sektör

Seçim kriterlerinin değerlendirilmesi aşamasından sonra kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Seçeneklerin sıralanması aşamasında ise uzmanlarca her bir kriter göz önüne alınarak yakıt türlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bir önceki aşamadan elde edilen kriter ağırlıkları ile bu aşamadan elde edilen veriler kullanılarak karar matrisi oluşturulmuştur. Nihai sıralama bu aşamada TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Yönteme ait aşamalar şekil 5.1’de özetlenmiştir.



Şekil 5.1 : Amaçlanan AHS-TOPSIS Yöntemi Aşamaları.

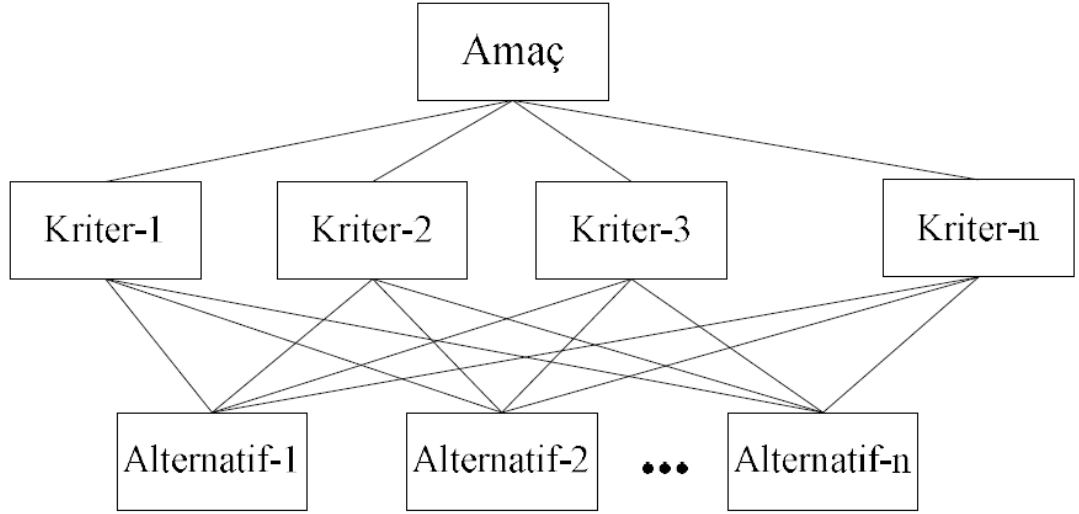
5.1 Kullanılan Yöntemler

5.1.1 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

Analitik Hiyerarşi Süreci 1970’li yılların ortasında Pensilvanya Üniversitesinden Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ölçme ve karar verme için kullanılan bir matematiksel teoridir[51]. AHS literatürde yaygın olarak çalışılmıştır ve son 20 yılda çok kriterli karar verme ile ilgili neredeyse tüm uygulamalarda kullanılmıştır[52].

AHS yönteminin uygulama adımları şu şekildedir:

1.Adım: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması: Karar amacı ile tepeden başlayarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Orta seviyede kriterler ve en düşük seviyede ise seçenekler bulunur[53]. Şekil 5.2’de AHS yönteminin hiyerarşik yapısı verilmiştir.



Şekil 5.2 : AHS Hiyerarşik yapısı[54].

2.Adım: İkili Karşılaştırma Matrisleri (A) ve Üstünlüklerin Belirlenmesi: Amaç, kriterler ve alt kriterler belirlendikten sonra kriterlerin ve alt kriterlerin kendi aralarında önem derecelerinin belirlenmesi için 5.1 numaralı ifadede gösterilen (nxn) ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur[55]. Karar verici kriter matrisi veya alternatif matrisi için kriterleri veya alternatifleri ikili olarak karşılaştırır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{31} & \dots & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{32} & \dots & a_{n2} \\ 1/a_{31} & 1/a_{32} & 1 & \dots & a_{n3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1/a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan her bir ölçütün, amaca katkısı açısından göreceli önemleri ve her bir hedefin de ölçütler yönünden üstünlükleri, uygulayıcıların yargılarına göre, ikili karşılaştırma yolu ile belirlenir. Burada üstünlüklerin belirlenmesi için Saaty tarafından geliştirilen ve çizelge 5.1’de verilen önem ölçeği kullanılmalıdır[55].

Çizelge 5.2 : AHS Önem Ölçeği[55].

Sayısal Değer	Tanım
1	Öğeler eşit önemde veya aralarında kayıtsız kalınıyor.
3	1. öğe 2.'ye göre biraz daha önemli veya biraz daha tercih ediliyor.
5	1. öğe 2.'ye göre fazla önemli veya fazla tercih ediliyor.
7	1. öğe 2.'ye göre çok fazla önemli veya çok fazla tercih ediliyor.
9	1. öğe 2.'ye göre aşırı derecede önemli veya aşırı derecede tercih ediliyor.
2,4,6,8	Ara değerler

3.Adım: Özvektörün (Görelî Önem Vektörünün) Belirlenmesi: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonraki adım, ilgili matristeki her bir öğenin diğer öğelere göre önemini gösteren özvektörün hesaplanmasıdır[56]. Matrisin $n \times n$ boyutunda özvektörü şu şekilde belirlenmektedir:

$i=1,2,3,\dots,n$ ve $j=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere;

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (5.2)$$

Kriterlerin yüzde önem dağılımlarını belirlemek için $W = [w_i]_{n \times 1}$ şeklindeki sütun vektörlerinin hesaplanması gerekmektedir. W sütun vektörü, 5.2 numaralı eşitlikte belirtilen b_{ij} değerlerinin meydana getirdiği matrisin satır elemanlarının aritmetik ortalamasından elde edilir.

4.Adım: Özvektörün Tutarlılığının Hesaplanması: Her ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır ve bu oran için üst limitin 0,10 olması istenir. Oranın 0,10'un üstünde olması, karar vericinin yargılarında tutarsızlık olduğunu ifade eder. Bu durumda, yargıların iyileştirilmesi gerekmektedir. CR değerine ulaşmak için öncelikle A matrisinin en büyük özvektörünü (λ_{max}) hesaplamak gerekmektedir (eşitlik 5.4).

$i=1,2,3,\dots,n$ ve $j=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere,

$$D = [a_{ij}]_{n \times n} \times [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (5.3)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (5.4)$$

Tutarlılık oranının hesaplanmasında ihtiyaç duyulan bir başka değer ise rassallık endeksi (RI)'dir. Sabit sayılardan meydana gelen ve n değerine göre belirlenen RI

değerlerinin yer aldığı veriler çizelge 5.2’de verilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda CR değerinin hesaplanması 5.5 numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n-1) \cdot RI} \quad (5.5)$$

Çizelge 5.3 : Rassallık Endeksi Verileri[57].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

5.Adım: Hiyerarşik Yapının Genel Sonucunun Elde Edilmesi: Önceki dört aşama, hiyerarşik yapının tamamı için hesaplanır. Bu aşamada hiyerarşik yapıdaki n tane ölçütün her birinin meydana getirdiği m x 1 boyutundaki üstünlük sütun vektörleri bir araya getirilerek m x n boyutundaki DW karar matrisi oluşturulur. Elde edilen matrisin ölçütler arası W üstünlük vektörü ile çarpımı sonucunda R sonuç vektörüne ulaşılır (eşitlik 5.7).

i=1,2,3,...,m ve j=1,2,3,...,n olmak üzere,

$$DW = \begin{bmatrix} w_{ij} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (5.6)$$

$$R = DW * W \quad (5.7)$$

5.1.2 TOPSIS

Hwang ve Yoon (1981) tarafından çok kriterli karar verme tekniği olarak geliştirilmiştir[58]. Hwang ve Yoon, TOPSIS yöntemini çözüm alternatifinin pozitif-ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafe düşüncesine göre oluşturmuşlardır[59].

TOPSIS metodunda aşağıdaki adımlar izlenir:

1.Adım: Amaçların belirlenmesi ve değerlendirme kriterlerinin tanımlanması

2.Adım: Karar Matrisinin (D) oluşturulması: Karar matrisinde, seçenekler ($a_1 \dots a_n$) alt alta sıralanır ve karşılarında her bir kriterin seçeneklere göre gösterdikleri özellikler ($y_{1k} \dots y_{nk}$) listelenir[60]. Karar matrisinin oluşturulması 5.8 numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$D = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nk} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

3.Adım: Normalleştirilmiş Karar Matrisinin (R) Oluşturulması: Karar matrisindeki kriterlere ait puan veya özelliklerin kareleri toplamının karekökü alınarak matris normalize edilir[60]. Normalleştirme işlemi için 5.9 numaralı eşitlik kullanılır ve normalizasyon işlemi sonunda 5.10 numaralı eşitlikte gösterilen R matrisi elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,k \quad (5.9)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nk} \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

4.Adım: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisinin (V) Oluşturulması: w_j : her bir j.kriterin ağırlığı olmak üzere, amaca göre normalize edilmiş karar matrisinin elemanlarının kriterlere verilen önemler doğrultusunda göreceli ağırlık değerleri bulunur[59].

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1k} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & w_{nk} \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

Daha sonra 10 numaralı eşitlikte verilen R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar 5.11 numaralı eşitlikte verilen ilgili w_{ij} değeri ile çarpılarak 5.12 numaralı eşitlikte gösterilen V matrisi oluşturulur[59].

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1k} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nk} \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

5.Adım: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması: Pozitif ideal çözüm ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin en iyi performans değerlerinden oluşurken negatif ideal çözüm en kötü değerlerinden oluşur[56]. İdeal çözümler **5.13** ve **5.14** numaralı eşitlikler kullanarak hesaplanabilmektedir.

$$A^* = \{(\max v_{ij} | j \in I), (\min v_{ij} | j \in J)\} \quad (5.13)$$

$$A^- = \{(\min v_{ij} | j \in I), (\max v_{ij} | j \in J)\} \quad (5.14)$$

Her iki formülde de I fayda (maksimizasyon), J ise maliyet (minimizasyon) değerini göstermektedir[59]. 5.13 numaralı eşitlikten elde edilen değerler $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_k^*\}$ biçiminde ve 5.14 numaralı eşitlikten elde edilen değerler $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_k^-\}$ şeklinde gösterilebilir.

