

**ENERJİ SANTRALLERİNİN
ÇOK KRİTERLİ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Hasan Burak BASAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2011
ANKARA**

Hasan Burak BASAR tarafından hazırlanan “ENERJİ SANTRALLERİNİN ÇOK KRİTERLİ DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ediz ATMACA
Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Cevriye GENCER
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Ediz ATMACA
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. O. Ayhan ERDEM
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 06/01/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hasan Burak Basar

ENERJİ SANTRALLERİNİN ÇOK KRİTERLİ DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hasan Burak BASAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2011

ÖZET

İnsanların günlük yaşantılarında elektrik vazgeçilmeyen bir enerji olmuştur. Endüstrinin her alanında elektrik gerekli bir enerjidir. Enerji santralleri ise başka enerji biçimlerini elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla bir araya getirilmiş donanımlar biçimidir. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için enerji santralleri büyük bir öneme sahiptir.

Yapılan çalışmada ülkemizde var olan ve yakın gelecekte kurulması düşünülen enerji santrallerinden hangisinin daha uygun olacağı belirlenmeye çalışılmıştır. Doğalgaz, rüzgar, jeotermal, hidroelektrik ve kömür/linyit enerji santralleri ile nükleer enerji santralleri alternatifler olarak ele alınmıştır. Çalışmada, çok kriterli karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Şebeke Prosesi (AŞP) kullanılarak enerji santrallerinin çok kriterli değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yapılan çalışma ülkemizde enerji yatırımları konusunda çalışan karar vericilere destek olacak bir uygulamadır. Aynı zamanda ülkemizdeki enerji santrali yatırımlarına bilimsel bir bakış açısı kazandırmaktadır. Sonraki yıllarda enerji alanında yapılacak olan çalışmalar için de temel teşkil etmesi hedeflenmektedir.

Bilim Kodu : 906.1.038
Anahtar Kelimeler : Enerji Santralleri, Çok Kriterli Karar Verme, AHP, AŞP
Sayfa Adedi : 136
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Ediz ATMACA

MULTI CRITERIA EVALUATION OF POWER PLANTS
(M.Sc. Thesis)

Hasan Burak BASAR

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

January 2011

ABSTRACT

Electrical has become an indispensable energy in people's daily lives. Almost in every industry electricity is a necessary energy. Power plants are systems that convert the other forms of energy into electrical energy. Power plants have a great importance to reduce our country's energy dependence.

In this study, existing power plants and planned power plants in the near future compared to determine more appropriate power plants. Natural gas, wind, geothermal, hydroelectric, coal / lignite power plants and nuclear power plants were considered as alternatives. Power plants were evaluated with multiple criteria decision making techniques such as Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP).

This study will support decision makers who studied on energy investments in our country. Also, this study gives a scientific perspective to power plant investments in our country. It is aimed that this study will be the base research for future studies in this area.

Science Code : 906.1.038

Key Words : Power Plants, Multi Criteria Decision Making, AHP, ANP

Page Number: 136

Adviser : Assist. Prof. Dr. Ediz ATMACA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Ediz ATMACA'ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Sayın Osman Selami BUDAK'a ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nda görevli tüm çalışma arkadaşlarıma, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eşim Betül'e ve her iki aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ SANTRALLERİNE GENEL BAKIŞ	4
2.1. Kömür/Linyit Enerji Santralleri	6
2.2. Doğalgaz Çevrimli Enerji Santralleri	8
2.3. Hidroelektrik Enerji Santralleri	10
2.4. Nükleer Enerji Santralleri	12
2.5. Jeotermal Enerji Santralleri	13
2.6. Rüzgar Enerji Santralleri	15
3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ	18
3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi	19
3.1.1. AHP'nin aksiyomları	21
3.1.2. AHP'nin prensipleri	23
3.1.3. AHP'nin adımları	24
3.1.4. AHP'nin güçlü ve zayıf yönleri	35
3.1.5. AHP'nin kullanıldığı alanlar	37

Sayfa

3.2. Analitik Şebeke Prosesi	37
3.2.1. AŞP yapılarındaki bağımlılık	41
3.2.2. Kontrol hiyerarşisi	42
3.2.3. AŞP’de problem çözümü	43
3.2.4. AŞP’nin kullanıldığı alanlar	48
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI : ENERJİ SANTRALLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	50
5. UYGULAMA : ENERJİ SANTRALİ SEÇİMİ PROBLEMİ	54
5.1. Problemin Tanımlanması	54
5.2. Uygulamanın Amacı	55
5.3. Uygulamanın Sınırları	56
5.4. Uygulamanın Yararları	56
5.5. Uygulamanın Yöntemi	57
5.5.1. Expert Choice programı	57
5.5.2. Super Decisions programı	58
5.6. Alternatiflerin Belirlenmesi	58
5.7. Kriterlerin Belirlenmesi	59
5.7.1. Teknoloji ve sürdürülebilirlik	59
5.7.2. Ekonomi	63
5.7.3. Yaşam kalitesi	67
5.7.4. Sosyo-ekonomik etkiler	70
5.8. Hiyerarşinin Oluşturulması	71
5.9. Kriter Ağırlıkları ve İkili Karşılaştırma Matrislerinin Analizi	72

Sayfa

5.9.1. Ana kriterler arası ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması	72
5.9.2. Alt kriterler arası ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması	75
5.9.3. Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması	78
5.10. Verilerin Expert Choice Programına Girilmesi.....	79
5.11. Verilerin Super Decisions Programına Girilmesi	87
5.12. Alternatiflerle İlgili Sıralamanın Belirlenmesi	89
5.12.1. Expert Choice programında alternatiflerin sıralanması	89
5.12.2. Superdecisions programında alternatiflerin sıralanması	92
5.13. Duyarlılık Analizi.....	93
6. SONUÇLARIN ANALİZİ VE ÖNERİLER.....	97
KAYNAKLAR	91
EKLER.....	105
EK-1 Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması.....	106
EK-2 Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünüşleri ve göreceli önem değerleri	110
EK-3 Ağırlıklandırılmamış süpermatris.....	129
EK-4 Ağırlıklandırılmış süpermatris	131
EK-5 Limitmatris	133
EK-6 Kriter ve alt kriterlerin lokal ve global ağırlıkları	135
ÖZGEÇMİŞ	136

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye’de faal olan kömür/linyit enerji santralleri kurulu güçleri	6
Çizelge 2.2. Türkiye’de faal olan doğalgaz enerji santralleri kurulu güçleri.....	10
Çizelge 2.3. Türkiye’de jeotermal elektrik üretim projeksiyonu	15
Çizelge 2.4. Türkiye’deki rüzgar santralleri	16
Çizelge 3.1. Göreceli önceliklendirme ölçeği	28
Çizelge 3.2. Rastgele indeks değerleri	34
Çizelge 5.1. Ortalama etkinlik katsayısı	60
Çizelge 5.2. Ortalama elde edilebilirlik değerleri	61
Çizelge 5.3. Ortalama kapasiteleri	62
Çizelge 5.4. Rezerv/üretim oranları	62
Çizelge 5.5. Rezerv/üretim oranı ikili karşılaştırma matrisi	63
Çizelge 5.6. Ortalama yatırım maliyeti	64
Çizelge 5.7. Ortalama yakıt maliyeti.....	65
Çizelge 5.8. Ortalama dış maliyetleri.....	65
Çizelge 5.9. Ortalama sabit işletme ve bakım maliyetleri	66
Çizelge 5.10. Ortalama değişken işletme ve bakım maliyetleri.....	67
Çizelge 5.11. Kaza oranları.....	68
Çizelge 5.12. Radyoaktivite	68
Çizelge 5.13. Alan ihtiyacı.....	69
Çizelge 5.14. 500 MW enerji santrali için ortalama iş oluşturma	70
Çizelge 5.15. Sosyal kabullenme ikili karşılaştırma matrisi.....	71

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.16. Ana kriterlerin göreceli önem değerleri.....	75
Çizelge 5.17. Teknoloji ve sürdürülebilirlik alt kriterlerinin göreceli önem değerleri	75
Çizelge 5.18. Ekonomi alt kriterlerinin göreceli önem değerleri.....	76
Çizelge 5.19. İşletme ve bakım maliyetleri alt kriterlerinin göreceli önem değerleri	77
Çizelge 5.20. Yaşam kalitesi alt kriterlerinin göreceli önem değerleri.....	77
Çizelge 5.21. Sosyo-ekonomik etkiler alt kriterlerinin göreceli önem değerleri	78

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Dünya enerji tüketimi kaynak payları.....	4
Şekil 2.2. Kombine çevrimli bir termik santralin şeması.....	9
Şekil 2.3. Basınçlı su tipi nükleer reaktör şeması	13
Şekil 2.4. Bir entegre jeotermal enerji santrali tesisi	14
Şekil 3.1. AHP'nin standart hiyerarşik yapısı.....	26
Şekil 3.2. Tam hiyerarşi modeli	26
Şekil 3.3. Tam olmayan hiyerarşi	27
Şekil 3.4. AHP ile ANP arasındaki yapısal fark (a)AHP (b)ANP	39
Şekil 3.5. Örnek bir ağ modeli	41
Şekil 3.6. Kontrol hiyerarşisi	42
Şekil 3.7. Bir ağ yapısının süpermatrisi	44
Şekil 3.8. Süpermatrisin bir bloğu	45
Şekil 3.9. Bir ağ yapısının ağırlıklandırılmamış süpermatrisi.....	46
Şekil 3.10. Bir ağ yapısının süpermatrisine bileşen ağırlıklarının entegre edilmesi.....	46
Şekil 3.11. Bir ağ yapısının süpermatrisine bileşen ağırlıklarının entegre edilmiş hali	47
Şekil 3.12. Bir ağ yapısının ağırlıklandırılmış süpermatrisi	47
Şekil 5.1. Hiyerarşi ağacı	73
Şekil 5.2. AŞP ile çözüme ait hiyerarşi ağacı	74
Şekil 5.3. Tüm kriterler tanımlandıktan sonraki kriterlerin tanımladığı ekranın görünümü (yakınlık diyagramı penceresi)	80

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Tüm kriterlerin ağaç görünümü penceresindeki (treeview pane) görünümü.....	80
Şekil 5.5. Uygulama probleminin alternatiflerini tanımlama ekranı.....	81
Şekil 5.6. Alternatif giriş ekranı.....	81
Şekil 5.7. Alternatifler tanımlandıktan sonra görülen program ekranı	82
Şekil 5.8. Superdecisions programında kriter ve alternatiflerin görünümü	88
Şekil 5.9. Alternatiflerle ilgili sıralamanın Expert Choice programındaki görünümü	90
Şekil 5.10. Expert Choice programında alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi	91
Şekil 5.11. Superdecisions programında alternatiflerin sıralanması giriş ekranı.....	92
Şekil 5.12. Superdecisions programında alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi	93
Şekil 5.13. Kriterler arası önem sırası.....	94

RESİMLERİM LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Afşin-Elbistan – B termik santrali	7
Resim 2.2. Çatalağzı termik santrali	8
Resim 2.3. Karakaya hidroelektrik santrali.....	11

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

MW

Megawatt

MWe

Megawatt-elektrik

MWh

Megawatt-saat

Kısaltmalar

Açıklama

AHP

Analytic Hierarchy Process

ANP

Analytic Network Process

BP

British Petroleum

EIA

Energy Information Administration

EİE

Elektrik İşleri Etüt İdaresi

EPRI

Electric Power Research Institute

IAEA

International Atomic Energy Agency

NCRP

National Council on Radiation Protection &
Measurement

OECD

Organisation for Economic Co-operation and
Development

WNA

World Nuclear Association

1. GİRİŞ

Enerjiye olan ihtiyaç ve elektrik talebinin artması, nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme ve teknolojinin gelişmesi ile doğru orantılıdır. Buna bağlı olarak son yıllarda gelişmekte olan ülkelerin enerjiye olan ihtiyaçları da artmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki sanayileşme oranlarının artması daha fazla enerji tüketimine neden olmuştur. Enerji tüketiminde yeterli teknik donanımın olmaması ve hizmet sektörünün gelişmemesi de talepleri karşılama noktasında yeterli olamamaktadır.

Uluslararası rekabet koşulları altında olan ülkeler istenilen miktarda enerji üretmek amacına yönelik olarak, ortaya çıkan taleplere cevap verebilmek için değişik türdeki karar verme mekanizmalarına ihtiyaç duyarlar.

Enerji santrallerinin ülkemizde olan dağılımı ve bunların teknolojik, ekonomik, sosyo-ekonomik ve yaşam kalitesi etkileri göz önüne alındığında ülkemizin enerji ihtiyaçlarına cevap verme açısından hangi enerji santralinin kurulacağı kararı için, karar vericiler amaçlarını gerçekleştirecek en iyi alternatifleri seçmek durumundadır. Verilen kararların etkinliği ise enerji taleplerinin karşılanıp karşılanmadığıyla ölçülebilecektir.

Ülkemizde yıllardır bir bölgeye kurulması planlanan enerji santrali için kararlar sezgisel yöntemler ile alınmaktadır. Ancak karmaşık ve uzun vadeli karar problemleri için zaman ayrılması, detaylı bir araştırma yapılması, uygun bilgi ve verilerin kullanılması gerekmektedir. Böylece bilimsel karar verme tekniklerinden yararlanarak enerji santrali yatırımcıları ve ülkeler kendileri için hangi yatırımın en uygun olduğunu belirleyecek ve enerji santrali kurmak için daha hızlı, daha güvenilir ve daha etkin karar alabileceklerdir.

Karar verme problemlerinin çözümünde sadece sayısal verilerin kullanılması karar verme problemlerinin yetersiz kalmasına neden olabilmektedir. Bu durum aynı zamanda kriterlerin de birbirleriyle çelişmesine neden olmakta, karar vermeyi

doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle nitel ve nicel verilerin karar verme sürecine dahil edilmesi ile çok kriterli karar verme yöntemlerinin gerekliliği ortaya çıkmıştır. Böylece daha sağlıklı veriler ve kriterler ile karar alınabilecektir.

Yapılan çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Şebeke Prosesi (AŞP) yöntemleri kullanılarak Türkiye’de mevcut olan ve kurulması gereken enerji santrallerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Sırasıyla AHP ve AŞP yöntemleri kullanılarak kriterler arasındaki ilişkiler daha detaylı bir şekilde oluşturulmuş ve her iki yöntemin uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde dünyada ve Türkiye’de enerjinin durumu sorgulanmıştır. Ayrıca ülkemizde faaliyet halinde olan ve kurulması planlanan enerji santralleri ile ilgili bilgiler verilerek bunların üretimlerinin yıllara göre değişimi üzerinde durulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ve AŞP yöntemlerinin gelişimi ve nasıl çalıştığı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde enerji santrallerinin çok kriterli değerlendirilmesi yapılarak, geçmişte bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiş ve katkıları belirtilmiştir.

Beşinci bölümde, ülkemizde enerjinin konumu ve geleceğe yönelik inişler ve çıkışlar (dalgalanmalar) ortaya konularak karar problemi tanımlanmıştır. Uygulama problemi ile ilgili, bilgilerin alındığı yerler ve bunların yorumlanması hakkında bilgiler verilmiştir. Böylece karar probleminin analizi ve çözülmesi esnasında kullanılacak karar hiyerarşisinin oluşturulabilmesi için gerekli veriler ortaya konulmuştur. Bundan sonraki süreçte karşılaştırma yapılacak alternatifler ile

kriterleri içeren karar hiyerarşisi kullanılarak uygulama probleminin Expert Choice ve Superdecisions programları ile çözümüne geçilmiştir.

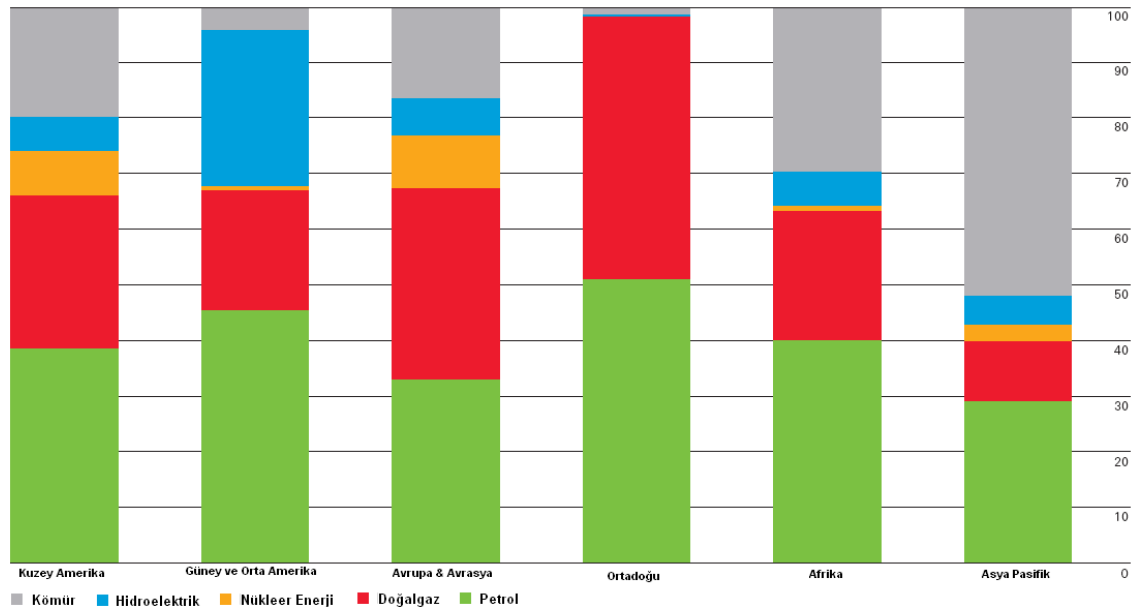
Çalışmanın son bölümü sonuç bölümüdür. Bu bölümde Türkiye’de faaliyet halinde olan kömür/linyit enerji santralleri, hidroelektrik santraller, doğalgaz enerji santrali, jeotermal enerji santrali ve rüzgar enerji santralleri ile ilerleyen yıllarda kurulması düşünülen nükleer enerji santrallerinin alternatif olarak değerlendirmeye alınarak, AHP ve AŞP yöntemlerinin uygulanması ile elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Bu enerji santrallerinin değerlendirmesi aşamasında uluslararası geçerliliği olan değerler dikkate alınarak kriterler oluşturulmuş ve altı farklı enerji santralinden hangisinin kurulmasının daha avantajlı olduğu ortaya koyulmuştur. Yapılan uygulama ile mevcut enerji santrallerine mi, yoksa kurulması planlanan nükleer enerji santrallerine mi yatırım yapılmalı sorularına cevap aranmıştır.

2. ENERJİ SANTRALLERİNE GENEL BAKIŞ

Enerji insanoğlunun ihtiyaçlarının karşılanmasında ve halkların sosyal yaşamlarını sürdürebilir olmasında temel unsurlardan biri olmuştur [1]. Bunun içinde enerji yakıtı ısınma için kullanılmış ve enerji kaynağının kullanımındaki ilk adım atılmıştır.

Geçmiş yıllarda çeşitli kaynaklardan elde edilen enerji için en önemli kaynak sudur. Bunun yanında rüzgar enerjisinden de faydalanılmıştır. Ancak zamanla petrol ve fosil yakıtların bulunmasıyla birlikte termik santraller hızla yaygınlaşmıştır. Petrol ve fosil yakıtlardan sonra doğalgaz insanoğlunun yaşamına girmiş ve daha az atık üretilmeye başlanmıştır [1]. Günümüzde ise enerji santralleri üzerine yoğun çalışmalar devam etmektedir. Her ne kadar henüz ülkemize kurulmamış olsa da özellikle Batı Avrupa ve Amerika da nükleer enerji santrallerinden üretilen enerji büyük miktarlara ulaşmıştır. Ülkelerin enerji üretimi ve enerji kaynaklarına sahip olma durumları ülke ekonomilerinin ve yeni dünya düzeninin oluşturulmasında belirleyici etken olmuştur [1].

Şekil 2.1’de Dünya’da enerji tüketiminde kaynak paylarının dağılımı kıtalara göre verilmiştir.



Şekil 2.1. Dünya enerji tüketimi kaynak payları (BP 2009)

Şekil 2.1.'e göre kömür, petrol ve doğalgaz enerji kaynakları açık farkla tüketilen enerji hammaddelerinin başında gelmektedir. Her ne kadar fosil yakıtlar enerji için kullanılan kaynakların başında gelse de, fosil yakıt kaynaklarının azaldığı, enerji fiyatlarının aşırı arttığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin ufukta tam görünmediği ve çözüm oluşturamadığı bu dönem, pahalı ve kritik enerji dönemi olarak isimlendirilmektedir [2].

Kritik enerji dönemi, gelişmiş dünya ülkelerinin petrol ve doğalgaz kaynaklarını ellerinde tutmak ve ticaret ağlarını kontrolleri altına almak istedikleri bir dönemdir. Bunun nedeni ise sürekli tükenen fosil enerji kaynakları ile her geçen gün artan elektrik talebidir.

Kömürün 119 yıl, petrolün 45 yıl ve doğalgazın 63 yıl sonra tükeneceği göz önüne alınırsa kritik enerji döneminin dünya üzerinde ne kadar süreceği tahmin edilebilmektedir.

Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye'nin, nüfusunun giderek arttığı dikkate alındığında ise nüfus artışı ile birlikte enerji taleplerinde de bir artış olduğu görülmüştür. Bu durum ülkemizde de giderek tükenmekte olan ve Türkiye'nin dışa bağlanmasına neden olan fosil yakıtlara alternatif olarak, yenilenebilir ve ikincil enerji kaynaklarının ön plana çıkmasında etkili olmuştur. Bu kaynakların ülkemizdeki durumları ve kullanılabilirliğinin artırılması üzerine yapılan çalışmalar da giderek artmaktadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji üzerine yapılan çalışmalar hızla artmaktadır. Bu doğrultuda ülkemizde rüzgar ve jeotermal enerji santralleri kurulmuştur.

Nükleer enerji santrali ise henüz ülkemize kurulmamış olmakla beraber yakın gelecekte kurulması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Kurulduğu takdirde ülkemizin ilk nükleer enerji santrali olacaktır.

Ülkemizde en çok üretim yapan enerji santralleri ve kurulu güçleri hakkında ayrıntılı bilgi sonraki bölümlerde verilmiştir.

2.1. Kömür/Linyit Enerji Santralleri

Kömür veya linyitin yakılarak, kazandaki akışkanı ısıtmasıyla elde edilen yüksek basınçlı buharın, buhar türbini kanatlarını çevirmesi sonucunda jeneratörün tahrik olması yoluyla elektrik enerjisi üretilen santrallerdir [1].

Dünya'da elektrik üretiminin yaklaşık olarak % 40'ı kömürden sağlanmaktadır. Birçok ülkede elektrik üretiminin önemli bir bölümü kömürden elde edilmektedir. Bu oran ABD'de ve Almanya'da (%53), Yunanistan'da (%69), Çin de (%75), Danimarka'da(%77), Avustralya'da (%83), Güney Afrika'da (%93), Polonya'da (%95) dir. Türkiye'de elektrik enerjisinin (%32) 'si kömürden elde edilmektedir [3].

Ülkemizde 2010 yılı itibariyle faal durumda olan kömür/liniyit enerji santralleri ile bunların kurulu güçleri ve gerçekleştirmiş oldukları üretim miktarları Çizelge 2.1'de verilmiştir [4].

Çizelge 2.1. Türkiye'de faal olan kömür/liniyit enerji santralleri kurulu güçleri

Enerji Santrali	Yakıt Cinsi	Kurulu Güç MW	2010 Haziran Sonu Üretim MWh
Afşin-Elbistan – A	Linyit	1 355	1 015 305
Afşin-Elbistan – B	Linyit	1 440	3 197 405
Seyitömer	Linyit	600	1 661 805
Kangal	Linyit	457	1 016 781
Tunçbilek	Linyit	365	797 138
Orhaneli	Linyit	210	665 767
Çan	Linyit	320	972 639
Soma A – B	Linyit	1 034	1 792 541
Kemerköy	Linyit	630	1 159 765
Yeniköy	Linyit	420	411 940
Yatağan	Linyit	630	1 260 900
Çatalağzı	Taşkömürü	300	1 038 729
	TOPLAM	7 761	14 990 715

Çizelge 2.1'e göre Afşin – Elbistan termik santrallerinde üretilen enerji diğer enerji santrallerine göre çok daha fazladır.

Çizelge 2.1'e göre kömür/linyit enerji santrallerinin çoğu Türkiye'nin batısında ve turizm yerlerine yakın olarak kurulmuş olsada, en büyük linyit termik santrali olan Afşin-Elbistan – B Termik Santrali ülkemizin doğusunda kurulmuştur. Resim 2.1'de Afşin-Elbistan – B Termik Santralinden bir görünüş verilmiştir [5].

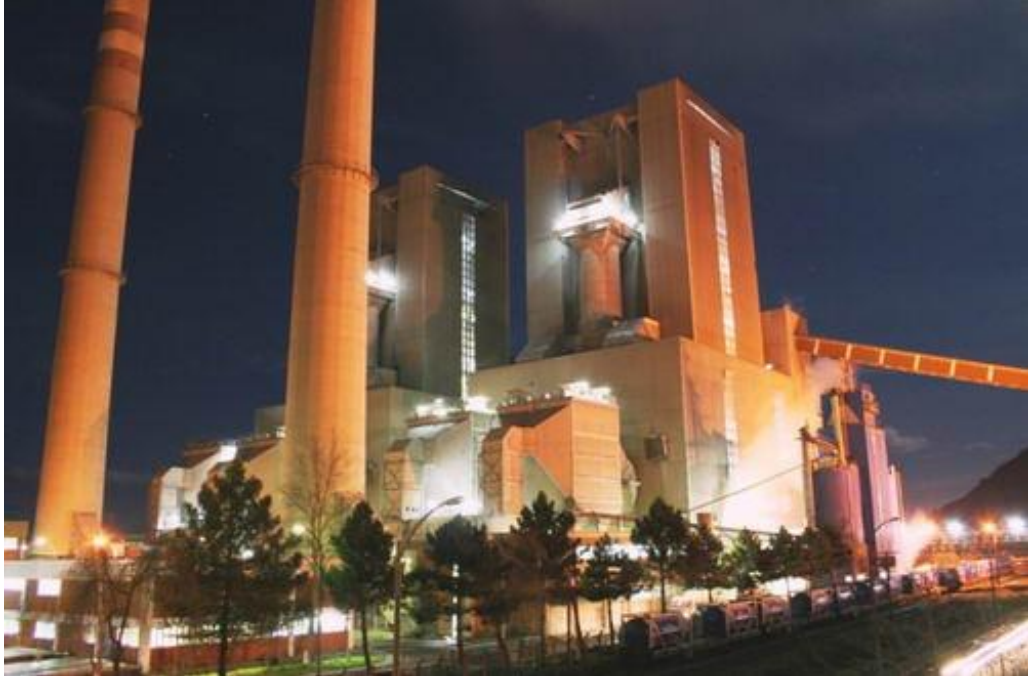


Resim 2.1. Afşin-Elbistan – B termik santrali

Kömür/linyit enerji santralleri aşağıdaki sistemlerden oluşmaktadır.

- Yakıt Besleme Sistemi
- Hava ve Uçucu Gaz Sistemi
- Kül Atma Sistemi
- Yoğuşma Suyu Sistemi
- Besleme Suyu Sistemi
- Ana Buhar Sistemi
- Kondense Sirkülasyon Suyu Sistemi
- Elektrik Sistemi
- Su Arıtma Sistemi

Resim 2.2’de ise Türkiye’nin tek taşkömürü kullanan kömür termik santrali olan Çatalağzı Termik Santrali gösterilmiştir.