6.Adım: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması: Seçenekler arasındaki ayırım (mesafe) ölçülür. Her seçeneğin pozitif- ideal çözümden olan mesafesi 5.15 numaralı eşitlikteki gibi hesaplanır[59]:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (5.15)$$

Aynı şekilde negatif- ideal çözümden olan mesafelerde 5.16 numaralı eşitlikteki gibi hesaplanır[59]:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5.16)$$

7.Adım: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: 5.17 numaralı eşitlikten yararlanarak ideal çözüme göreli yakınlık (C_i^*) hesaplanır[59]:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (5.17)$$

8.Adım: Seçenekler ideal çözüme göreli yakınlık (C_i^*) değerlerine göre sıralanırlar. Maksimum C_i^* değeri seçilir[59].

5.2 Uygulama

Çalışmada, mevcut kriterler ve seçenekler göz önüne alınarak, Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak olan yakıt türlerinin değerlendirilmesi ve tercih puanlarına göre sıralanması hedeflenmektedir. Yakıt türü seçiminde belirlenen ilgili kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi için AHS yöntemi uygulanmıştır. AHS yönteminin uygulanması sırasında Super Decisions programı kullanılmıştır. Elde edilen kriter

ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile yakıt türleri sıralanmış ve en çok tercih edilen yakıt türü belirlenmiştir. Uygulama adımları sırasıyla aşağıda verilmiştir.

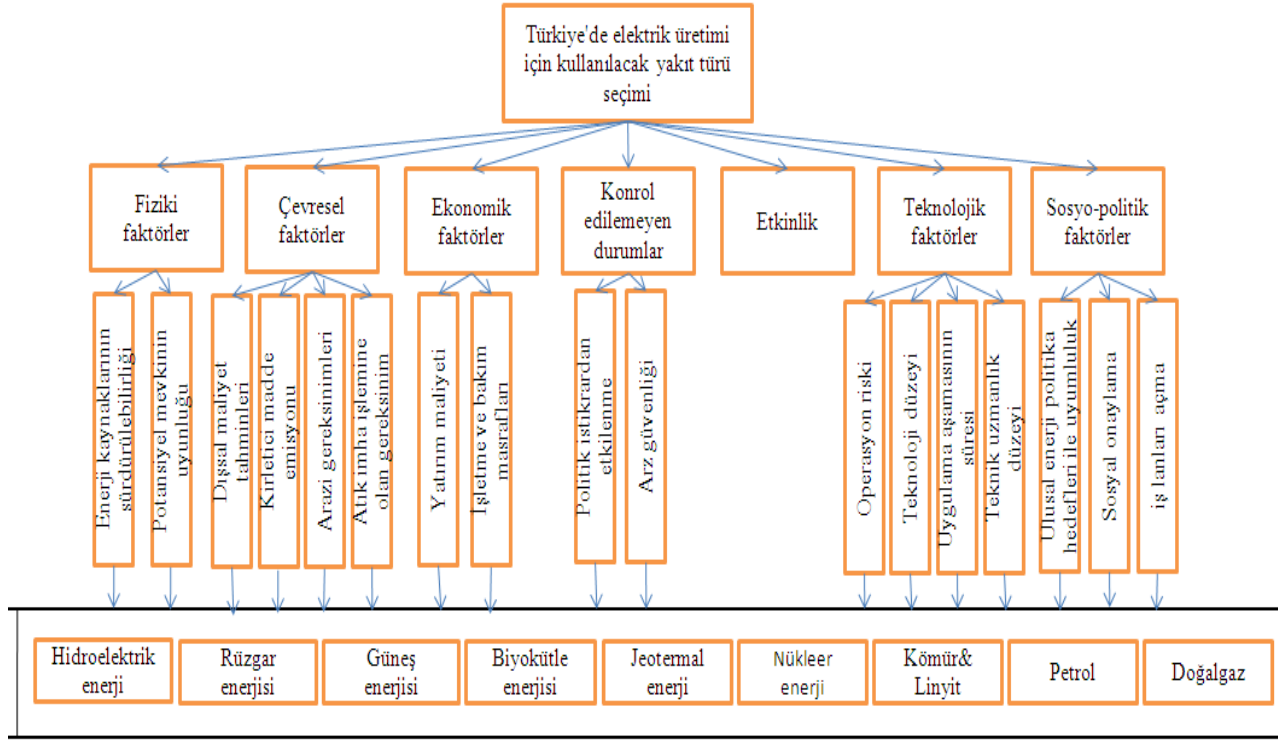
5.2.1 Önerilen model kapsamında 1. ve 2. aşama

Bölüm 3.4 ' de verilen “karar modelinde değerlendirilecek yakıt türleri” bölümünde söz edildiği üzere, değerlendirmeye tabii olacak seçenekler çizelge 5.3’de gösterilmektedir;

Çizelge 5.4 : Karar modelinde kullanılacak seçenekler.

Kategori	Yakıt Türü
Yenilenebilir	Hidroelektrik
	Rüzgar
	Güneş
	Biyokütle
	Jeotermal
Yenilenebilir Olmayan	Nükleer
	Kömür & Linyit
	Petrol
	Doğalgaz

Bölüm 4.2 ‘ de verilen “karar modelinde kullanılacak kriterler” bölümünde bahsedildiği üzere, belirlenen 6 ana kriter ve 18 kriter sonucunda oluşan hiyerarşik yapı şekil 5.3’de verilmiştir.

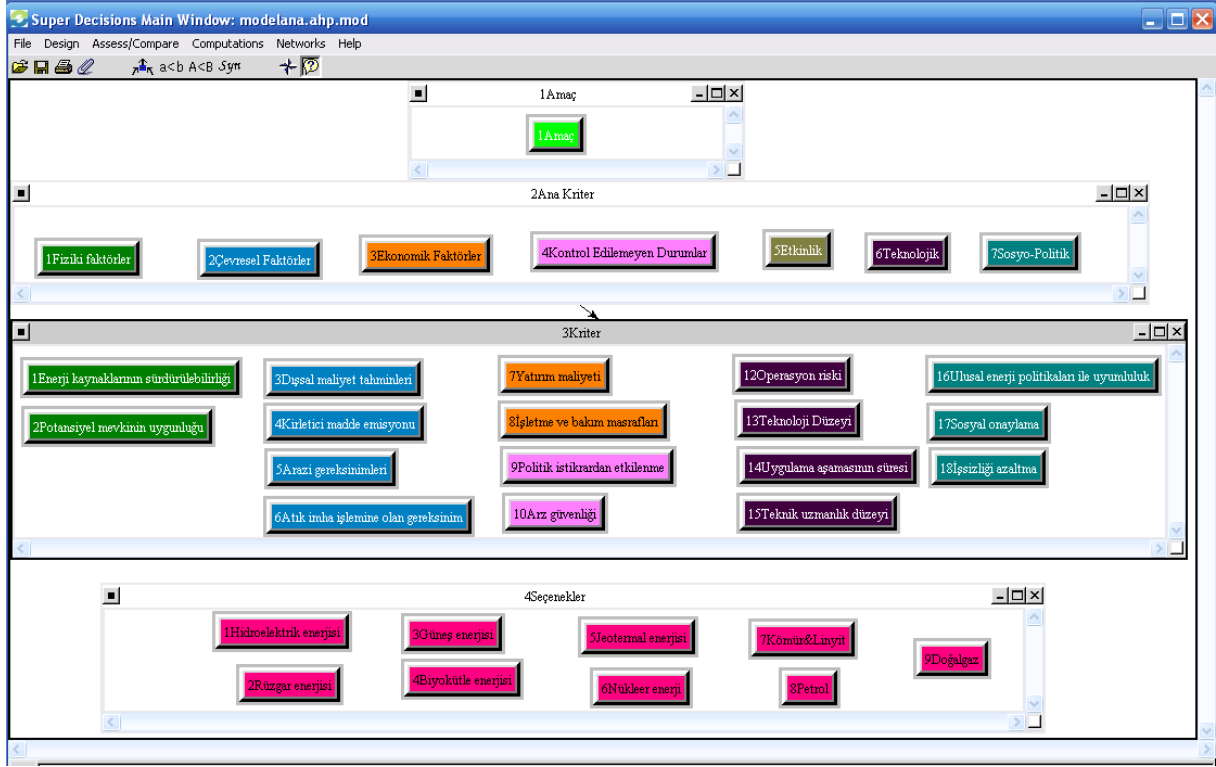


Şekil 5.3 : Modele ait hiyerarşik yapı.

Yukarıdaki hiyerarşik yapıdan anlaşılacağı üzere, “Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türü seçimi” amacı altında 6 ana kriter, 18 kriter ve değerlendirilmek üzere 9 yakıt türü bulunmaktadır. Literatür çalışması sonucunda gruplandırılarak elde edilen ana kriter ve kriterlerin son hali Türkiye örneğinde değerlendirilmiş olup ve uzman görüşlerinden faydalanılarak elde edilmiştir. Bu kapsamda fiziki faktörler altında, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği ve potansiyel mevkinin uygunluğu; çevresel faktörler altında, dışsal maliyet tahminleri, kirletici madde emisyonu, arazi gereksinimleri ve atık imha işlemine olan gereksinim; ekonomik faktörler altında, yatırım maliyeti ve işletme ve bakım masrafları; kontrol edilemeyen durumlar altında, politik istikrardan etkilenme ve arz güvenliği; teknolojik faktörler altında, operasyon riski, teknoloji düzeyi, uygulama aşamasının süresi ve teknik uzmanlık düzeyi; sosyo-politik faktörler altında ise ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk, sosyal onaylama ve iş alanları açma kriterleri bulunmaktadır. Bahsedilen kriterlere ilaveten etkinlik kriteri de modelde yer almaktadır. Ayrıca karar modelinde kullanılacak seçenekler kapsamında, hidroelektrik, rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal, nükleer, kömür&linyit, petrol ve doğalgaz yakıt türleri yer almaktadır.

5.2.2 Seçim kriterlerinin ağırlıklarının elde edilmesi

Seçim kriterlerin ağırlıklarının elde edilmesi için AHS yöntemi uygulanmıştır. AHS yönteminin uygulanması için Super Decisions programı kullanılmıştır. Super Decisions programında amaç, ana kriterler ve kriterler tanımlanmıştır. Gösterim Şekil 5.4’de olduğu gibidir.



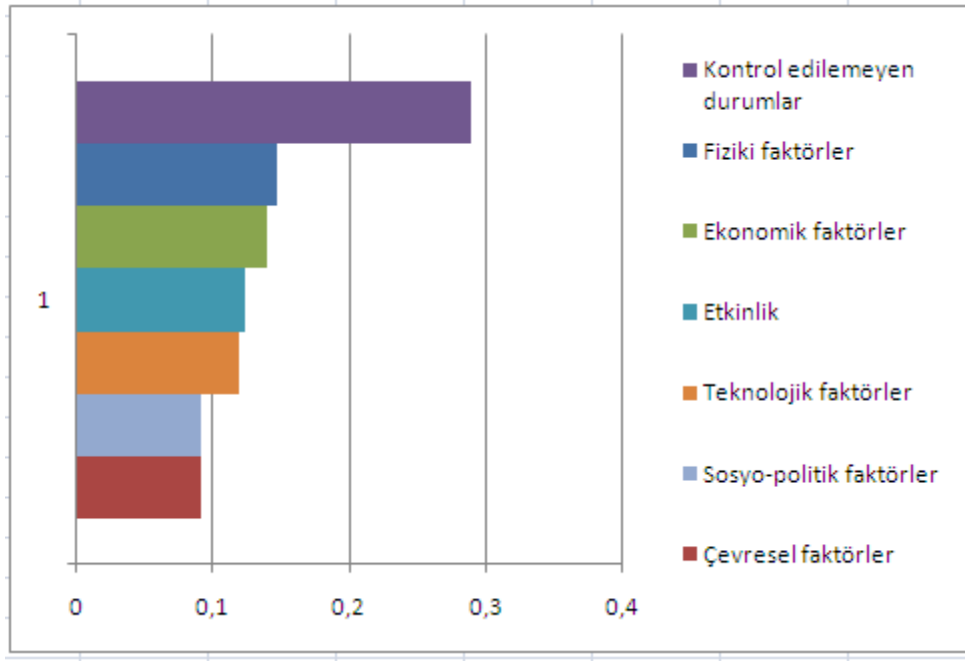
Şekil 5.4 : Modelin Super Decisions Programında Yapılandırılması.

Hiyerarşik yapının oluşturulmasından sonraki adım ise, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır. İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken enerji alanında uzman sekiz kişinin her bir kriteri diğeriyle kıyaslamasıyla vermiş olduğu cevapların geometrik ortalamasının matrise işlenmesi gerçekleştirilir. Sekiz uzmanın yargılarını içeren ikili matris çizelge 5.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.5 : Ana kriter ve kriterlere ait ikili karşılaştırmalar.

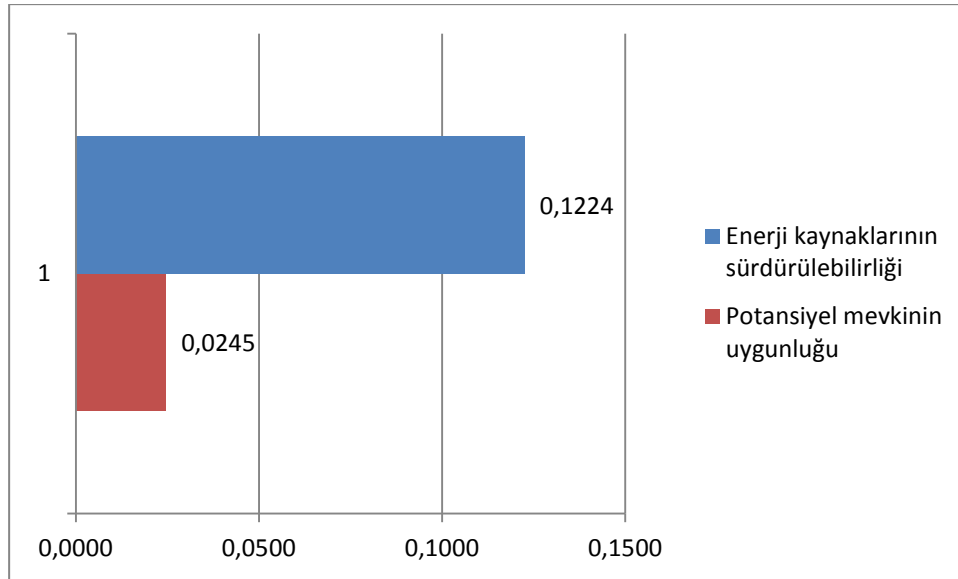
İKİLİ KARŞILAŞTIRMA									
ANA KRİTERLER	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Uzman 6	Uzman 7	Uzman 8	Geometrik Ortalama
Fiziki-Çevresel	0,25	1,00	7,00	4,00	0,20	1,00	4,00	8,00	1,61
Çevresel-Ekonomik	5,00	2,00	0,14	0,25	5,00	0,33	0,33	0,17	0,65
Ekonomik-Kont. Edilemeyen Dur.	0,25	0,50	1,00	0,33	0,33	0,25	4,00	0,20	0,48
Kont. Edilemeyen. Dur.-Etkinlik	0,20	3,00	7,00	4,00	3,00	6,00	0,33	9,00	2,34
Etkinlik-Teknolojik	1,00	0,25	6,00	0,33	0,33	0,33	5,00	5,00	1,04
Teknolojik-Sosyo-Politik	6,00	3,00	1,00	0,20	0,20	1,00	4,00	3,00	1,31
Sosyo-Politik-Fiziki	0,17	0,33	0,50	4,00	3,00	2,00	0,17	0,20	0,62
FİZİKİ FAKTÖRLER									
Enerji kay. Sürdür.-Potansiyel mevki uy.	5,00	5,00	3,00	3,00	5,00	7,00	7,00	7,00	4,99
ÇEVRESEL FAKTÖRLER									
Dışsal maliyet tah.-Kirlenici madde emis.	0,14	1,00	3,00	3,00	0,20	3,00	5,00	0,20	0,97
Kirlenici madde emis.-Arazi gereksin.	0,20	4,00	4,00	0,50	5,00	0,33	0,25	9,00	1,25
Arazi gereksin.- Atık imha iş. Gerek.	0,20	1,00	0,25	2,00	0,14	0,50	0,33	0,14	0,37
Atık imha iş. Gerek.-Dışsal maliyet tah.	5,00	1,00	1,00	0,50	3,00	1,00	4,00	0,25	1,29
EKONOMİK FAKTÖRLER									
Yatırım mali.-işletme ve bakım mas.	0,14	0,33	1,00	3,00	0,20	0,20	0,33	7,00	0,58
KONTROL EDİLEMEYEN DURUMLAR									
Politik istikrar. Etk.-Arz güvenliği	0,20	0,25	1,00	1,00	0,33	9,00	0,25	0,14	0,52
TEKNOLOJİK FAKTÖRLER									
Operasyon riski-Teknoloji düzeyi	5,00	0,33	6,00	4,00	3,00	0,33	1,00	8,00	2,05
Teknoloji düzeyi-Uygulama aşama. süre.	0,14	3,00	0,50	0,50	5,00	7,00	2,00	4,00	1,53
Uygulama aşama. Süre.-Teknik uzm. düz.	0,14	0,33	5,00	3,00	0,33	0,20	0,33	0,14	0,46
Teknik uzm. düz. -Operasyon riski	0,20	3,00	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	8,00	0,59
SOSYO-POLİTİK FAKTÖRLER									
Ulusal enerji polit. ile uyum.-Sosyal onay.	5,00	4,00	8,00	4,00	0,20	5,00	3,00	6,00	3,22
Sosyal onay.-İşsizliği azaltma	5,00	1,00	0,20	0,33	3,00	6,00	3,00	6,00	1,80
İşsizliği azaltma-Ulusal enerji polit. ile uyum.	5,00	0,20	0,14	0,33	5,00	0,17	0,25	0,14	0,44

Çizelge 5.5’de görüldüğü üzere, her bir uzman tarafınca öncelikle ana kriterler ardından ise kriterler ikili karşılaştırma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalara ait yargılar matrise işlendikten sonra ilgili karşılaştırmalara ait geometrik ortalamalar alınmıştır. Ortalama değerler Super Decisions programında girilmiş ve kriterlerin önem dereceleri elde edilmiştir. Kriter önem dereceleri elde edilirken uzman yargılarının tutarsızlık oranları kontrol edilmiştir. Eğer uzman kişinin tutarsızlık oranları 0,1’den büyük çıksaydı yargıların gözden geçirilmesi gereklidir. Karar modelindeki ana kriter ve kriterlere ait önem dereceleri izleyen şekillerde gösterilmektedir.



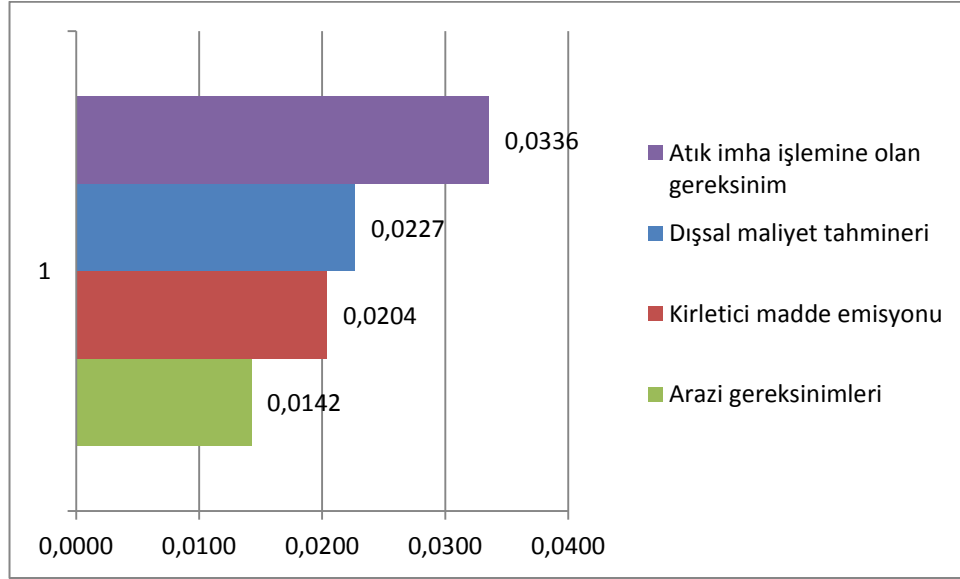
Şekil 5.5 : Ana kriterlere ait önem dereceleri.