Resim 2.2. Çatalağzı termik santrali

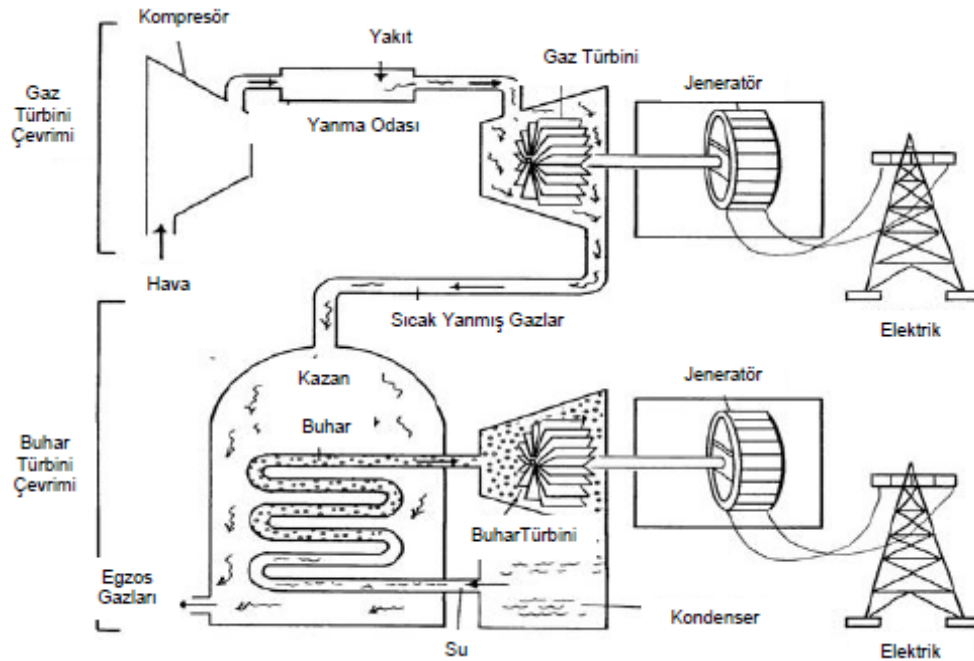
2.2. Doğalgaz Çevrimli Enerji Santralleri

Fosil yakıtlar grubundan hidrokarbon esaslı doğal gaz, yer altında gözenekli kayaların boşluklarına sıkışmış olarak ya da petrol yataklarının üzerinde gaz halinde büyük hacimler şeklinde bulunur. Doğalgaz; %95 metan, az miktarda da etan, propan, bütan ve karbondioksitten oluşan renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır [6].

Karbon içeriğinin düşük olması nedeniyle atmosferde sera etkisi oluşturan ve insan sağlığı bakımından zehirleyici olan karbondioksit gazı emisyonu, katı yakıtlara göre 1/3, sıvı yakıtlara göre 1/2 oranında daha azdır. Çeşitli kimyasal ürünlerin başlıca hammaddesi olan doğalgaz dünya enerji tüketiminin önemli bölümünü karşılamaktadır [6].

Doğalgaz çevrimli enerji santrallerinde enerji üretimi iki farklı kademede gerçekleşmektedir. Gaz türbinlerinde hava ile karıştırılan doğalgaz yakılarak, türbinle aynı şaft üzerinde bulunan bir jeneratörü çevirmek suretiyle birinci kademe elektrik üretilir. Yakıtın yakılmasıyla gaz türbininden elde edilen elektrik enerjisinin yanı sıra türbin egzozundan yüksek sıcaklığa sahip egzoz gazlarının atık ısısının kazana verilmesiyle elde edilen buhar ile buhar türbinlerinden de ek elektrik üretimi sağlanmaktadır. Buhar türbini ile aynı şaft üzerinde bulunan jeneratör vasıtasıyla da ikinci kademe elektrik üretimi sağlanır. Bu santrallerde gaz türbinli çevrimlerin üst sıcaklığının yüksek olması ve buhar türbinli çevrimlerin alt sıcaklıklarının düşük olması avantajları birleştirilerek, tasarım koşullarında çalışmak üzere kombine çevrim verimi % 50–60 civarında gerçekleştirilebilmektedir [7]. Bu şekilde iki farklı “çevrim” gerçekleştiği için, bu tip santrallere “Kombine Çevrim” denmektedir.

Şekil 2.2’de bir kombine çevrimli termik santralin şeması gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Kombine çevrimli bir termik santralin şeması

Ülkemizde 2010 yılı itibariyle faal durumda olan doğalgaz çevrimli enerji santralleri ile bunların kurulu güçleri ve gerçekleştirmiş oldukları üretim miktarları Çizelge 2.2’de verilmiştir [7].

Çizelge 2.2. Türkiye’de faal olan doğalgaz enerji santralleri kurulu güçleri

Enerji Santrali	Yakıt Cinsi	Kurulu Güç MW	2010 Haziran Sonu Üretim MWh
Bursa	Doğalgaz	1 432	2 478 453
Ambarlı	Doğalgaz	1 351	3 478 909
Aliağa	Doğalgaz	180	20 789
Hamitabat	Doğalgaz	1 120	2 156 631
	TOPLAM	4 083	8 134 782

Çizelge 2.2’ye göre doğalgazla üretilen ana enerji santralleri her ne kadar az sayıda olsada kömür/linyit enerji santrallerinin üretmiş oldukları enerjinin yarısından fazla enerji üretebilmektedir.

2.3. Hidroelektrik Enerji Santralleri

Hidroelektrik santraller suyun enerjisinden faydalanarak elektrik üreten tesislerdir. Hidroelektrik santral, suyun potansiyel enerjisinin mekanik enerjiye ve mekanik enerjinin de elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yerdir. Bu tesisler su kütlesinin düşey bir mesafeden düşürülmesi prensibine göre çalışır [8]. Hidroelektrik enerji santralleri içme, kullanma ya da sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır. Hidroelektrik santralin ana bölümleri cebri borular, hidrolik türbinler, jeneratörler, transformatörler ile su akışını ve elektrik enerjisi dağıtımını denetleyen yardımcı donanımlardır. Hidroelektrik enerji için, ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşu ve inşa süresinin uzunluğu olumsuz faktörler olarak ileri sürülmektedir.

Hidrolik gücün, ekonomik olarak işletilebilir potansiyelinin halen 1/3’ü kullanılarak dünya elektrik üretiminin % 17’si karşılanmaktadır. Hidrolik projeler; sera gazları, SO₂ ve partikül emisyonlarının olmaması, işletme ve bakım maliyetlerinin düşük

olması, uzun ömürlü olmaları, nispeten daha basit ekipmanlardan oluştukları için plansız kesintilerin daha nadir ve kısa süreli olması ve kesinti sonrası diğer sistemlere göre çok daha çabuk çalıştırılarak devreye alınmaları gibi avantajlara sahiptir [1].

Türkiye'nin önemli hidroelektrik santrallerinden olan Karakaya Hidroelektrik Santrali'nin resmi Resim 2.3'te gösterilmiştir.



Resim 2.3. Karakaya hidroelektrik santrali

Hidroelektrik santrallerinin inşa süreleri uzun olmasına karşın ömürleri de termik santrallere göre daha uzundur. Kömür yakıtlı santraller ile kombine çevrimli santrallerin ömürleri 25 yıl iken baraj ve hidroelektrik santrallerinin ekonomik hizmet süreleri 40-50 yıldır. Ancak bazı yenileme çalışmaları ile hidroelektrik santrallerin ekonomik ömürleri 75-100 yıla çıkartılabilmektedir. Ayrıca termik santraller doğal kaynakları tüketmektedir. Buna karşılık hidrolik potansiyelin gelişmesi ile barajlarla meydana getirilen yapay göller vasıtasıyla ortamda oluşan buharlaşma, havzanın daha fazla yağış almasına yol açmakta, diğer bir deyişle, kaynak arttırıcı olarak işlev görmektedir. Ülke enerji talebinin yeteri kadar yedekli

bir arzla karşılanabilmesi için öncelikle ulusal kaynaklara dayandırılması gerekmektedir. Yenilenebilir kaynak oluşu, en az düzeyde çevre etkisi yaratması, çevre kirliliğine neden olmaması, işletme ve bakım masraflarının az olması ve en önemlisi ulusal niteliği ile güvenilir enerji arzı sağlayan bir kaynak oluşu, hidroelektrik enerjinin önemini büyük ölçüde arttırmaktadır [9].

Hidroelektrik santrallerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık %40’ı hidroelektrik santralinden üretilmektedir [9].

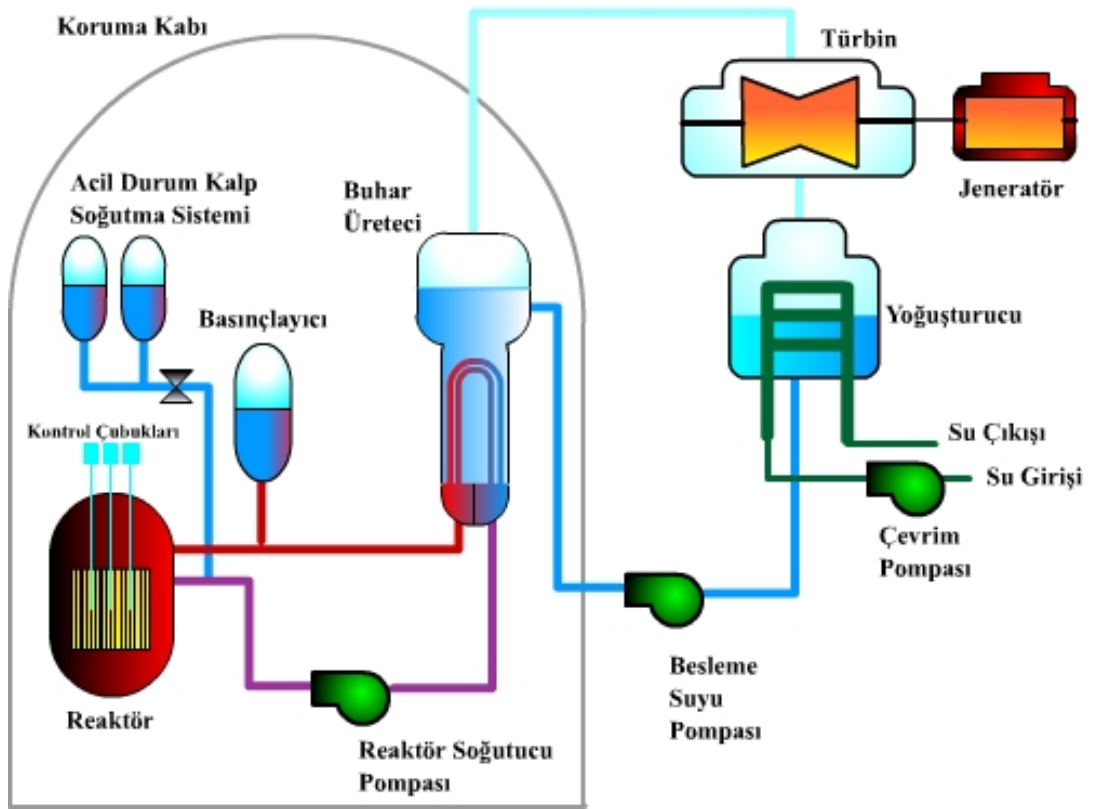
2.4. Nükleer Enerji Santralleri

Günümüzde atom çekirdeklerinin parçalanma “fısyon” ve birleşme “füzyon” tepkimeleri sonucunda açığa çıkan enerjiye nükleer enerji denir.

Nükleer reaktörler nükleer enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Temel olarak fısyon 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. Şekil 2.3’te 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 [10].

Dünyada işletmede olan hali hazırda toplam 438 adet nükleer enerji santrali bulunmaktadır. Ayrıca 57 adet nükleer enerji santrali de inşa halindedir.

Ülkemizde henüz faaliyette olan bir nükleer enerji santrali bulunmamaktadır. Ancak ilerleyen yıllarda kurulması ciddi şekilde düşünülmekte ve buna dair çalışmalar hızla devam etmektedir.



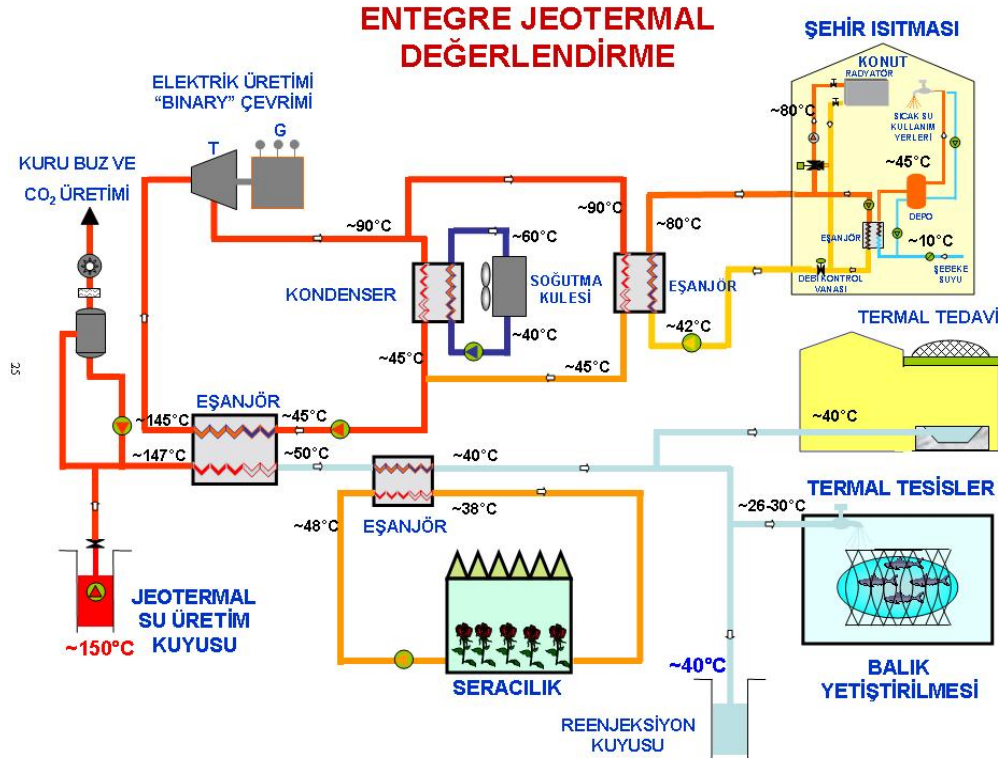
Şekil 2.3. Basınçlı su tipi nükleer reaktör şeması

2.5. Jeotermal Enerji Santralleri

Jeotermal enerji yer kabuğu içindeki yüksek sıcaklıklı su ve buhar karışımında ortaya çıkan, yerküre içerisinde depolanmış halde bulunan bir ısı enerjidir [11].