Şekil 5.5’den anlaşılacağı üzere, “Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türü seçimi” amacı için en önemli kriter 0.29 önem derecesi ile “kontrol edilemeyen durumlar” faktörüdür. Geriye kalan kriterler ise önem derecelerine göre sırasıyla; fiziki faktörler (0.147), ekonomik faktörler (0.139), etkinlik (0.123), teknolojik faktörler (0.119), sosyo-politik faktörler (0.091) ve çevresel faktörler (0.090) olarak gerçekleşmiştir.



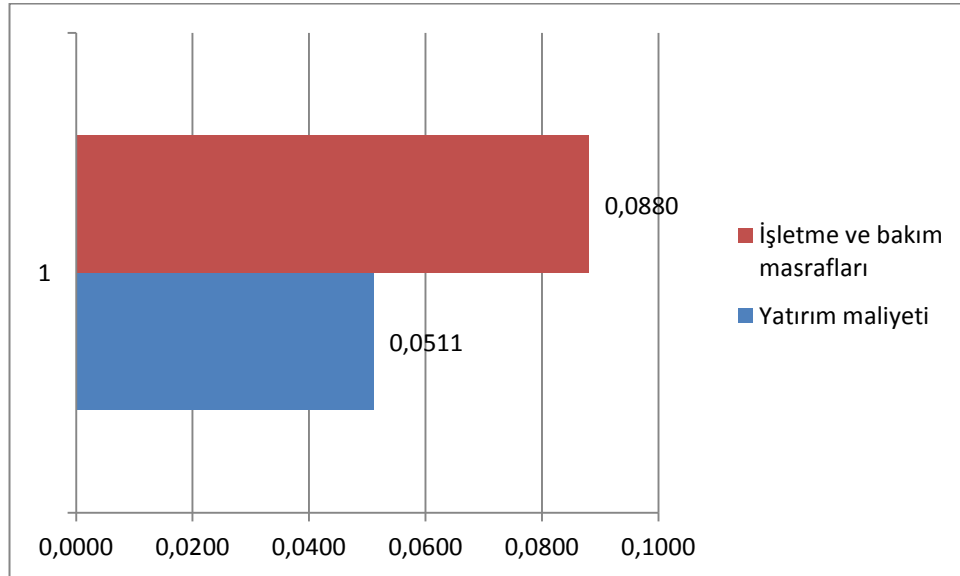
Şekil 5.6 : Fiziki faktörlere ait kriter önem dereceleri.

Fiziki faktörlere (Şekil 5.6) ait kriterlere bakıldığında, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği (0.83) kriteri potansiyel mevkinin uygunluğu (0.17) kriterine oranla daha önemli olduğu gözlemlenmiştir.



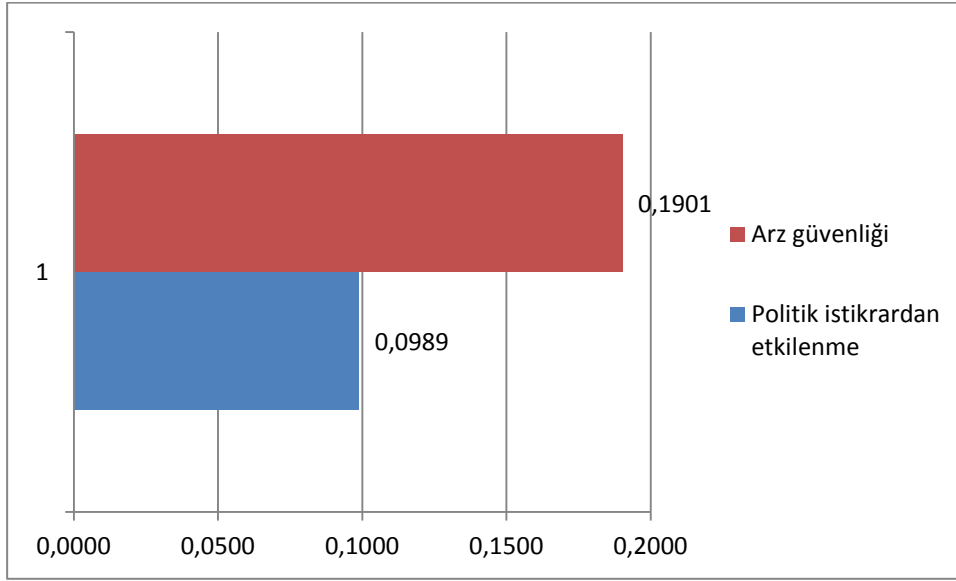
Şekil 5.7 : Çevresel faktörlere ait kriter önem dereceleri.

Şekil 5.7’de görüldüğü üzere, “atık imha işlemine olan gereksinim” kriteri en yüksek önem derecesine (0.37) sahiptir. Bu kriteri takiben ise sırasıyla “dışsal maliyet tahminleri” (0.25), “kirlenici madde emisyonu” (0.22) ve “arazi gereksinimleri” (0.15) kriterleri gelmektedir.



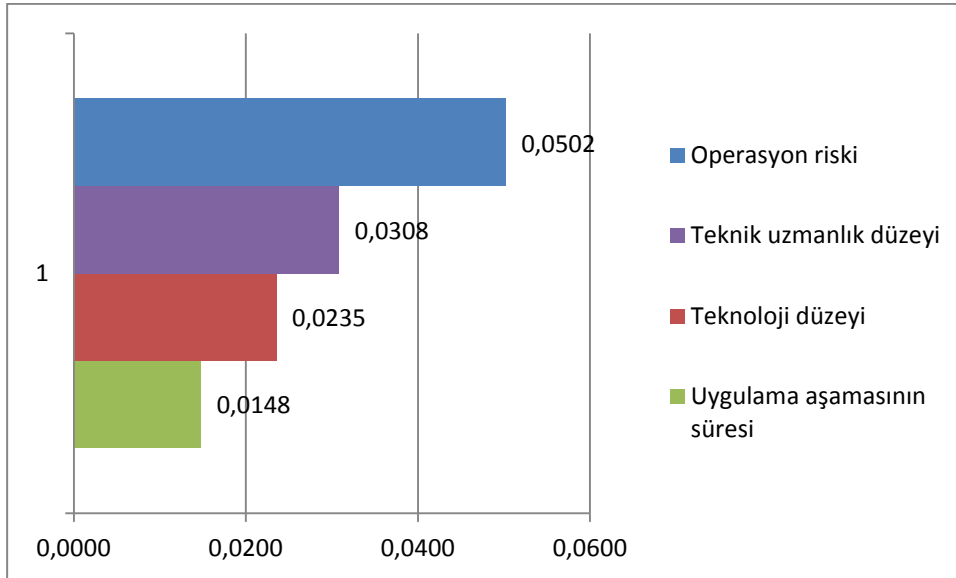
Şekil 5.8 : Ekonomik faktörlere ait kriter önem dereceleri.

Şekil 5.8’de görüldüğü üzere, “işletme ve bakım masrafları” (0.63) kriteri “yatırım maliyeti” (0,36) kriterine kıyasla daha yüksek önem derecesine sahiptir.



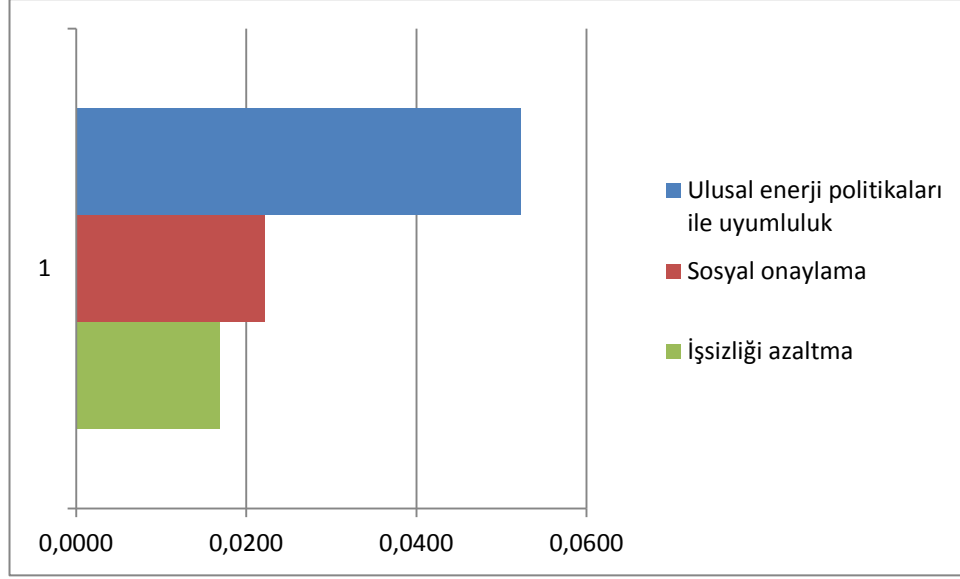
Şekil 5.9 : Kontrol edilemeyen durumlara ait kriter önem dereceleri.

Şekil 5.9’da görüldüğü üzere, “Arz güvenliği” (0.65) kriteri “politik istikrardan etkilenme” (0.34) kriterinden neredeyse iki kat yüksek önem derecesine sahiptir.



Şekil 5.10 : Teknolojik faktörlere ait kriter önem dereceleri.

Şekil 5.10’da görüldüğü üzere, “operasyon riski” (0.42) kriteri en yüksek önem derecesine sahiptir. Bu kriteri takiben ise sırasıyla “teknik uzmanlık düzeyi” (0.25), “teknoloji düzeyi” (0.19) ve “uygulama aşamasının süresi” (0.12) kriterleri gelmektedir.



Şekil 5.11 : Sosyo-politik faktörlere ait kriter önem dereceleri.

Şekil 5.11’de görüldüğü üzere, sırasıyla önem dereceleri “ulusal enerji politikaları ile uyumluluk” (0.57) “sosyal onaylama” (0.24) ve “işsizliği azaltma” (0.18) şeklinde gerçekleşmiştir. İkili karşılaştırmalar sonucu elde edilen ağırlıklar çizelge 5.6’daki gibidir.

Çizelge 5.6 : Seçim kriterlerinin ağırlıkları.

İKİLİ KARŞILAŞTIRMA SONUCU ELDE EDİLEN AĞIRLIKLAR				
ANA FAKTÖRLER	Kriterler			Kriter önem dereceleri
FİZİKİ	Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği			0,1224
	Potansiyel mevkinin uygunluğu			0,0245
	Toplam			0,1469
ÇEVRESEL	Dışsal maliyet tahminleri			0,0227
	Kirlenici madde emisyonu			0,0204
	Arazi gereksinimleri			0,0142
	Atık imha işlemine olan gereksinim			0,0336
	Toplam			0,0909
EKONOMİK	Yatırım maliyeti			0,0511
	İşletme ve bakım masrafları			0,0880
	Toplam			0,1391
KOTROL EDİLEMEYEN	Politik istikrardan etkilenme			0,0989
	Arz güvenliği			0,1901
	Toplam			0,2890
ETKİNLİK	Etkinlik			0,1236
	Toplam			0,1236
TEKNOLOJİK	Operasyon riski			0,0502
	Teknoloji düzeyi			0,0235
	Uygulama aşamasının süresi			0,0148
	Teknik uzmanlık düzeyi			0,0308
	Toplam			0,1193
SOSYO-POLİTİK	Ulusal enerji politikaları ile uyumlulu			0,0523
	Sosyal onaylama			0,0222
	İşsizliği azaltma			0,0168
	Toplam			0,0913
Genel Toplam				1

5.2.3 Yakıt türlerinin sıralanması

Elde edilen seçim kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile yakıt türleri sıralanmış ve en iyi yakıt türü belirlenmiştir. Seçilmek üzere, 9 farklı yakıt türü ele alınmıştır. Bu aşamada uzman kişiler belirlenen kriterler için yakıt türlerine çok iyi (5 puan), iyi (4 puan), orta (3 puan), kötü (2 puan) ve çok kötü (1 puan) yargılarını vermişlerdir. Örneğin birinci kritere göre 9 farklı yakıt türünün 8 uzman tarafınca değerlendirilmesi ve bu değerlendirmelerin aritmetik ortalamalarını gösteren çizelge 5.7 aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.7 : Birinci kritere göre seçeneklerin değerlendirilmesi.

ANKETİN İKİNCİ BÖLÜMÜ - YAKIT TÜRLERİNİN KRİTERLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ										
		Hidroelektrik	Rüzgar	Güneş	Biyokütle	Jeotermal	Nükleer	Kömür&Linyit	Petrol	Doğalgaz
Kriter 1	Uzman 1	4	3	2	5	3	4	4	3	2
	Uzman 2	4	3	4	2	2	4	4	1	1
	Uzman 3	4	5	5	5	4	5	2	3	3
	Uzman 4	3	3	3	4	3	3	3	3	3
	Uzman 5	4	4	5	5	5	4	2	2	3
	Uzman 6	4	2	2	2	4	4	2	2	2
	Uzman 7	4	3	2	5	3	5	3	3	2
	Uzman 8	4	5	5	5	4	3	4	1	2
	Ortalama	3,875	3,500	3,500	4,125	3,500	4,000	3,000	2,250	2,250

Yukarıda tabloda yapılmış olan işlemler tüm kriterler için uygulanmıştır. Uzmanlarca yakıt türlerinin performanslarının değerlendirildiği veriler kullanılarak oluşturulan karar matrisi, normalize edilmiş karar matrisi ve ağırlıklandırılmış karar matrisi sırasıyla çizelge 5.8, çizelge 5.9 ve çizelge 5.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.8 : Karar matrisi.

TOPSIS YÖNTEMİ - KARAR MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI										
KARAR MATRİSİ										
ALTERNATİFLER	KRİTERLER									
	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Kriter 6	Kriter 7	Kriter 8	Kriter 9	
Hidroelektrik	3,8750	3,2500	3,6250	4,8750	2,0000	4,6250	3,5000	4,1250	3,3750	
Rüzgar	3,5000	3,1250	4,0000	4,8750	3,2500	4,8750	2,8750	3,8750	3,6250	
Güneş	3,5000	3,2500	4,0000	4,8750	2,7500	4,5000	1,8750	3,3750	3,7500	
Biyokütle	4,1250	3,7500	3,2500	3,6250	3,6250	3,8750	3,2500	3,1250	3,6250	
Jeotermal	3,5000	2,7500	3,7500	4,3750	3,3750	4,1250	3,3750	3,0000	3,7500	
Nükleer	4,0000	2,8750	2,7500	3,8750	3,3750	1,6250	1,5000	2,6250	2,7500	
Kömür&Linyit	3,0000	2,8750	2,1250	1,3750	2,5000	1,8750	3,6250	3,3750	4,0000	
Petrol	2,2500	2,3750	2,0000	1,5000	2,6250	2,2500	2,7500	2,3750	1,8750	
Doğalgaz	2,2500	2,7500	2,6250	2,2500	3,2500	3,0000	3,3750	2,3750	1,8750	
Ağırlık	0,1224	0,0245	0,0227	0,0204	0,0142	0,0336	0,0511	0,0880	0,0989	
ALTERNATİFLER	KRİTERLER									
	Kriter 10	Kriter 11	Kriter 12	Kriter 13	Kriter 14	Kriter 15	Kriter 16	Kriter 17	Kriter 18	
Hidroelektrik	3,3750	3,5000	4,0000	3,5000	2,8750	3,8750	4,1250	2,5000	2,6250	
Rüzgar	2,3750	2,8750	3,7500	3,7500	3,3750	3,5000	4,0000	4,7500	2,7500	
Güneş	2,6250	2,6250	3,8750	3,6250	3,5000	2,8750	3,7500	4,5000	2,7500	
Biyokütle	3,5000	3,6250	3,6250	3,5000	3,3750	3,3750	3,6250	4,5000	3,6250	
Jeotermal	3,3750	3,2500	3,5000	3,0000	3,1250	2,7500	4,0000	4,2500	3,1250	
Nükleer	4,1250	4,2500	2,2500	4,1250	2,8750	3,5000	4,6250	1,8750	3,0000	
Kömür&Linyit	4,1250	3,3750	3,6250	3,6250	3,7500	3,6250	4,1250	2,7500	4,1250	
Petrol	2,6250	3,3750	3,2500	3,2500	3,3750	3,5000	2,7500	2,7500	3,1250	
Doğalgaz	2,5000	3,6250	3,3750	3,5000	4,1250	3,6250	2,6250	3,0000	3,2500	
Ağırlık	0,1901	0,1236	0,0502	0,0235	0,0148	0,0308	0,0523	0,0222	0,0168	

Çizelge 5.9 : Normalize edilmiş karar matrisi.

TOPSİS YÖNTEMİ - KARAR MATRİSİNİN NORMALİZE EDİLMESİ									
NORMALİZE EDİLMİŞ MATRİS									
ALTERNATİFLER	KRİTERLER								
	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Kriter 6	Kriter 7	Kriter 8	Kriter 9
Hidroelektrik	0,3801	0,3584	0,3764	0,4312	0,2212	0,4264	0,3905	0,4306	0,3438
Rüzgar	0,3434	0,3446	0,4154	0,4312	0,3595	0,4494	0,3208	0,4045	0,3692
Güneş	0,3434	0,3584	0,4154	0,4312	0,3042	0,4149	0,2092	0,3523	0,3820
Biyokütle	0,4047	0,4135	0,3375	0,3207	0,4009	0,3572	0,3626	0,3262	0,3692
Jeotermal	0,3434	0,3032	0,3894	0,3870	0,3733	0,3803	0,3766	0,3132	0,3820
Nükleer	0,3924	0,3170	0,2856	0,3428	0,3733	0,1498	0,1674	0,2740	0,2801
Kömür&Linyit	0,2943	0,3170	0,2207	0,1216	0,2765	0,1729	0,4045	0,3523	0,4074
Petrol	0,2207	0,2619	0,2077	0,1327	0,2903	0,2074	0,3068	0,2479	0,1910
Doğalgaz	0,2207	0,3032	0,2726	0,1990	0,3595	0,2766	0,3766	0,2479	0,1910
Ağırlık	0,1224	0,0245	0,0227	0,0204	0,0142	0,0336	0,0511	0,0880	0,0989
ALTERNATİFLER	KRİTERLER								
	Kriter 10	Kriter 11	Kriter 12	Kriter 13	Kriter 14	Kriter 15	Kriter 16	Kriter 17	Kriter 18
Hidroelektrik	0,3468	0,3414	0,3803	0,3283	0,2822	0,3777	0,3631	0,2331	0,2748
Rüzgar	0,2440	0,2804	0,3565	0,3517	0,3313	0,3411	0,3521	0,4429	0,2879
Güneş	0,2697	0,2561	0,3684	0,3400	0,3435	0,2802	0,3301	0,4196	0,2879
Biyokütle	0,3596	0,3536	0,3447	0,3283	0,3313	0,3290	0,3191	0,4196	0,3794
Jeotermal	0,3468	0,3170	0,3328	0,2814	0,3067	0,2680	0,3521	0,3963	0,3271
Nükleer	0,4238	0,4146	0,2139	0,3869	0,2822	0,3411	0,4071	0,1748	0,3140
Kömür&Linyit	0,4238	0,3292	0,3447	0,3400	0,3681	0,3533	0,3631	0,2564	0,4318
Petrol	0,2697	0,3292	0,3090	0,3048	0,3313	0,3411	0,2421	0,2564	0,3271
Doğalgaz	0,2569	0,3536	0,3209	0,3283	0,4049	0,3533	0,2310	0,2797	0,3402
Ağırlık	0,1901	0,1236	0,0502	0,0235	0,0148	0,0308	0,0523	0,0222	0,0168

Çizelge 5.10 : Ağırlıklandırılmış karar matrisi.