Jeotermal enerji yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaçların içerdiği termal enerji olarak da tanımlanmaktadır [12].

Şekil 2.4'te bir entegre jeotermal enerji santralinin elektrik üretimi ve termal olarak nasıl kullanıldığı gösterilmiştir. Ayrıca jeotermal sahalara yakın bölgelerde sera ısıtması, endüstriyel kullanım, kaplıca maksatlı kullanım, kimyasal madde üretimi, balık çiftlikleri v.b. yerlerde kullanılabilir.



Şekil 2.4. Bir entegre jeotermal enerji santrali tesisi

Jeotermal enerji kaynağını yerkürenin derinliklerindeki magmadan ve kayalarındaki radyoaktiflikle oluşan sıcaklıktan alır. Isınan yer altı suları elektrik üretmek ve konutları ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır.

Yağmur, kar, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayaç kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, yeraltı ve reenjeksiyon koşulları devam ettiği müddetçe yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar. Kısa süreli atmosferik koşullardan etkilenmezler [13].

2010 ve 2013 yıllarına ait jeotermal üretim projeksiyonları Çizelge 2.3'te bulunmaktadır [14].

Çizelge 2.3. Türkiye’de jeotermal elektrik üretim projeksiyonu

Saha Adı	Sıcaklık (C)	2010 Tahminleri	2013 Tahminleri
		(MWe)	(MWe)
Denizli-Kızıldere	200-242	75	80
Aydın-Germencik	200-232	100	130
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	10	15
Manisa-Salihli-Göbekli	182	10	15
Çanakkale-Tuzla	174	75	80
Aydın-Salavatlı	171	60	65
Kütahya-Simav	162	30	35
İzmir-Seferihisar	153	30	35
Manisa-Salihli-Caferbey	150	10	20
Aydın-Sultanhisar	145	10	20
Aydın-Yılmazköy	142	10	20
İzmir-Balçova	136	5	5
İzmir-Dikili	130	30	30
Toplam		455	550

Çizelge 2.3’te verilen jeotermal üretim projeksiyonlarına göre, jeotermal enerjinin gelecek yıllarda da ülkemizin birincil enerji kaynakları arasında olmakta güçlük çekeceği görülmektedir.

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, tükenmezliği, çevreyi kirliletmemesi, ekolojik dengeyi bozmaması, arama ve işletme aşamasında maliyetinin düşüklüğü ülkemizin hemen her yanında yaygın olarak bulunması, özellikle ısıtmacılıkta ve endüstriyel kullanımda devreye çok çabuk sokulabilmesi bu kaynağa fazla önem verilmesini gerektirmektedir. Tüm sorunların çözülerek maksimum kapasitelere erişilmesi ülke ekonomisi için büyük kazanç sağlayabilecektir [15].

2.6. Rüzgar Enerji Santralleri

Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Bu nedenle rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin değişik bir şeklidir. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç

da havanın hareketine neden olur. Enerji kaynağı olarak kullanılan rüzgarlar atmosferin yeryüzüne yakın kısımlarında meydana gelen rüzgarlardır [16].

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerjiler arasındaki en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli enerji türüdür. Rüzgar enerjisi herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yapmaz. Enerjinin hammadde bedeli ücretsiz olup, herhangi bir atık meydana getirmemektedir. Atmosfere ve yakınındaki göl ve nehirlere herhangi bir ısı emisyonu bulunmamaktadır [17].

Türkiye rüzgar potansiyeli yüksek ülkeler arasında sayılmaktadır. 2009 yılına ait Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) raporuna göre ülkemizde faaliyet gösteren rüzgar santralleri Çizelge 2.4'te gösterilmiştir [18].

Çizelge 2.4. Türkiye'deki rüzgar santralleri

Şirket	Mevkii	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MW)
Alize A.Ş.	İzmir-Çeşme	1998	1,50
Güçbirliği A.Ş.	İzmir-Çeşme	1998	7,20
Bores A.Ş.	Çanakkale-Bozcaada	2000	10,20
Sunjüt A.Ş.	İstanbul-Hadımköy	2003	1,20
Yapısan A.Ş.	Balıkesir-Bandırma	I/2006	30,00
Ertürk A.Ş.	İstanbul-Silivri	II/2006	0,85
Mare A.Ş.	İzmir-Çeşme	I/2007	39,20
Deniz A.Ş.	Manisa-Akhisar	I/2007	10,80
Anemon A.Ş.	Çanakkale-İntepe	I/2007	30,40
Doğal A.Ş.	Çanakkale-Gelibolu	II/2007	14,90
Deniz A.Ş.	Hatay-Samandağ	I/2008	30,00
	Manisa-Sayalar	I/2008	30,60
İnnores A.Ş.	İzmir-İliş	I/2008	42,50
Lodos A.Ş.	İstanbul-Gaziosmanpaşa	I/2008	24,00
Ertürk A.Ş.	İstanbul-Çatalca	I/2008	60,00
Baki A.Ş.	Balıkesir-Şamlı	II/2008	90,00
Dares A.Ş.	Muğla-Datça	II/2008	10,00
TOPLAM			433,35

Rüzgar enerji santralleri'nin (RES) maliyetleri ürettiği enerji miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle sabit maliyetleri diğer enerji santrallerine göre daha

düşüktür [19]. Bu nedenle rüzgar enerjisine yapılan yeni yatırımlar, her geçen yıl katlanarak artmakta, yeni piyasa yapısına uygun yatırımlarla RES projelerinin kurulu gücümüze katkısı, serbest piyasanın oluşumuna önemli katkılar sağlamaktadır. Ülkemizin arz güvenliği sıkıntıları yaşadığı günümüzde ve gelecekte, rüzgar enerjisi önemli bir elektrik enerjisi üretim kaynağı olacaktır [20].

3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Çok kriterli karar verme yöntemleri, 1960'lı yıllarda, karar verme işlerine yardımcı olacak bir takım araçların gerekli görülmesiyle geliştirilmeye başlanmıştır [21].

Literatürde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı bir çok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda en çok kullanılan yöntemler AHP, AŞP, ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) yöntemleridir.

ELECTRE yöntemi ilk kez 1966 yılında Beneyoun tarafından ortaya atılmıştır. Yöntem her bir değerlendirme faktörü için alternatif karar noktaları arasında ikili üstünlük kıyaslamalarına dayanarak çözüme ulaşır.

TOPSIS, Yoon ve Hwang tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir. ELECTRE yönteminin temel yaklaşımlarını kullanır. Karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibe dayanır ve çözüm süreci ELECTRE yöntemine nazaran daha kısadır.

PROMETHEE yöntemi 1982 yılında Brans tarafından geliştirilmiştir. PROMETHEE yöntemi, literatürde yer alan mevcut önceliklendirme yöntemlerinin uygulama aşamasındaki zorluklardan yola çıkılarak geliştirilmiş ve günümüze kadar tedarik yönetimi gibi çalışmalarda kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada AHP ve AŞP yöntemlerini kullanmaktaki amaç ise alternatif ve kriter sayılarının fazla olduğu durumlarda karar verme mekanizmasını kontrol altında tutabilmek ve karar sonucunu mümkün olduğu kadar kolay ve çabuk elde etmektir [22].

3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP metodu; bağıl önemler için yapılan kişisel atamaları, ağırlıklar kümesine dönüştürmekte kullanılan bir tekniktir [22]. AHP, ilk olarak 1968 yılında Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977’de ise Profesör Thomas Lorie Saaty tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir [23].

1970’lerde Saaty tarafından geliştirilen bu yöntem, birbirleriyle çelişen, ölçülebilir veya soyut kriterler içeren kompleks problemlerin analizinde ve çözümünde kullanılmak üzere tasarlanmış, çok sayıda alternatif arasından seçim yapılmasını sağlayan bir çok kriterli karar verme yöntemidir [24]. AHP yöntemi bir ayrık ölçüm teorisi olarak verilen değerlerin ikili karşılaştırmaları ile yapılır [25].

AHP Saaty tarafından bir çok kriterli karar verme problemi olarak ortaya konduktan sonra nasıl kullanılacağı ile ilgili de yöntemler açıklığa kavuşturulmuştur. Bu doğrultuda kriterleri ölçme yöntemleri ve oran göstergeleri ile AHP aksiyonları da Saaty tarafından örneklerle açıklanmıştır [26]. AHP’nin en önemli yanı, karar vericinin “çok kriterli karar verme problemini” görsel olarak, kriter hiyerarşisi şeklinde görebilmesine imkan sağlamasıdır [22].

AHP karar almada, grup ve bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir [27]. Bu durum da AHP’yi diğer karar verme yöntemlerine göre daha güçlü kılmaktadır. Teorinin başarısı, basitliğinden ve değişik koşulların her birinde aynı şekilde kullanılabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.

AHP ile ilgili yapılan çalışmalar ilk olarak Saaty ile başlamıştır.

Saaty (1991), çalışmasında, AHP’nin aşamaları ve özvektörler üzerinde durmuştur. Ayrıca AHP’ye ilişkin matematiksel kavramlardan da bahsetmiştir [28].

Tadisina ve ark. (1991), en uygun doktora programının seçiminde AHP'yi etkin bir şekilde kullanmışlardır [29].

Bryson ve ark. (1994), çok kriterli karar verme problemlerinin AHP ile çözümünü incelemiş alternatiflerin sıralamalarının neye göre değiştiğini duyarlılık analizi yaparak ortaya koymuştur. Böylece karar vericinin öncelikli olarak hedefe ulaşırken takip etmesi gereken öncelikli kriterlerin belirlenebileceği ifade edilmiştir [30].

Ahire ve ark. (1995), toplam kalite yönetimi uygulamasına geçmeye karar veren bir şirket için en uygun pilot projenin seçiminde uygulamışlardır [31].

Honert ve ark. (1996), AHP'de gruplaşma sürecini ele almışlardır. Bununla ilgili olarak pareto optimalini incelemişler ve grup üyelerinin bir seçeneği diğerine tercih etmesi durumunda, verilecek kararın bütün grup üyelerinin tercih etmiş olduğu seçenek olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Grup yargılarının geometrik ortalaması alınarak karar verilmiştir [32].

Dağdeviren ve ark. (2004), AHP ile iş değerlendirme sistemi tasarlanması üzerinde çalışmışlar ve geliştirmiş oldukları sistemi daha sonra bir elektrik işletmesinde farklı işlerin değerlendirilmesinde kullanmışlardır [33].

Güngör ve ark. (2005), tüketicilerin otomobil alırken karar vermede zorlanmaları üzerine AHP ile otomobil seçimi sorununa çözüm aramıştır. Yapılan çalışmada objektif kriterlerin yanı sıra tüketiciye ilişkin bulanık subjektif değerler de dikkate alınarak otomobil satın almak isteyen bir tüketici içinde uygulama yapılmıştır [34].

An ve ark. (2006), çalışmalarında, üç farklı modeli karşılaştırmış ve AHP nin daha doğru, gerçekçi ve açıklayıcı olduğu sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda inşaat fiyatlarının tahmin edilmesi için yapılan çalışmada AHP'nin orijinal amaca daha yakın olduğu anlaşılmıştır [35].

Tezcan (2007), çalışmasında, AHP'ni bir hazır beton tesisi için arazi ve tesisi seçimi problemine uygulamıştır. Bunun için dört ana kriter ve iki alt kriter oluşturmuştur. Tezcan değerleri Expert Choice programına girerek bulmuş olduğu matematiksel sonucu teyit etmiştir [22].

Oğuzlar (2007), müşteri şikayetlerini dikkate almış ve Expert Choice paket programını kullanarak AHP ile otomobillerle ilgili en fazla şikayet edilen problemleri analiz etmiş, Avrupa merkezli otomobillerin ABD ve Uzakdoğu merkezli otomobillerden daha sorunlu olduğunu ortaya koymuştur [36].

Gencer ve ark. (2008), çalışmalarında, piyade birlikleri için önemli ateş destek silahlarından olan hafif makineli tüfeklerin seçimi problemini ele almışlardır. Alınması gereken silahlar ile ilgili kriter belirlenmiş ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP kullanılarak problem çözülmeye çalışılmıştır [37].

Aydın (2008), bir sanayi tesisinde fabrika giriş kapısının arızalanması üzerine kapı tamir edilmeli mi, yoksa yeni bir kapı yatırımına mı gidilmeli sorularına AHP yöntemi ile cevap aramıştır [24].

Özden (2008), çalışmasında, AHP süreçlerini genel olarak açıklamış ve belirlemiş olduğu kriter ve alternatifler ile ailelerin çocukları için en iyi eğitim ve öğretim ortamını sağlayacak ilkokul seçimine yönelik bir uygulama yapmıştır [38].

Mohajeri ve ark. (2010), bir tren istasyonu için optimum yer seçimini AHP ile tasarlamışlar ve bunun için dört kriter ve yirmi altı alt kriter belirleyerek en iyi alternatifi bulmaya çalışmışlardır [39].

3.1.1. AHP'nin aksiyomları

Saaty, AHP'nin temelini teşkil eden 4 aksiyom tanımlamıştır [40].