TOPSİS YÖNTEMİ - KARAR MATRİSİNİN AĞIRLIKLANDIRILMASI									
AĞIRLIKLANDIRILMIŞ MATRİS									
ALTERNATİFLER	KRİTERLER								
	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Kriter 6	Kriter 7	Kriter 8	Kriter 9
Hidroelektrik	0,0465	0,0088	0,0085	0,0088	0,0031	0,0143	0,0199	0,0379	0,0340
Rüzgar	0,0420	0,0084	0,0094	0,0088	0,0051	0,0151	0,0164	0,0356	0,0365
Güneş	0,0420	0,0088	0,0094	0,0088	0,0043	0,0139	0,0107	0,0310	0,0378
Biyokütle	0,0495	0,0101	0,0077	0,0065	0,0057	0,0120	0,0185	0,0287	0,0365
Jeotermal	0,0420	0,0074	0,0088	0,0079	0,0053	0,0128	0,0192	0,0276	0,0378
Nükleer	0,0480	0,0078	0,0065	0,0070	0,0053	0,0050	0,0085	0,0241	0,0277
Kömür&Linyit	0,0360	0,0078	0,0050	0,0025	0,0039	0,0058	0,0207	0,0310	0,0403
Petrol	0,0270	0,0064	0,0047	0,0027	0,0041	0,0070	0,0157	0,0218	0,0189
Doğalgaz	0,0270	0,0074	0,0062	0,0041	0,0051	0,0093	0,0192	0,0218	0,0189
Ağırlık	0,1224	0,0245	0,0227	0,0204	0,0142	0,0336	0,0511	0,0880	0,0989
ALTERNATİFLER	KRİTERLER								
	Kriter 10	Kriter 11	Kriter 12	Kriter 13	Kriter 14	Kriter 15	Kriter 16	Kriter 17	Kriter 18
Hidroelektrik	0,0659	0,0422	0,0191	0,0077	0,0042	0,0116	0,0190	0,0052	0,0046
Rüzgar	0,0464	0,0347	0,0179	0,0083	0,0049	0,0105	0,0184	0,0098	0,0048
Güneş	0,0513	0,0317	0,0185	0,0080	0,0051	0,0086	0,0173	0,0093	0,0048
Biyokütle	0,0684	0,0437	0,0173	0,0077	0,0049	0,0101	0,0167	0,0093	0,0064
Jeotermal	0,0659	0,0392	0,0167	0,0066	0,0045	0,0083	0,0184	0,0088	0,0055
Nükleer	0,0806	0,0513	0,0107	0,0091	0,0042	0,0105	0,0213	0,0039	0,0053
Kömür&Linyit	0,0806	0,0407	0,0173	0,0080	0,0054	0,0109	0,0190	0,0057	0,0073
Petrol	0,0513	0,0407	0,0155	0,0072	0,0049	0,0105	0,0127	0,0057	0,0055
Doğalgaz	0,0488	0,0437	0,0161	0,0077	0,0060	0,0109	0,0121	0,0062	0,0057
Ağırlık	0,1901	0,1236	0,0502	0,0235	0,0148	0,0308	0,0523	0,0222	0,0168

Ağırlıklandırılmış karar matrisinin elde edilmesinden sonraki aşama ise pozitif ve negatif ideal çözüm değerlerinin hesaplanmasıdır. Değerler çizelge 5.11’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.11 : Pozitif ve Negatif ideal çözümler.

POZİTİF İDEAL ÇÖZÜMLER								
KRİTERLER								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0495	0,0101	0,0094	0,0088	0,0057	0,0151	0,0207	0,0379	0,0403
10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,0806	0,0513	0,0191	0,0091	0,0060	0,0116	0,0213	0,0098	0,0073
NEGATİF İDEAL ÇÖZÜMLER								
KRİTERLER								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0270	0,0064	0,0047	0,0025	0,0031	0,0050	0,0085	0,0218	0,0189
10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,0464	0,0317	0,0107	0,0066	0,0042	0,0083	0,0121	0,0039	0,0046

Yakıt türlerine ait ayırım ölçüleri, ideal çözüme yakınlıklar ve nihai sıralama değerleri sırasıyla çizelge 5.12, çizelge 5.13 ve çizelge 5.14’de verilmektedir.

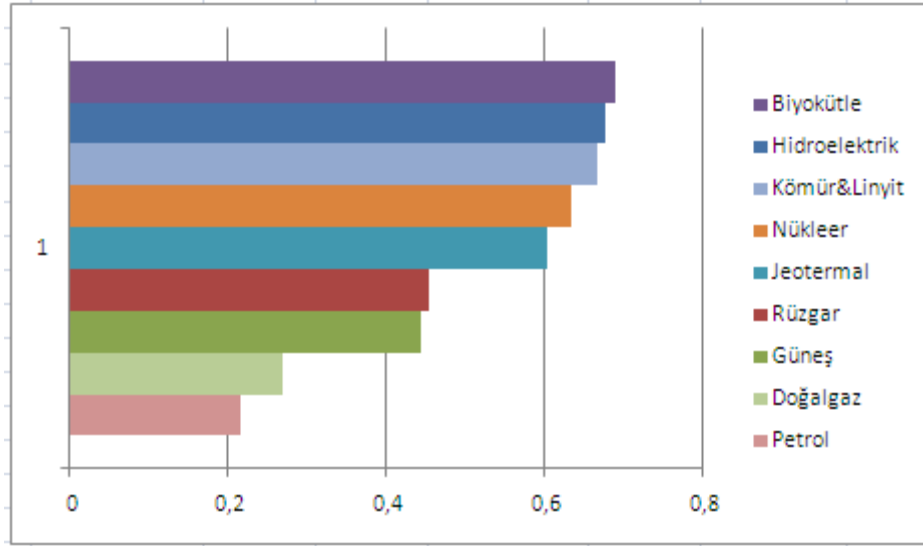
Çizelge 5.12 : Ayırım ölçüleri.

Yakıt türü	Ayırım Ölçüleri	
	S ⁺	S ⁻
Hidroelektrik	0,0199	0,0420
Rüzgar	0,0395	0,0332
Güneş	0,0386	0,0310
Biyokütle	0,0189	0,0423
Jeotermal	0,0242	0,0371
Nükleer	0,0270	0,0469
Kömür & Linyit	0,0229	0,0462
Petrol	0,0497	0,0134
Doğalgaz	0,0498	0,0184

Çizelge 5.13 : İdeal çözüme göre yakınlıklar.

İdeal Çözüme göre yakınlıklar		
Yakıt türü	C _i ⁺	Sıralama
Biyokütle	0,6910	1
Hidroelektrik	0,6792	2
Kömür & Linyit	0,6689	3
Nükleer	0,6347	4
Jeotermal	0,6060	5
Rüzgar	0,4568	6
Güneş	0,4454	7
Doğalgaz	0,2704	8
Petrol	0,2189	9

Önem derecesine göre yakıt türü puanları aşağıdaki şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Yakıt türü puan sıralamaları.

Şekil 5.12’de görüldüğü üzere biyokütle enerjisi en çok tercih edilen yakıt türü olarak seçilmiştir. Fakat şekilden anlaşılacağı üzere, biyokütle ardından gelen hidroelektrik ve kömür&liniyit seçenekleri de biyokütleye yakın puanlar almışlardır. Zaten tercih puanlarına bakıldığında durum daha da netli kazanmaktadır. Tercih puanları çizelge 5.14’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.14 : Seçeneklere ait tercih puanları.

Önem derecesine göre sıralama	
1. Biyokütle	0,69098
2. Hidroelektrik	0,67919
3. Kömür & Linyit	0,66889
4. Nükleer	0,63473
5. Jeotermal	0,60594
6. Rüzgar enerjisi	0,45673
7. Güneş enerjisi	0,44544
8. Doğalgaz	0,2704
9. Petrol	0,21888

Geriye kalan sıralama ise sırasıyla; hidroelektrik enerjisi, kömür&liniyit, nükleer enerji, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, petrol ve doğalgaz olarak belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin enerji politikasının temel hedefi, enerji ve tabii kaynakları; verimli, etkin, güvenli ve çevreye duyarlı şekilde değerlendirerek, ülkenin dışa bağımlılığını azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamaktır. Bu bağlamda dışa bağımlılığın en aza indirgenmesi, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına önem verilmesi, çevre üzerine olan etkilerin göz önünde bulundurulması gibi aksiyonlar önem arz etmektedir. Bilindiği üzere ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişmeleri açısından elektrik, yaşamsal bir girdi olarak kabul edilmektedir.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, son yıllardaki ekonomik büyüme ve teknolojik gelişmenin bir sonucu olarak, elektrik tüketimi hızlı bir artış göstermektedir. Türkiye'de elektrik üretimi için, geleneksel enerji kaynaklarından oldukça yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Türkiye'nin karşı karşıya kaldığı ana problem, ilave elektrik üretiminin en uygun şekilde nasıl karşılanacağı üzerinedir. Ülkeler enerji politikalarını oluştururken bir çok ölçütü göz önünde bulundurmak durumundadırlar. Örneğin teknolojik durum, çevresel faktörler, politik istikrar verilebilecek örneklerden birkaçıdır. Yapılan literatür araştırması sonucunda görülmektedir ki, ülkeler için uygun enerji politikasının belirlenmesi aşamasında, çok kriterli karar analizleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türlerinin seçimi ve sıralanması üzerinde duran, ve çok kriterli perspektiften durumu değerlendiren bir çalışma sunulmuştur. Öncelikle geniş bir literatür araştırması yapılarak karar modelinde kullanılacak ve Türkiye örneği için önem arz eden kriterler ve seçenekler belirlenmiştir. Ardından ise oluşturulan anket, akademi ve iş dünyasından olmak üzere 8 uzman tarafınca değerlendirilmiştir. AHS yönteminden yararlanılarak kriter önem dereceleri saptanmıştır. Ardından ise TOPSIS yöntemi kullanılarak nihai sıralama elde edilmiştir.

Sonuçlar çizelge 6.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Yakıt türleri sıralama.

1-Biyokütle	2-Hidroelektrik	3-Kömür&Linyit	4-Nükleer	5-Jeotermal
6-Rüzgar	7-Güneş	8-Doğalgaz	9-Petrol	

Ulutas (42) çalışmasında da olduğu gibi Türkiye'nin elektrik üretim ihtiyacına çözüm niteliğinde öncelikli yakıt türü biyokütle olarak belirlenmiştir. Biyo kütle yakıt türü, Kaya ve Kahraman (45) çalışmalarında ikinci sıraya yerleşirken, Kahraman ve Kaya (4) çalışmalarında ise üçüncü sıraya yerleşmiştir. Küresel ısınmadan kaynaklı oluşan kaygıdan ötürü, dünya genelinde CO2 salınımı kapsamında biyokütleyi de kapsayan yenilenebilir enerji kaynaklarına kayda değer bir ilgi söz konusudur. Biyokütlenin yakıt kaynağı olarak ciddi bir potansiyelinin olmasının yanında diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında makul maliyet seviyelerinde olması ön plana çıkmasına sebebiyet vermektedir. Buradan hareketle, biyokütleden elektrik üretim santrallerinin kurulmasına dair yatırım planları ve teşvikler Türkiye açısından avantajlı olacaktır. Biyokütleden sonra gelen hidroelektrik enerjisi ise Topcu ve Ulengin (45) çalışmalarına paralellik göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dair teknoloji seçimi üzerine çalışan Kaya ve Kahraman (46) ve Kahraman ve diğ., (49) çalışmalarında son sıralarda bulunan hidroelektrik yakıt türü bu çalışmanın sonucuna göre farklılık göstermiştir. Tamamıyla yenilenebilir olması, zararlı gaz emisyonlarının olmaması ve ulusal enerji politika hedefleri ile uyumlu olması ön sıralara çıkmasına sebebiyet vermiştir. Üçüncü ve dördüncü sıraya sırasıyla kömür&liniyit ve nükleer enerji gibi geleneksel yakıt türlerinin yerleşmiş olması, Türkiye örneğinde yapılmış olan Kaya ve Kahraman (45) ve Kahraman ve Kaya (4) sonuçlarına göre farklılık göstermektedir. Çevresel faktörler ve operasyon risklerine, uzmanlarca verilen önem derecesinin görece düşük olması geleneksel yakıt türlerinin üst sıralara yükselmesine sebebiyet vermektedir. Jeotermal, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından sonra son sıralarda yer alan doğalgaz ve petrol gibi kaynaklar ise politik istikrardan etkilenme ve dışa bağımlılık gibi faktörlere verilen yüksek önemden ötürü sekizinci ve dokuzuncu sıraya yerleşmişlerdir.

Enerji alanında uzman kişilerin değerlendirmeleri neticesinde oluşturulan çok kriterli karar modeli, günümüzdeki enerji politikalarının belirlenmesi sürecindeki bazı önceliklerin saptanması açısından yol gösterici olacaktır.

Bundan sonraki çalışmalarda uzman sayısı çalışma alanları genişletilebilir. Akademi dünyasından, özel sektörden, meslek odalarından, sivil toplum kuruluşları gibi alanlardan konusunda uzman kişi yelpazesi genişletilirse sonuçların daha anlamlı çıkması kaçınılmaz olacaktır. Çalışmanın uygulamaları farklı ülkelerde yapılabilir. Böylece ülkelerin içinde bulundukları ekonomik, coğrafı, politik şartların tercihlere yansıması gözlemlenebilir. Buradan hareketle karşılaştırmalar yapılabilir. Ayrıca sonuçların daha objektif olması açısından, “uygulama aşamasının süresi” , “yatırım maliyeti” gibi bazı kriterlerin performans değerlerinin modele dahil edilmesi sonuçları daha gerçekçi kılacaktır.

İlerde yapılacak benzer çalışmalarda, karar modeli Electre, Promethee, Vikor gibi farklı karar verme teknikleri ile zlp sonuçların karşılaştırılması fırsatı yakalanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] EÜAŞ (2010). Elektrik Üretim Sektör Raporu. *Elektrik Üretim Anonim Şirketi*, Ankara.
- [2] IEA (2009). World Energy Outlook 2009. *Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)*.
- [3] EÜAŞ (2009). Elektrik Üretim Sektör Raporu. *Elektrik Üretim Anonim Şirketi*, Ankara.
- [4] Kahraman, C. ve Kaya, İ. (2010). A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives, *Expert Systems with Applications*, **37**, 6270–6281.
- [5] Topcu, Y. I. ve Ulengin, F. (2004). Energy for the future : An integrated decision aid for the case of Turkey, *Energy*, **29**, 137–154.
- [6] IEA (2010). International Energy Outlook 2010. *Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)*.
- [7] EPDK (2010). Elektrik Piyasası Raporu. *Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*, Ankara.
- [8] TKİ (2010). Linyit Sektör Raporu. *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu*, Ankara.
- [9] TÜGİAD (2004). Türkiye’ nin enerji sorunları ve çözüm önerileri. Ajans-Türk Basın ve Basım A.Ş., Batıkent, Ankara.
- [10] Gungor, A. ve Eskin, N. (2008). The Characteristics That Define Wind as an Energy Source, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effect*, **30:9**, 842-855.
- [11] Sozen, A., Isikan, O., Menlik, T. ve Arcaklioglu, E. (2011). The Forecasting of Net Electricity Consumption of the Consumer Groups in Turkey, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **36:1**, 20-46.
- [12] TKİ (2010). 2010 Yılı Aylık Üretim İstatistikleri. Adres :<http://www.teias.gov.tr>.
- [13] EPDK (2011). EPDK’ dan lisans almış olan inşa halindeki projelerin ilerleme durumları. Adres :
http://www2.epdk.org.tr/lisans/elektrik/ilerleme_proje.htm.
- [14] KOTEDER (2011). Elektrik Sektör Raporu 2011. *Borsaya Kote Ortaklık Yöneticileri Derneği*, İstanbul.
- [15] Ozturk, H. K., Yilanci, A. ve Atalay, O. (2007). Past, present and future status of electricity in Turkey and the share of energy sources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**, 183–209.
- [16] TR42 (2011). Yenilenebilir Enerji Raporu. *T.C. Doğu Marmara Kalkınma*

Ajansı, Kocaeli.

- [17] **Balat, H., Acici, N. ve Ersoy, G.** (2006). Trends in the Use of Biomass as an Energy Source, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **1:4**, 367-378.
- [18] **Taskiran, I.** (2011). Odunsu Biyokütleden Elektrik Üretiminin Uygulanabilirliği. Orman Genel Müdürlüğü, Teknik Rapor, Ankara.
- [19] **Url-1** <<http://www.ozyalcinlarsondaj.com.tr/dosyalar/60.../download.html>>, alındığı tarih: 20.03.2012.
- [20] **Url-2** <<http://www.ebso.org.tr/b2b/ebsodergi/resimler/RAPOR.pdf>>, alındığı tarih: 24.03.2012.
- [21] **Url-3** <<http://www.atonet.org.tr/turkce/bulten/bulten.php3?sira=365>>, alındığı tarih: 20.03.2012.
- [22] **ETKB** (2011). Nükleer Santraller Ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler. *Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı*, Ankara.
- [23] **Say, N. P.** (2006). Lignite-fired thermal power plants and SO₂ pollution in Turkey, *Energy Policy*, **34**, 2690–2701.
- [24] **Panwar, N. L., Kaushik, S. C. ve Kothari, S.** (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 1513–1524.
- [25] **Url-4** <<http://www.mgm.gov.tr/FILES/imgTemp/hes-raporu-2402.pdf>>, alındığı tarih: 13.03.2012.
- [26] **Url-5** <<http://web.boun.edu.tr/meteoroloji/yenerji.php>>, alındığı tarih: 02.03.2012.
- [27] **Url-6** <<http://www.hatkoenerji.com.tr/tr/Icerik.aspx?IcerikID=74>>, alındığı tarih: 29.04.2012.
- [28] **Url-7** <<http://www.enerjidergisi.com/n-289-mikro-heslere-ilgi-yeterli-degil.aspx>>, alındığı tarih: 29.04.2012.
- [29] **Url-8** <<http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=ruzgar&bn=231&hn=&nm=384&id=40696>>, alındığı tarih: 02.03.2012.
- [30] **Ulutas, B. H.** (2005). Determination of the appropriate energy policy for Turkey, *Energy*, **30**, 1146–1161.
- [31] **Url-9** <<http://visual.merriam-webster.com/energy/solar-energy/production-electricity-from-solar-energy.php>>, alındığı tarih: 19.03.2012.
- [32] **Balat, M.** (2007). Solar Technological Progress and Use of Solar Energy in the World, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **28:10**, 979-994.
- [33] **Sorensen, H. A.** (1983). *Energy Conversion Systems*. New York: John Wiley and Sons.