Aksiyom 1: Terslik Koşulu

Karar verici ikili karşılaştırmalar matrisinde kriterlere göre alternatifleri veya kriterleri birbirlerine göre karşılaştırırken i. kriter yada alternatifi j'ye göre x kez daha önemli buluyorsa, j. kriter ya da alternatif de i'ye göre 1/x kez daha önemli olmalıdır [24].

Karar verici, karşılaştırmalar yaparken ve tercihlerinin derecesini belirlerken terslik koşulunu yerine getirmelidir [41].

A kümesi, karar hiyerarşisinde aralarında seçim yapılacak alternatifler kümesi olmak üzere, bu kümedeki önem dereceleri w_i ve w_j olan herhangi iki i ve j alternatiflerinin C kriterler kümesindeki herhangi bir c kriteri altında ikili karşılaştırmaları;

$$\frac{w_i}{w_j} = a_{ij} \text{ şeklinde olur. (} a_{ij} = i \text{ alternatifinin } j \text{ alternatifine göre üstünlüğü)}$$

Terslik koşulu için karşılaştırmalar;

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \text{ (A, Alternatifler matrisindeki tüm i, j için)}$$

Aksiyom 2: Homojenlik

Özellik bakımından farklı elemanların birbirleriyle karşılaştırılması çok zor olduğundan homojenlik anlamlı karşılaştırmalar yapabilmek açısından önemlidir [13]. İki eleman birbirleriyle karşılaştırılırken biri diğerine göre sonsuz kez daha önemli olamaz ($a_{ij} \neq \infty$, $\forall$ i ve j'ler için). Kullanılan temel ölçek 1–9 aralığında olduğu için a_{ij} değerleri de 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8, 9 aralığında bir değer alacaktır [42].

Aksiyom 3: Bağımsızlık

Hiyerarşide elemanlar hakkındaki yargılar alt seviyedeki elemanlara bağlı değildir. Hiyerarşik yapının oluşturulmasında bu aksiyom temel alınır [43]. Bu nedenle de bu aksiyoma göre kriterlerin alternatiflerin özelliklerinden bağımsız olduğu varsayılır [24].

Aksiyom 4: Beklentiler

Elde edilecek çözümün karar vericilerin beklentileriyle uyumlu olabilmesi için mevcut karar problemini etkileyen her bir kriter ve alternatif hiyerarşide gösterilmek zorundadır [41]. Aksi takdirde karar verici açısından alınacak karar yetersiz olacaktır [24].

3.1.2. AHP'nin prensipleri

Saaty'e göre AHP probleminin çözümü üç prensip ile gerçekleştirilmektedir. Bunlar;

- Ayırıştırma
- Karşılaştırmalı yargılar
- Önceliklerin sentezi prensipleridir.

Ayırıştırma

Ayırıştırma Prensibi, problemin temel öğelerinin belirlenmesi için hiyerarşinin yapılandırılmasını içerir [44]. Bu yapıyı oluştururken de üst düzeydeki bir kriterden ona bağlı, kararı etkileyebilecek alt kriterlere ve hiyerarşik yapıdaki daha alt kriterlere dahil edilir ve süreç böyle devam edilerek daha genel olandan daha özel ve belirgin olana doğru gidilmiş olur [45].

Karşılaştırmalı Yargılar

Karşılaştırmalı yargılar prensibi kriterlerin içindeki bütün kombinasyonların elemanları arasında ikili karşılaştırmaların oluşturulmasını sağlar. Ayrıca hiyerarşideki öğelerin bir üst kademedeki öğeye göre göreceli önemlerinin belirlenmesi için ikili olarak karşılaştırılacağını ifade eder.

Önceliklerin Sentezi

Öncelikler Sentezi prensibi ile ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması neticesinde hiyerarşideki her bir öğenin göreceli önemleri hesaplanır. Bunun için tüm alternatifler her kriter için ikili karşılaştırma matrisi olarak hesaplanır. Alternatiflerin genel ağırlıkları bulunarak sıralama yapılır [24].

3.1.3. AHP'nin adımları

Adım 1. Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Hiyerarşi, aslında özel bir sistem tipidir ve ortaya çıkarılan birimlerin ayrı ayrı diziler halinde gruplanabileceği ve bir gruba ait öğelerin diğer gruptaki öğeleri etkileyebileceği varsayımına dayanır [46]. Bu nedenle de hiyerarşide aynı seviyedeki öğelerin birbirinden bağımsız olması veya birbirlerini etkilememesi ve tüm seviyelerin de birbirleriyle etkileşimli olması gerekmektedir [24].

AHP'nde karar problemi hiyerarşilerden yararlanılarak düzenlenir. Hiyerarşiler, karar problemine ilişkin bilgiyi ayrıntılı olarak göstermekte, çeşitli seviyelerden oluşmakta ve her bir seviye de karar probleminin farklı bir parçasını ifade etmektedir. Tasarlanan bir hiyerarşinin amacı, üst seviyedeki elemanların alt seviyedeki elemanlara olan etkisini, ya da alt seviyedeki elemanların üst seviyedeki elemanların önemine veya tamamlanmasına katkılarını belirlemektir [21].

Her seviyedeki öğeler aynı önem derecesine sahip olmalıdır. Birbirlerinden çok farklı önem derecesine sahip öğeler ise hiyerarşide farklı seviyelerde yer almalıdır.

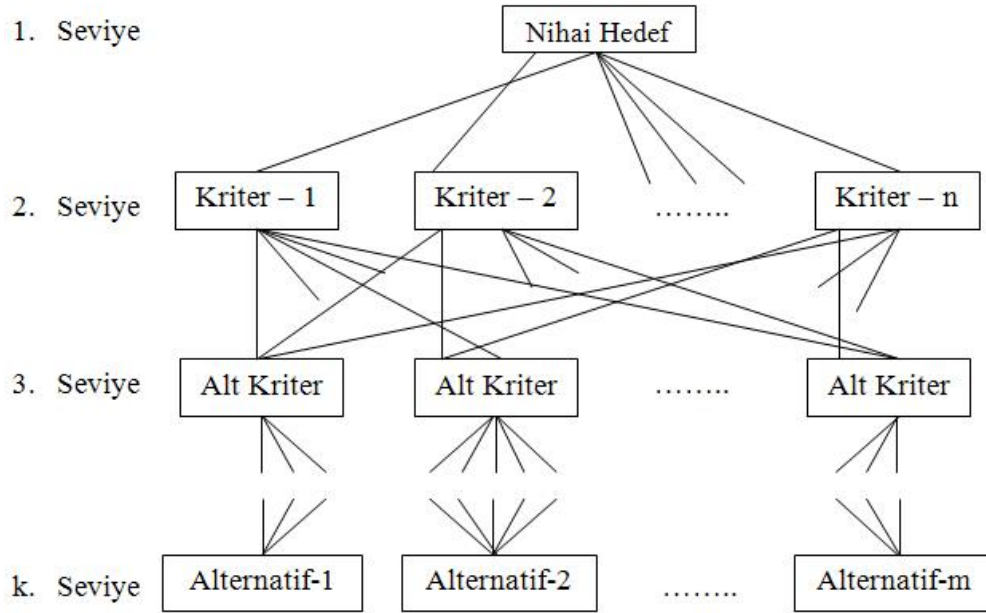
Hiyerarşileri oluştururken ilk olarak doğru sıralarla seviyeleri belirlemek hiyerarşiye ilişkin öğelerin de doğru seçilmesine önemli ölçüde yardımcı olur.

Analitik karar verme, sorunların kademeli (hiyerarşik) bir biçimde anlamlı ve daha küçük alt bölümlere ayrıştırılarak, daha etkin çözümlenebileceği esasına dayanır [47].

AHP’nde karar problemi ayrıntılı bir şekilde tanımlandıktan sonra sıra karar vericinin amacı doğrultusunda kriterlerin ve ona ait olan alt kriterlerin belirlenip hiyerarşik yapının kurulmasına gelir. Bundan sonraki aşama ise hiyerarşideki herhangi bir öğenin etkilerini saptamaya yönelik bir ölçüm tekniği kullanmak olacaktır [24].

Örnek problemin AHP ile çözümünde, ilk olarak, amaç belirlenir. Daha sonra bu amaç doğrultusunda bu probleme ait kararı etkileyen kriterler oluşturulur. Kriterler uzman kişilerin bilgi ve deneyimlerinden yararlanılarak oluşturulabileceği gibi, anket çalışmalarından ya da karar vericinin kendi tecrübelerinden faydalanılarak da oluşturulabilir. Böylece AHP ile nicel veriler nitel verilere dönüştürülebilir [48]. Çok fazla kriterin bulunması durumunda birbirleriyle ilişkili kriterler bir kriter altında alt kriter olarak belirlenebilir. Kriterler belirlendikten sonra hiyerarşik yapıyı tamamlamak için alternatifler belirlenir. Kısaca karar hiyerarşisinin en üst seviyesinde amaç, alt seviyesinde ise ana kriterler ve alt kriterler, en alt seviyesinde de alternatifler bulunmaktadır.

Bu nedenle AHP’nde bir hiyerarşi en az üç seviyeden oluşmaktadır. Şekil 3.1’de AHP’nin standart hiyerarşik yapısı görülmektedir [49].

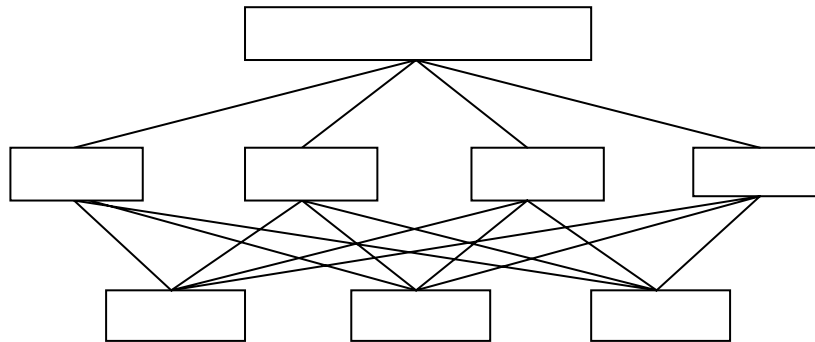


Şekil 3.1. AHP'nin standart hiyerarşik yapısı

AHP'de hiyerarşik yapılar tam hiyerarşi ve tam olmayan hiyerarşi olarak ikiye ayrılmaktadır.

Tam Hiyerarşi

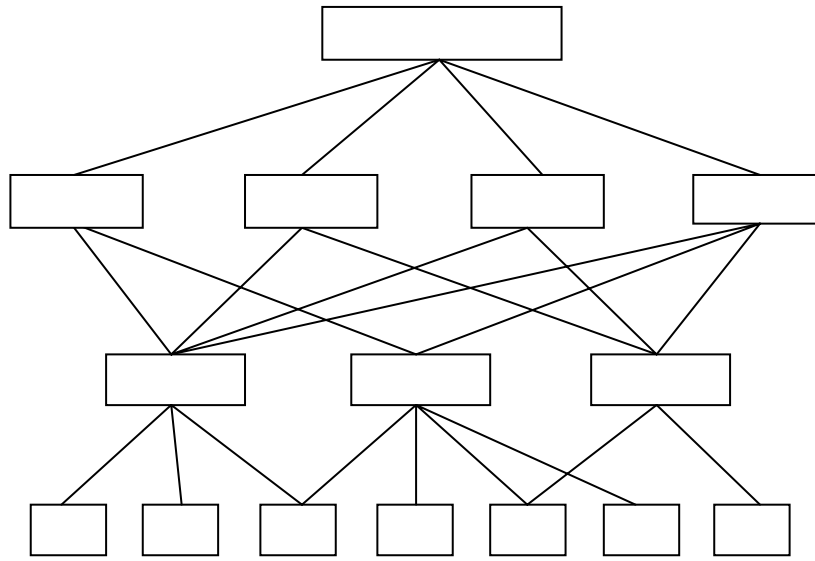
Bir alt seviyedeki öğelerin üst seviyedeki tüm öğeleri etkiledikleri hiyerarşilere tam hiyerarşi denilmektedir. Diğer bir deyişle, her seviyedeki öğeler bir üst seviyedeki öğeler türünden değerlendirilmişse bu tür hiyerarşilere tam hiyerarşi denir [21]. Şekil 3.2'de tam hiyerarşiye ait bir örnek bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Tam hiyerarşi modeli

Tam Olmayan Hiyerarşi

Bir seviyedeki öğelerin üst seviyedeki öğelerin tümünü etkilemediği, sadece bir veya bir kaçını etkilediği hiyerarşik modeller tam olmayan hiyerarşi olarak ifade edilmektedir [47]. Şekil 3.3'te tam olmayan hiyerarşi modeline bir örnek bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Tam olmayan hiyerarşi

Adım 2. Önceliklerin Belirlenmesi

Karar verme sürecinde problem hiyerarşik bir model şeklinde ifade edildikten sonra AHP, karar vericinin belirlediği her bir kriterin göreceli önemlerini belirlemesine ve daha sonra her bir kritere göre karar alternatifleri arasında seçim yapmasına gereksinim duyar.

Bu durumda hiyerarşiyi oluşturan elemanlar karşılaştırılarak birbirlerine göre ağırlıklarının veya önceliklerinin (üstünlüklerinin) hesaplanması gerekmektedir.

Önceliklendirme; bir dizi soru-cevap yardımı ile her seviyedeki elemanlar arasında oluşturulan ikili karşılaştırmaların göreceli önemlerinin belirlenmesi ve bu önemlerin

genel amaca olan katkısının belirlenmesini içerir. Bu amaca ulaşmak için hiyerarşideki elemanlar bir üst seviyedeki elemana göre ikili olarak karşılaştırılır. Bu karşılaştırma işleminde kullanılan rakamların yorumlanmasındaki karmaşıklığı gidermek ve pek çok hatayı en aza indirebilmek için Saaty tarafından ortaya atılan, Çizelge 3.1’de gösterilen “1–9 ölçeği” olarak adlandırılan göreceli önceliklendirme ölçeği kullanılır [41].