- [34] **Topal, M. ve Arslan, E. I.** (2008). Biyokütle Enerjisi Ve Türkiye, *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008*.
- [35] **Karayilmazlar, S., Saracoglu, N., Cabuk, Y. ve Kurt, R.** (2011). Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, **19**, 63–75.
- [36] **Url-10** <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/jeotermal/11jeotermal_enerji_nedir.html>, alındığı tarih: 01.04.2012.
- [37] **Kaymakcioglu, F. ve Cirkin, T.** (2005). Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi Ve Elektrik Üretimi. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), Ankara.
- [38] **Url-11** <<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/82-nukleer-enerji/236-nukleer-enerjiden-elektrik-uretimi.html>>, alındığı tarih: 10.03.2012.
- [39] **Url-12** <<http://ikokmen.blogcu.com/fosil-yakit-nedir-fosil-yakitlar-nelerdir/5583133>>, alındığı tarih: 07.04.2012.
- [40] **TKİ** (2009). KÖMÜR Sektör Raporu (Linyit). *Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu*, Ankara.
- [41] **Balat, M.** (2007). Status of Fossil Energy Resources: A Global Perspective, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **2:1**, 31-47.
- [42] **MEGEP** (2007). Enerji Üretimi. *Meslekî Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi*, Ankara.
- [43] **Balat, M.** (2009). Turkey's Energy Demand and Supply, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **4:1**, 111-121.
- [44] **Url-13** <<http://www.pw.com.tr/ss/upload/upload2265.pdf>>, alındığı tarih: 27.02.2012.
- [45] **Kaya, T. ve Kahraman, C.** (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology, *Expert Systems with Applications*, **38**, 6577–6585.
- [46] **Kaya, T. ve Kahraman, C.** (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul, *Energy*, **35**, 2517-2527.
- [47] **Kahraman, C., Cebi, S. ve Kaya, İ.** (2010). Selection among Renewable Energy Alternatives Using Fuzzy Axiomatic Design: The Case of Turkey, *Journal of Universal Computer Science*, **16:1**, 82–102.
- [48] **Kahraman, C., Kaya, İ. ve Cebi, S.** (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process, *Energy*, **34**, 1603–1616.
- [49] **Topcu, Y. I.** (2000). *Integrated decision aid model for multiattribute problem solving*, (doktora tezi) , İTÜ, İstanbul.
- [50] **Browne, D., O'Regan, B. ve Moles, R.** (2010). Use of multi-criteria decision

analysis to explore alternative domestic energy and electricity policy scenarios in an Irish city-region, *Energy*, **35**, 518–528.

- [51] **Saaty, T.L. ve Niemira, M.P.** (2006). A framework for making a better decision, *Research Review*, **13(1)**.
- [52] **Ho, W.** (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications-A literature review, *European Journal of Operational Research*, **186**, 211-228.
- [53] **Saaty, T.L.** (2008). Decision making with the analytic hierarchy process, *International Journal of Services Sciences*, **1 (1)**, 83-98.
- [54] **Supciller, A. A. ve Capraz, O.** (2011). Ahp-Topsis Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması, *12. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması, İstatistik Sempozyumu Özel Sayısı*, 1-22.
- [55] **Saaty, T.L.** (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, **48**, 9-26.
- [56] **Sipahioğlu, A.** (2008). Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ders notları, *Osman Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü*.
- [57] **Güner, H.** (2005). Bulanık AHP ve bir işletme için tedarikçi seçimi problemine uygulanması, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- [58] **Shyjith, K., Ilangkumaran, M. ve Kumanan, S.** (2008). Multi-criteria decision-making approach to evaluate optimum maintenance strategy in textile industry, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, **14 (4)**, 375-386.
- [59] **Monjezi, M., Dehghani, H., Singh, T.N., Sayadi, A.R. ve Gholinejad, A.** (2010). Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design, *Arabian Journal of Geosciences*.
- [60] **Yurdakul, M. ve İç, Y.T.** (2003). Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizine yönelik TOPSIS yöntemi kullanan bir örnek çalışma, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **18(1)**, 1-13.
- [61] **Url-11** <<http://www.c2es.org/technology/overview/electricity>>, alındığı tarih: 17.06.2012.

EKLER

EK A: Anket

EK A

Aşağıdaki soru formu, “**Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri**” seçimini konu alan bir çalışmaya veri sağlamak amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmanın güvenilirliği açısından **tüm soruları eksiksiz** olarak cevaplandırmanız önemlidir. Çalışmaya gösterdiğiniz ilgi, ayırdığınız zaman ve değerli katkılarınız için teşekkür ederiz.

Şafak Tayşı
İ.T.Ü Fen Bilimler Enstitüsü
Araştırma Görevlisi
e-mail :
safaktaysi@yahoo.com

Prof. Dr. Y. İlker Topcu
İ.T.Ü. İşletme Fakültesi
Endüstri Mühendisliği
Bölümü
e-mail:
ilker.topcu@itu.edu.tr

Katılımcı Bilgileri

Ad Soyad :
Enstitü/Fakülte :
Bölüm :
e-mail :

Birinci Bölüm

İzleyen sayfada sizlerden, “**Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri**”ni değerlendirmede kullanılabilecek kriterlerin **önemlerini** verilen ölçek üzerinde **ikili olarak karşılaştırmanız** istenmektedir.

Değerlendirme örnekleri

“**Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri**”ni değerlendirmede kullanılabilecek aşağıdaki ana kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Fiziki faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Çevresel faktörler
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

Örnek değerlendirme 1

Eğer “Fiziki faktörler”in önemi ile “Çevresel faktörler”in önemlerinin “eşit” olduğunu düşünüyorsanız, ortadaki 1 sayısını işaretlemeniz gerekmektedir.

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Fiziki faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Çevresel faktörler
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

Örnek değerlendirme 2

Eğer sol taraftaki “Fiziki faktörler”in öneminin sağ taraftaki “Çevresel faktörler”in öneminden “çok daha fazla” olduğunu düşünüyorsanız, sol taraftaki 7 sayısını işaretlemeniz gerekmektedir.

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Fiziki faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Çevresel faktörler
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

Örnek değerlendirme 3

Eğer sağ taraftaki “Çevresel faktörler”in öneminin sol taraftaki “Fiziki faktörler”in öneminden “biraz daha fazla” ile “daha fazla” arasında olduğunu düşünüyorsanız, sağ taraftaki 4 sayısını işaretlemeniz gerekmektedir.

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede
daha fazla

Fiziki faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Çevresel faktörler
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak aşağıdaki ana kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Fiziki faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Çevresel faktörler
Çevresel faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ekonomik faktörler
Ekonomik faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol edilemeyen durumlar
Kontrol edilemeyen durumlar	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Etkinlik
Etkinlik	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Teknolojik faktörler
Teknolojik faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sosyo-politik faktörler
Sosyo-politik faktörler	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Fiziki faktörler

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak “fiziki” faktörlere ait aşağıdaki kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Potansiyel mevkinin uygunluğu
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------------------

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak “çevresel” faktörlere ait aşağıdaki kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Dışsal maliyet tahminleri	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kirletici madde emisyonu
Kirletici madde emisyonu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Arazi gereksinimleri

Arazi gereksinimleri	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Atık imha işlemine olan gereksinim
Atık imha işlemine olan gereksinim	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Dışsal maliyet tahminleri

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak “**ekonomik**” faktörlere ait aşağıdaki kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Yatırım maliyeti	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşletme ve bakım masrafları
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----------------------------

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak “**Kontrol edilemeyen durumlar**”a ait aşağıdaki kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Politik istikrardan etkilenme	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Arz güvenliği
-------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------------

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak “**teknolojik**” faktörlere ait aşağıdaki kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Operasyon riski	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Teknoloji düzeyi
Teknoloji düzeyi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Uygulama aşamasının süresi

Uygulama aşamasının süresi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Teknik uzmanlık düzeyi
Teknik uzmanlık düzeyi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Operasyon riski

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni değerlendirmede kullanılacak “**sosyo-politik**” faktörlere ait aşağıdaki kriterlerden hangisinin önemi daha fazladır?

1=Eşit 3=Biraz daha fazla 5=Daha fazla 7=Çok daha fazla 9=Aşırı derecede daha fazla

Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Sosyal onaylama
Sosyal onaylama	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşsizliği azaltma
İşsizliği azaltma	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk

İkinci Bölüm

“Türkiye’de elektrik üretimi için kullanılacak yakıt türleri”ni verilen kriterlere göre değerlendirmeniz istenmektedir.

“**Hidroelektrik enerjisi**” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“**Rüzgar enerjisi**” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“**Güneş enerjisi**” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
-----------	----------------	------------	-------------	-------------	-----------------

Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“**Biyokütle enerjisi**” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐

Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“**Jeotermal enerjisi**” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐

Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“Nükleer enerjisi” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐

Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“**Kömür&Linyit** ” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐

Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“**Petrol**” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐

Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐
Sosyal onaylama	☐	☐	☐	☐	☐
İşsizliği azaltma	☐	☐	☐	☐	☐

“Doğalgaz” yakıt türünün, aşağıdaki kriterlere göre ne durumda olduğunu değerlendiriniz.

KRİTERLER	<i>Çok iyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>Çok kötü</i>
Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği	☐	☐	☐	☐	☐
Potansiyel mevkinin uygunluğu	☐	☐	☐	☐	☐
Dışsal maliyet tahminleri	☐	☐	☐	☐	☐
Kirletici madde emisyonu	☐	☐	☐	☐	☐
Arazi gereksinimleri	☐	☐	☐	☐	☐
Atık imha işlemine olan gereksinim	☐	☐	☐	☐	☐
Yatırım maliyeti	☐	☐	☐	☐	☐
İşletme ve bakım masrafları	☐	☐	☐	☐	☐
Politik istikrardan etkilenme	☐	☐	☐	☐	☐
Arz güvenliği	☐	☐	☐	☐	☐
Etkinlik	☐	☐	☐	☐	☐
Operasyon riski	☐	☐	☐	☐	☐
Teknoloji düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Uygulama aşamasının süresi	☐	☐	☐	☐	☐
Teknik uzmanlık düzeyi	☐	☐	☐	☐	☐
Ulusal enerji politika hedefleri ile uyumluluk	☐	☐	☐	☐	☐

Sosyal onaylama



İşsizliği azaltma



TEŞEKKÜRLER

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:Şafak Tayşı

Doğum Yeri ve Tarihi: Tunceli / 21.03.1985

Adres: Mecidiyeköy Mah. Hafız Ata Çık. Sk. Mert Apt. Şişli/İstanbul

E-Posta: safaktaysi@yahoo.com

Lisans: Gaziantep Endüstri Mühendisliği