Çizelge 3.1. Göreceli önceliklendirme ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor
3	Birinin diğerine göre orta derecede daha önemli	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğerlerine orta derecede tercih ettiriyor
5	Kuvvetli düzeyde önemli	Tecrübe ve yargı, bir faaliyeti diğerlerine kuvvetli bir şekilde tercih ettiriyor
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görünüyor
9	Kesin önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip
2, 4, 6, 8	Ortalama (ara) değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerler

Çizelge 3.1’deki 2, 4, 6, 8 gibi değerler ara değerlerdir. Örneğin karar verici karşılaştırma yaparken 3 ve 5 değerleri arasında kararsız kalırsa 4 değerini kullanabilmektedir. Saaty, karşılaştırılan öğelerin değerleri birbirine çok yakınsa ve ayırım yapılamıyorsa 1,1 – 1,9 arasındaki ondalık değerlerin de kullanılabileceğini ancak bu hassaslıkta bir algılama yapabilmenin oldukça zor olacağını belirtmektedir [50].

AHP’nin sağlıklı sonuç vermesi için, Çizelge 3.1’de verilen önem değerlerinin, karar verici tarafından iyi anlaşılması ve yapılacak ikili karşılaştırmalarda doğru biçimde kullanılması gerekmektedir [51].

Karar vericiler ölçekteki ifadelerden, karşılaştırma yapılan ikili hakkında fikirlerini yansıtanını seçer ve hesaplamada bu ifadenin karşılığı olan sayısal değeri kullanır.

Adım 3. İkili Karşılaştırma Matrisi

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra her bir kriter temelinde alternatiflerin karşılaştırılması ve kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılması için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur [52].

Diğer bir ifade ile hiyerarşideki elemanlar bir üst kademedeki elemana göre göreceli önemlerinin belirlenmesi için ikili olarak karşılaştırılır.

İkili karşılaştırma karar almada grup veya bireyin önceliklerini dikkate alıp nicel ve nitel değişkenleri bir arada değerlendiren AHP, oluşturulan hiyerarşideki elemanları ikiye ikiye ele alıp onları bir kritere göre karşılaştırmak ve bu işlemi yaparken diğer kriterleri işleme katmadan tüm elemanlar hakkında ayrı ayrı yargı sahibi olunmasını sağlayan bir tekniktir [41].

İkili karşılaştırma matrislerinde satır ve sütunları, karşılaştırılan kriter ya da alternatifler meydana getirir ve matrisin her elemanı satırdaki elemanın sütundaki elemanla karşılaştırılmasından elde edilen orandır.

İkili karşılaştırmaları elde etmek için iki farklı ölçek kullanılır. Bunlardan biri göreceli ölçümlerdir. Çizelge 3.1’de verilen ölçekten faydalanılarak karar vericinin yargılarını içerir veya kişiden kişiye göre değişebilir. Diğer ise mutlak ölçektir. Mutlak ölçekte standart bir ölçekle ölçülmüş mutlak değerler kullanılır.

Göreceli ölçeklerde yüz yüze anket yapılması veya konusunda uzman kişilerden yardım alınarak değerlendirmelerin yapılması, değerlendirmenin kişisel yargılardan uzak yapılmasına yardımcı olacaktır.

İkili karşılaştırmalar sonucu oluşturulan karşılaştırma matrisinde, söz konusu kriter açısından, satırlar sütunlarla karşılaştırılarak hangisinin daha önemli olduğuna dair

cevap aranmaktadır. Temel ölçeğe göre elemanlara verilen ağırlıklar veya önem dereceleri olan w_i ve w_j büyüklerinin sırasıyla oranlanması sonucu A ikili karşılaştırma matrisi elde edilir.

İkili kare matrisi $n \times n$ boyutlu bir kare matristir ve matris köşegeni üzerinde ($i=j$ olduğunda) faktörler kendileri ile karşılaştırıldığından matris bileşenleri 1 değerini alır.

Matematiksel olarak ikili karşılaştırma matrislerinde olan ilişki aşağıdaki gibidir;

$$w_i/w_j = a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

(w_i : i. alternatifin ağırlığı, w_j : j. alternatifin ağırlığı)

A ikili karşılaştırma matrisi ise aşağıdaki gibi gösterilir;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & . & a_{ij} & . & a_{mn} \\ . & 1 & . & . & . \\ 1/a_{ij} & . & 1 & . & . \\ . & . & . & \ddots & . \\ 1/a_{mn} & . & . & . & 1 \end{bmatrix}$$

Karşılaştırmalar karşılaştırma matrisinin tüm değerleri 1 olan köşegenin üzerinde kalan değerler için yapılır. Bu durumda n elemanlı bir matriste $n(n-1)/2$ adet karşılaştırma yapmak gerekir.

Matriste bulunan a_{ij} oranı, i. faktörün j. faktöre göre kaç kat önemli olduğunu göstermektedir [53].

Adım 4. Öncelik Vektörlerinin Oluşturulması

Karşılaştırma matrisleri hiyerarşideki öğelerin birbirlerine göre önem seviyelerini belirli bir mantık içerisinde göstermesine rağmen bu öğelerin bütün içerisindeki

ağırlıklarını diğer bir deyişle yüzde önem dağılımlarını belirleyebilmek için bu aşamanın uygulanması gereklidir.

Bu adımda, öncelik veya ağırlık vektörlerinin hesaplanması için öncelikle ilişki matrisleri normalleştirilir. Normalleştirilmiş matris, her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir. Daha sonra normalleştirilmiş matrisin satır değerlerinin ortalamasının alınması ile her bir kriter, alt kriter ve alternatifin ağırlıkları veya öncelik vektörü elde edilir [41].

Öncelik vektörü karar vermede, ikili karşılaştırma matrislerinden önceliklerin elde edilmesinde kullanılan önemli bir kavramdır. Her bir kriter için bir alt seviyesini oluşturan alternatiflerin ikili karşılaştırmalar matrisinden ilgili kriterin özvektörü (öncelik vektörü) elde edilir. Bu öncelik vektörleri, bir üst seviyede yer alan kriterlerin ağırlık vektörleri ile çarpılarak en üst seviyede olan amaç için genel öncelik vektörü bulunur [54].

Matematiksel olarak;

$a_{ij} = w_i/w_j$ değerlerinden oluşan $n \times n$ boyutlu bir A matrisi;

a_{ij} ve $a_{ji} > 0$

$a_{ij} = 1/a_{ji}$ ($a_{ij} \neq 0$)

$\text{rank}(A) = 1$ ve

$a_{ij} = 1$ ($i = j$ olduğu durumlarda)

özelliklerine sahiptir.

İkili karşılaştırmalar matrisinin köşegen değerleri 1'e eşittir. Matrisin köşegeninde kriterler veya alternatifler kendisiyle karşılaştırıldığı için göreceli önem değerleri 1 olur.

AHP yönteminde W öncelik vektörü aşağıdaki eşitliğin çözümü ile bulunmaktadır [55].

$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$ ile ifade edilen öncelik vektörünü elde etmek için;

$$Aw = \lambda w \text{ veya } Aw = nw$$

eşitlikleri kullanılır. Bu eşitlikten bulunan λ 'lar A matrisinin özdeğerler ve w vektörleri de bu λ 'ya karşılık gelen özvektörlerdir.

İkili karşılaştırma matrisi veya yargı matrisi eğer tam tutarlı ise aşağıdaki eşitliği sağlar:

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik}, \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n$$

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = \left(\frac{w_i}{w_j} \right) \cdot \left(\frac{w_j}{w_k} \right) = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik} \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n$$

Eğer ikili karşılaştırma matrisi tam tutarlı ise öncelik veya ağırlık vektörlerini elde etmek oldukça kolaylaşmaktadır.

AHP'de yapılan hesaplamalarda sadece özdeğerlerin en büyük değerlerini ($\lambda_{\max}$ 'ı) içeren vektör, özvektör olarak alınır.

Eğer ikili karşılaştırmalar matrisi yerine alternatiflerin kritere göre nicel performans değerleri kullanılacaksa, özvektörü hesaplamak için söz konusu performans değerlerinden oluşan vektörü normalize etmek gerekir. Böylece hedefi başarmak için öğelerin öncelikleri diğer bir deyişle her bir kriterin amaca göre göreceli önem dereceleri ve her bir karar alternatifinin ilgili kritere göre göreceli önem dereceleri belirlenmiş olmaktadır.

Adım 5. Tutarlılık Oranının Hesaplanması

AHP yönteminde ikili karşılaştırma matrislerindeki öğelerin göreceli önemleri belirlendikten sonra sıra karar vericinin hiyerarşideki öğeleri ikili olarak karşılaştırırken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için her bir ikili karşılaştırma matrisindeki yargıların Tutarlılık Oranı'nın hesaplanmasına gelir [24]. Tutarlılık, ikili karşılaştırmalar sonucunda oluşan değerlerin yani önceliklerin birbirleri ile olan mantıksal ve/veya matematiksel ilişkisidir [54].

Bu aşamanın uygulanmasındaki amaç alınacak nihai kararın kalitesini, doğruluğunu, geçerliliğini ve güvenilirliğini araştırmaktır. AHP'nin bu aşaması karar vericilerin ikili karşılaştırmalardaki yanlış değerlendirmelerini tespit edebilmesini, dikkatsizce yapılan hataların azaltılabilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda karar vericilerin karşılaştırmalarındaki hatalarını ya da yaptığı abartılı değerlendirmelerini görmelerine olanak sağlar [24].

A matrisinin tutarlı olması için gerek ve yeter koşul A'nın en büyük özdeğerinin n'ye eşit olmasıdır. A'nın yapısındaki tutarsızlık ne kadar fazla olursa λ_{max} n'den o kadar uzaklaşır, fakat her zaman $\lambda_{max} \geq n$ 'dir [56].

Tutarlılık indeksi, tutarlılık kavramının sayısal ifadesi olup, ikili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından geliştirilmiştir [57]. Aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Burada;

λ_{max} : en büyük özdeğer

n : karşılaştırılan öğe sayısı

TI : Tutarlılık indeksi

ifade etmektedir.

Saaty ve arkadaşları bir tutarlılık oranı hesaplayabilmek için bir Rastgele indeks ($R\bar{I}$) serisi oluşturmuşlardır [58]. Çizelge 3.2’de rastgele indeks değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Rastgele indeks değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R\bar{I}$	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Çizelge 3.2’den de görüldüğü gibi rastgele indeks değerleri en fazla 15 elemanlı karşılaştırma matrisleri için kullanılabilmektedir. İkili karşılaştırmalar matrisi $n \leq 2$ boyutunda tamamen tutarlı olduğu için rastgele indeks değeri “0” olur.

Tutarlılık oranı, eldeki tutarlılık indeksinin aynı boyuttaki matrise karşılık gelen rastgele indekse oranlanmasıyla elde edilir [57].

$$TO = \frac{T\bar{I}}{R\bar{I}}$$

Burada;

TO : Tutarlılık Oranı

$T\bar{I}$: Tutarlılık indeksi

$R\bar{I}$: Rastgele indeksi

ifade etmektedir.

Tutarlılık oranının 0,10 den küçük olması matrisin tutarlı yani karar vericilerin yargılarının tutarlı olduğunu gösterir [59]. Tutarlılık oranı 0,10’un üzerinde ise yargıların ya da karşılaştırma matrisinin tutarsız olduğu kabul edilir ve yargıların tekrar gözden geçirilerek karşılaştırma matrislerinin düzenlenmesi ve yargıların kalitesinin iyileştirilmesi gerekir.

Tutarlılık oranı; nihai karar için önemli bir kavramdır. Tutarlılık oranı, yapılan hataların azaltılabildiğini sağlar, bunun yanında karar vericilerin bir ya da daha fazla sayıdaki karşılaştırmasındaki hatalarını ya da yaptığı abartmalı değerlendirmeleri de ortaya çıkarır.

Adım 6. Sıralamanın Belirlenmesi

AHP’de sıralamanın belirlenmesi ikili karşılaştırma matrislerinden elde edilen önceliklerin birleştirilmesi sonucunda alternatiflerin ağırlıkları elde edilir. Alternatiflerin her bir kriterden aldığı göreceli öncelik puanıyla o kriterin göreceli öncelik değerleri çarpılarak toplanır. Elde edilen sonuçlar ile alternatifler sıralanarak en iyi alternatif belirlenir.

Adım 7. Duyarlılık Analizi

Alternatiflerin sıralamaları oluşturulduktan sonra kurulan modelin sonuçlarını gözden geçirmek gerekmektedir. Bu amaçla AHP’nin bu aşamasında, alternatiflerin sıralamasının ve nihai kararın, yargılardaki değişikliklere karşı ne kadar duyarlı olduğu değerlendirilir. İkili karşılaştırmaların oluşturulmasında yargıların kişiden kişiye göre değişebileceği veya daha önce belirli bir yargıda bulunan kişinin zamanla düşüncelerinin değişebileceği göz önüne alınmaktadır [41].

Duyarlılık analizi ile kriterlerin alternatifleri ne ölçüde etkilediği ve değiştirildiği takdirde sonuca nasıl bir etkisinin olacağı ortaya konulmaktadır.

3.1.4. AHP’nin güçlü ve zayıf yönleri

Birçok uygulamaya konu olan AHP yönteminin bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır. Bu zayıf yönler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Herhangi bir alternatif probleme eklendiğinde veya çıkarıldığında sıralama değişebilmektedir. Bu konudaki tartışmalar günümüzde de devam etmektedir.

- Grup halinde karar verme durumunda karşılaştırma işlemi zaman almaktadır.
- Hiyerarşide kademe sayısı arttığında ikili karşılaştırma sayısı da artmaktadır. Bu da modeli kurmak için zaman ihtiyacını doğurmaktadır.
- AHP’de doğru ve kabul edilebilir bir karşılaştırma yapabilmek için tam bilgiye ihtiyaç vardır. Bu nedenle tam bilgi sağlandığı takdirde optimum sonuca ulaşılabilir.
- Kriterler alternatifler gözetilmeden değerlendirildiğinden sorun olabilmektedir.
- Tek yönlü bir karar hiyerarşisi olduğundan kriterler arasındaki ilişkileri dikkate almaması problemde bir yetersizliğe yol açmaktadır.

AHP’nin üstün yönleri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- AHP uygulaması kolay, karar vericilere yardımcı olan bir karar verme yöntemi sağlar.
- Karmaşık problemleri basitleştiren bir yapısı vardır. Çok kriterli ve birden çok kişili problemleri hiyerarşik olarak yapılandırır.
- Problemin net olarak karar vericiler tarafından anlaşılmasını sağlar.
- Hem objektif, hem subjektif düşüncelerle, hem nitel hem de nicel bilgilerin karar sürecine dahil edilmesine olanak sağlar.
- Kriterlerin sayısal değer ile ifade edilmesinin mümkün olmadığı yerlerde sözel hükümlerin kullanılmasına olanak sağlar.
- Duyarlılık analizi yapılarak kararın esnekliğini analiz eder.
- Karar vericinin yargılarının tutarlılık derecesini ölçmesine olanak sağlar ve tutarsızlık durumunda verilen hükümlerin tekrar ele alınıp düzeltilmesini imkan verir.
- Grup kararlarında kullanımına uygundur.
- Expert Choice yazılım paketi ile hızlı ve doğru bir şekilde karar probleminin gerçekleşmesine olanak sağlar.

3.1.5. AHP'nin kullanıldığı alanlar

Karar problemini en küçük ayrıntıdaki kriterlere kadar ayrıştırabilmesi ve böylece en küçük ayrıntının bile karar üzerindeki etkisini göz önüne alması, AHP'nin yaygın kullanılmasının en önemli nedenlerinden biridir. Ayrıca analizde sağladığı uygulama kolaylıkları, esneklik ve rahat yorumlanabilmesi, AHP'nin geniş uygulama alanına sahip olmasını sağlar.

Günümüzde karar vericilerin AHP'yi kullandıkları alanlar kısaca aşağıda listelenmiştir;

- Müşteri İlişkileri
- Stratejik Planlama
- Talep Değerlendirme
- İşe Alma
- Bütçe Düzenleme
- Kaynak Belirleme
- Kamu Politikaları
- Enerji Projeleri
- Üretim Projeleri
- Yatırım Projeleri
- Proje Seçimleri

Çok geniş bir kullanım alanına sahip olan AHP yöntemi giderek yaygınlaşmakta ve kullanıldığı alanları da geliştirmektedir.

3.2. Analitik Şebeke Prosesi (AŞP)

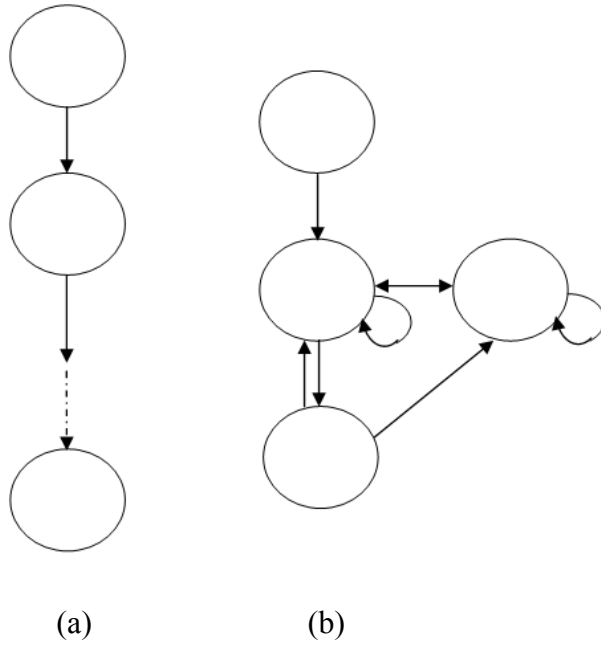
AŞP, Saaty tarafından geliştirilmiş olan bir çok kriterli karar verme yöntemidir. AŞP, karar vericilerin sezgilerini, duygularını, yargılarını ve bellekteki bilgilerini, yani karar sonucuna etkisi olan faktörleri hiyerarşiler şeklinde organize eden bir sorun çözme yapısıdır. Verilen kararların daha gerçekçi olması için karar modellerinin

önemli somut ve soyut, niteliksel ve niceliksel faktörleri de içermesi ve ölçmesi gerekir. Verilen kararın geçerliliği, kullanılan çözüm yöntemine bağlı olduğu kadar oluşturulan yapının ve yapıdaki ilişkilerin zenginliğine ve doğruluğuna da bağlıdır [60]. AŞP karmaşık ilişkileri barındırabilen bir ağ yapısıdır.

AŞP yöntemi de AHP gibi Thomas Saaty tarafından geliştirilmiştir. AŞP alternatifler (şebekeler) arasındaki bağılılığı da dikkate alır. Alternatifler arasındaki etkileşim incelenir [61].

Birçok karar problemi hiyerarşik yapıdan daha karmaşık olabilmektedir. Bu nedenle bütün karar problemlerinin hiyerarşik olarak sınıflandırılması mümkün değildir. Problemlerde kriterler ve alternatifler arasında karmaşık bağımlılıklar, karşılıklı etkileşimler ya da geri bildirimler söz konusu ise hiyerarşik biçimde modelleme yapılmaz. Hiyerarşik düzende olduğu gibi yalnızca ölçütlerin önemlerine göre seçeneklerin önemleri belirlenmez, seçeneklerin önemlerine göre ölçütlerin önemleri de belirlenebilir [21]. Bu türden problemlerin AŞP ile rahatlıkla çözümleri yapılabilmektedir.

AHP günümüzde birçok karar verme problemlerinde kullanılan basit ve uygulaması kolay bir yöntemdir. AHP problemlerinde en üstte hedef, onun altında kriterler ve en alta ise alternatif olacak şekilde modellenme yapılmaktadır. AŞP ise AHP yaklaşımının daha genel bir şekli olan, karar verme ölçütleri ve seçenekleri arasında ve kendi içlerinde geri besleme ve bağımlılığa olanak tanıyan, böylece karmaşık karar çevrelerinin daha doğru bir şekilde modellenmesini sağlayan bir yöntemdir [62]. AHP ile AŞP arasındaki yapısal farklılık Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. AHP ile AŞP arasındaki yapısal fark (a) AHP (b) AŞP

AŞP'nin temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- AŞP, AHP yapısının üzerine kurulmuştur.
- AŞP'de bağımlılık söz konusudur, bu nedenle AHP'nin özel bir durumudur.
- AŞP'de elemanlar kümesi içerisinde olan iç bağımlılık ve kümeler arası dış bağımlılık olabilir.
- AŞP'nin hiyerarşik yapısında hangi kriterin önce hangisinin sonra geldiği ile ilgilenilmez, bu nedenle gösterimi kolaydır.
- AŞP'de doğrusal olmayan bir hiyerarşi yapı söz konusudur.
- AŞP farklı kategorideki ölçütleri değerlendirmek için kontrol ağı veya kontrol hiyerarşisi kullanır [62].

AŞP ile günümüze kadar yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır.

Susuz (2005) çalışmasında optimum tedarikçi seçimi modelinin oluşturulmasında AŞP'den faydalanmıştır [61].

Yuluğkural ve ark. (2005) son yıllarda günlük yaşamın vazgeçilmezlerinden olan cep telefonlarının pazar paylaşımının AŞP yöntemi ile tahminlenmesi üzerine çalışmada bulunmuşlardır. Bu sayede GSM sektöründe hangi bileşenlerin etkili olduğu ortaya çıkartılmıştır [63].

Eraslan (2002) çevre bilinçli imalat sistemlerinin değerlendirilmesinde AŞP'yi kullanmıştır. Yapmış olduğu çalışma sonucunda kritik önemli kararlar konusunda yöneticilere yol gösterebilecek her yeniliği gösteren bir model geliştirilmiştir [64].

Jharkharia ve ark. (2007) belirlemiş oldukları kriterler ile en iyi lojistik servis sağlayıcısının belirlenmesini AŞP yöntemini kullanarak bulmaya çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada lojistik alanında çalışan yöneticilerin karar almalarında etkin, güvenilir ve kolay anlaşılır bir yol geliştirmişlerdir [65].

Wen Wu ve ark. (2007) çalışmalarında başarılı bir bilgi yönetimi uygulamasını gerçekleştirmek için uygun bilgi yönetimi stratejisini seçme problemini bir çok kriterli karar problemi olarak ele almışlardır. Problemlerinde AŞP'yi model olarak kullanmışlar ve firmalara yardımcı olarak model geliştirmişlerdir [66].

Gencer ve ark. (2007), çalışmalarında, tedarikçi seçimini AŞP yöntemi ile bir çok kriterli karar verme problemi olarak ele almışlardır. İncelenen model daha sonra bir elektronik firmasında uygulanmıştır [67].

Tuzkaya ve ark. (2008) İstanbul'da kurulması düşünülen bir tesis için fayda, fırsat, maliyet ve risk kriterleri ve alt kriterleri açısından AŞP tekniğini kullanarak belirlenen dört bölgenin analizini yapmışlardır. Bunun için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden yardım almışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre en uygun mekan seçimi yapılmıştır [68].

Meade ve ark. (1998) alternatif lojistik stratejilerini geliştirerek bunların AŞP ile değerlendirilmesi ve tedarik zinciri yönetimine katkısını araştırmışlardır [69].

3.2.1. AŞP yapılarındaki bağımlılık

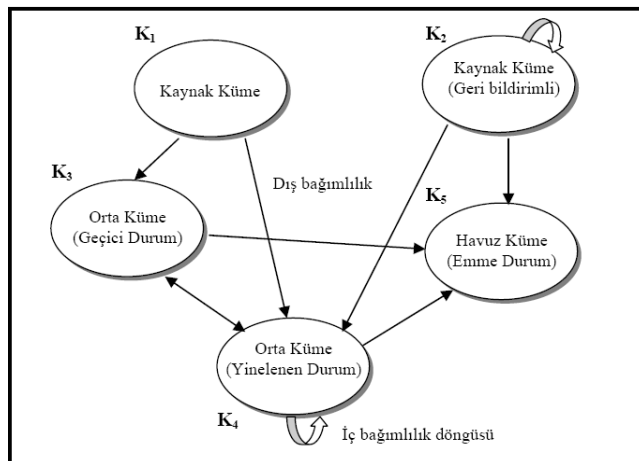
Gerçek hayattaki hemen her problemin bağımlılıkları vardır. Bağımlılıkları göz ardı ederek basit bir yapı ile sorunun ve bileşenlerinin aralarındaki etkileşimi çözüm sürecine dahil etmemek elde edilen sonuçların tatmin edici olmamasına neden olabilir. AŞP’de kullanılan ağ yapısı ise bileşenler aralarındaki bağımlılıklarını da içerdiğinden gerçek hayattaki problemlerin karmaşıklığını da çok daha iyi yansıtmaktadır.

Bir karar problemi AŞP ile çözülecekse bağımlılıklar göz önüne alınmalıdır. Genel olarak iki tür bağımlılık söz konusudur. Bunlar fonksiyonel bağımlılık ve yapısal bağımlılıktır.

Fonksiyonel bağımlılık kümeler arasında veya bir kümenin içinde ortaya çıkabilir. Küme içindeki elemanların birbirleriyle olan bağımlılığı iç bağımlılık, kümeler arasındaki bağımlılık ise dış bağımlılık olarak isimlendirilmektedir.

Yapısal bağımlılık ise kaç elemanın göreceli karşılaştırmalar yoluyla değerlendirildiği ile ilgilidir.

Şekil 3.5’de farklı sayıda ölçütlerden oluşan kümeler (K) arasındaki ilişkiyi gösteren bir ağ yapısı gösterilmiştir [70].



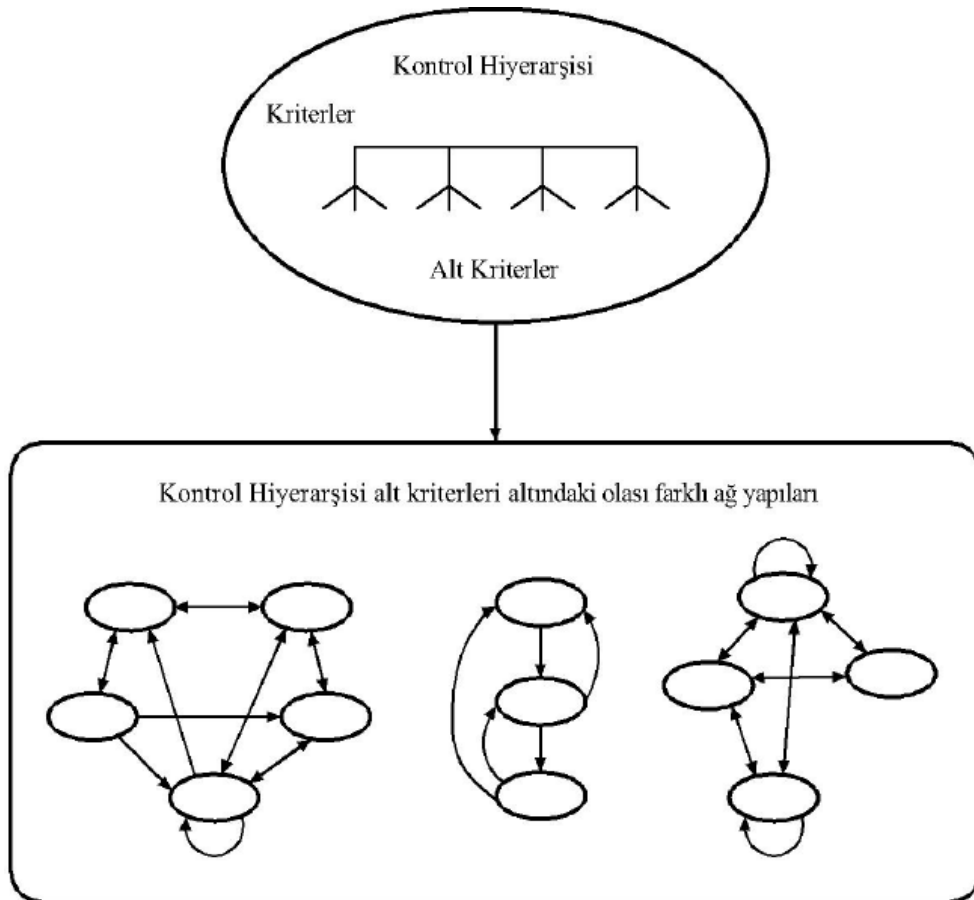
Şekil 3.5. Örnek bir ağ modeli

Şekil 3.5'ye göre, bazı kümelerin elemanları diğer kümelerdeki elemanların bir kısmıyla yada tümüyle etkileşim halinde olabilir. Örneğin K_1 kümesi sadece etkileyen elemanlardan oluşmaktadır. Diğer taraftan K_5 kümesi ise sadece etkilenen elemanlardan oluşmaktadır. K_3 kümesine bakıldığında ise hem etkileyen hemde etkilenen elemanlar olduğu görülmektedir. K_2 ve K_4 kümeleri etkilenmelerin yanında geri bildirim de sahiptirler [71].

3.2.2. Kontrol hiyerarşisi

AŞP'de sorunun yapılandırılması aşamasında kullanılan diğer bir araçta kontrol hiyerarşisidir. Kontrol hiyerarşisi, problemin amacına yönelik olarak ölçütler ve alt ölçütlerden oluşan bir hiyerarşidir.

Kontrol hiyerarşisi Şekil 3.6'de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kontrol hiyerarşisi

Şekil 3.6'ya göre amaç, kriterler ve alt kriterlerden oluşan hiyerarşik bir yapıda olabileceği gibi kriterlerin birbirlerine karşılıklı bağımlılık ve geri besleme ilişkileri içinde olduğu bir ağ yapısı şeklinde de olabilir [70].

3.2.3. AŞP'de problem çözümü

AŞP ile bir problemin çözümü AHP ile hemen hemen benzer aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar kısaca aşağıda belirtilmiştir;

Hiyerarşik yapının oluşturulması

AŞP'de karar problemi hiyerarşi oluşturulduktan sonra başlamaktadır. Hiyerarşilerin birbirleri ile karşılıklı ilişkileri kurgulanmaktadır. Problemin gerçek hayata en uygun şekilde ele alınması için iyi bir şekilde tasarlanmış hiyerarşi olmalıdır.

Önceliklerin belirlenmesi ve ikili karşılaştırma

AŞP problem yapısı oluşturulduktan sonra ikili karşılaştırmalar yapılarak elemanların öncelik değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bir karar probleminde duygu, düşünce, bilgi ve tecrübeleri yansıtan yargıların ortaya çıkarılmasından sonra, bunları sentezleyip bir sonuca varmak, yani ölçme işlemi yapmak için yargılara anlamlı sayıların atanması gerekmektedir [62].

AŞP' de de AHP' de olduğu gibi ikili karşılaştırmalar yapılırken Çizelge 3.1'de verilen göreceli önceliklendirme ölçeğinden faydalanılmaktadır.

Hiyerarşik yapılarda elemanlar bağlı oldukları bir üst seviyedeki bir elemana göre ikili gruplar halinde karşılaştırılırlar. Karşılaştırmaya en üst seviye olan amaç elemanına göre ikinci seviyedeki kriterlerin birbirleriyle ikili olarak karşılaştırılmasıyla başlanır. Sonrasında hiyerarşik yapının üçüncü seviyesindeki elemanlar ikinci seviyedeki elemanlara göre ikili gruplar halinde karşılaştırılır ve bu

süreç en alt seviyede olan seçeneklerin, en altın bir üstündeki seviyedeki elemanlara göre karşılaştırılmalarıyla biter [72].

Süpermatrisin oluşturulması

AŞP’de ağı oluşturan bileşenler arasındaki her türlü etkileşim süpermatris adı verilen bir matrisle gösterilir. Süpermatrisi oluşturarak global önceliklerin elde edilmesi için öncelikle lokal öncelik vektörlerinin süpermatris içerisine yerleştirilmesi gerekir. Eğer bir bileşenin elemanları diğer hiçbir elemanı etkilemiyorsa bu durumda süpermatrisinin ilgili bölümlerine sıfır yazılır.

İkili karşılaştırmalar bir bileşen içerisindeki bütün elemanların bir başka eleman üzerindeki etkisinin nasıl ve ne kadar olduğunu gösterir.

Şekil 3.7’de bir ağ yapısının süpermatrisi görülmektedir. Bu ağ yapısının N adet bileşenden oluştuğu ve elemanların arasında karşılıklı etkileşimin olduğu varsayılmıştır. Bu karar ağının bileşenleri $h=1, \dots, N$ için C_h olarak adlandırılmış ve C_h bileşeninin n_h adet elemandan oluştuğu göz önüne alınmıştır. Bu elemanlarda $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn}$ şeklinde gösterilmiştir. Bu durumda bu AŞP problemi elemanlarının aynı ağdaki diğer elemanlarla etkileşimleri Şekil 3.7’de verilmiş olan süpermatris yapısı ile gösterilmektedir.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} \begin{matrix} e_{11} & e_{12} \dots e_{1n_1} \\ e_{21} & e_{22} \dots e_{2n_2} \\ \vdots & \vdots \end{matrix} & \begin{matrix} e_{21} & e_{22} \dots e_{2n_2} \\ \vdots & \vdots \end{matrix} & \dots & \begin{matrix} e_{N1} & e_{N2} \dots e_{Nn_N} \\ \vdots & \vdots \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{11} & e_{12} \dots e_{1n_1} \\ e_{21} & e_{22} \dots e_{2n_2} \\ \vdots & \vdots \end{matrix} & \begin{matrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{N1} & e_{N2} \dots e_{Nn_N} \\ \vdots & \vdots \end{matrix} & \begin{matrix} W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \end{matrix} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Şekil 3.7. Bir ağ yapısının süpermatrisi

W_{ij} süpermatrisin bir bloğu olarak adlandırılır. Şekil 3.8’de süpermatrisin bir bloğunun yapısı görülmektedir.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \dots & W_{i1}^{(j_{n_j})} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \dots & W_{i2}^{(j_{n_j})} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \dots & W_{in_i}^{(j_{n_j})} \end{bmatrix}$$

Şekil 3.8. Süpermatrisin bir bloğu

Şekil 3.8’e göre, W_{i1} ; i bileşeninin elemanlarının j bileşeninin birinci düğümüne olan etkisini göstermektedir.

Ağırlıklandırılmış süpermatrisin elde edilmesi

Ağırlıklandırılmamış bir süpermatrisin ağırlıklandırılması için süpermatristeki bütün elemanların, içerisinde bulundukları bileşenlerin amaca göre ikili olarak karşılaştırılmasından elde edilen özvektör değeri ile çarpılması gerekmektedir. Bu ise elemanların birbirleri üzerindeki etkilerinin hesaplanması sırasında içerisinde bulundukları bileşenlerin öncelik değerlerinin de hesaba katılması anlamına gelmektedir [72].

Ağırlıklandırılmış süpermatris kavramına bir örnek olarak Şekil 3.9’da gösterilmiştir.

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccccccc}
& B_1 & & B_2 & & B_3 & & & \\
& e_{11} & e_{12} & e_{13} & e_{21} & e_{22} & e_{23} & e_{31} & e_{32} & e_{33}
\end{array} \\
\begin{array}{l}
B_1 \begin{array}{l} e_{11} \\ e_{12} \\ e_{13} \end{array} \\
B_2 \begin{array}{l} e_{21} \\ e_{22} \\ e_{23} \end{array} \\
B_3 \begin{array}{l} e_{31} \\ e_{32} \\ e_{33} \end{array}
\end{array}
\left[\begin{array}{ccccccccc}
0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,1 & 0,3 & 0,1 & 0,6 & 0,1 \\
0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,5 & 0,3 & 0,5 & 0,2 & 0,4 \\
0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,2 & 0,5 \\
0,3 & 0,1 & 0,2 & 0 & 0,7 & 0,6 & 0 & 0 & 0 \\
0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,5 & 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\
0,3 & 0,5 & 0,4 & 0,5 & 0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0,2 & 0,6 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0,2 & 0,6 & 0,8 \\
0,4 & 0,3 & 0,2 & 0 & 1 & 0 & 0,4 & 0,3 & 0,1 \\
0,3 & 0,1 & 0,3 & 0 & 0 & 1 & 0,3 & 0,1 & 0,1
\end{array} \right]
\end{array}$$

Şekil 3.9. Bir ağ yapısının ağırlıklandırılmamış süpermatrisi

Şekil 3.9'a göre süpermatrisin üç bileşen ve her bir bileşeninde üç elemandan oluştuğunu farzedelim.

Ağ yapısındaki bileşenlerin (B_1 , B_2 , B_3) amaç bileşenine göre ikili olarak karşılaştırılması sonucu elde edilen özvektör aşağıdaki gibi olsun:

$$\lambda = \begin{bmatrix} 0,1 \\ 0,3 \\ 0,6 \end{bmatrix}$$

Bu durumda ağırlıklandırılmış süpermatris Şekil 3.10'daki gibi hesaplanır.

$$= \left[\begin{array}{ccccccccc}
0,1 \times 0 & 0,1 \times 0 & 0,1 \times 0 & 0,1 \times 0,6 & 0,1 \times 0,1 & 0,1 \times 0,3 & 0,1 \times 0,1 & 0,1 \times 0,6 & 0,1 \times 0,1 \\
0,1 \times 0 & 0,1 \times 0 & 0,1 \times 0 & 0,1 \times 0,2 & 0,1 \times 0,5 & 0,1 \times 0,3 & 0,1 \times 0,5 & 0,1 \times 0,2 & 0,1 \times 0,4 \\
0,1 \times 0 & 0,1 \times 0 & 0,1 \times 0 & 0,1 \times 0,2 & 0,1 \times 0,4 & 0,1 \times 0,4 & 0,1 \times 0,4 & 0,1 \times 0,2 & 0,1 \times 0,5 \\
0,3 \times 0,3 & 0,3 \times 0,1 & 0,3 \times 0,2 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0,7 & 0,3 \times 0,6 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 \\
0,3 \times 0,4 & 0,3 \times 0,4 & 0,3 \times 0,4 & 0,3 \times 0,5 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0,4 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 \\
0,3 \times 0,3 & 0,3 \times 0,5 & 0,3 \times 0,4 & 0,3 \times 0,5 & 0,3 \times 0,3 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 & 0,3 \times 0 \\
0,6 \times 0,2 & 0,6 \times 0,6 & 0,6 \times 0,5 & 0,6 \times 1 & 0,6 \times 0 & 0,6 \times 0 & 0,6 \times 0,2 & 0,6 \times 0,6 & 0,6 \times 0,8 \\
0,6 \times 0,4 & 0,6 \times 0,3 & 0,6 \times 0,2 & 0,6 \times 0 & 0,6 \times 1 & 0,6 \times 0 & 0,6 \times 0,4 & 0,6 \times 0,3 & 0,6 \times 0,1 \\
0,6 \times 0,3 & 0,6 \times 0,1 & 0,6 \times 0,3 & 0,6 \times 0 & 0,6 \times 0 & 0,6 \times 1 & 0,6 \times 0,3 & 0,6 \times 0,1 & 0,6 \times 0,1
\end{array} \right]$$

Şekil 3.10. Bir ağ yapısının süpermatrisine bileşen ağırlıklarının entegre edilmesi

Şekil 3.11’de ağırlıklandırılmış süpermatrisin son hali verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0,06 & 0,01 & 0,03 & 0,01 & 0,06 & 0,01 \\ 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0,05 & 0,03 & 0,05 & 0,02 & 0,04 \\ 0 & 0 & 0 & 0,02 & 0,04 & 0,04 & 0,04 & 0,02 & 0,05 \\ 0,09 & 0,03 & 0,06 & 0 & 0,21 & 0,18 & 0 & 0 & 0 \\ 0,12 & 0,12 & 0,12 & 0,15 & 0 & 0,12 & 0 & 0 & 0 \\ 0,09 & 0,15 & 0,12 & 0,15 & 0,09 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,12 & 0,36 & 0,3 & 0,6 & 0 & 0 & 0,12 & 0,36 & 0,48 \\ 0,24 & 0,18 & 0,12 & 0 & 0,6 & 0 & 0,24 & 0,18 & 0,06 \\ 0,18 & 0,06 & 0,18 & 0 & 0 & 0,6 & 0,18 & 0,06 & 0,06 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.11. Bir ağ yapısının süpermatrisine bileşen ağırlıklarının entegre edilmiş hali

Şekil 3.11’de verilen süpermatriste bileşenlerinin öncelik değerleri hesaba katılmıştır. Ancak ağırlıklandırılmış süpermatrisin bulunması için matrisin bütün sütunları için aynı sütunda bulunan girdilerin değerleri toplamının 1’e eşit olması gerekmektedir. Bunun sağlanması içinde sütunların normalize edilmesi gerekir.

Şekil 3.12.’de normalize edilmiş ağırlıklandırılmış süpermatris verilmiştir.

$$= \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,06 & 0,01 & 0,03 & 0,02 & 0,09 & 0,01 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,02 & 0,05 & 0,03 & 0,08 & 0,03 & 0,06 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,02 & 0,04 & 0,04 & 0,06 & 0,03 & 0,07 \\ 0,11 & 0,03 & 0,07 & 0,00 & 0,21 & 0,18 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,14 & 0,13 & 0,13 & 0,15 & 0,00 & 0,12 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,11 & 0,17 & 0,13 & 0,15 & 0,09 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,14 & 0,40 & 0,33 & 0,60 & 0,00 & 0,00 & 0,19 & 0,51 & 0,69 \\ 0,29 & 0,20 & 0,13 & 0,00 & 0,60 & 0,00 & 0,38 & 0,26 & 0,09 \\ 0,21 & 0,07 & 0,20 & 0,00 & 0,00 & 0,60 & 0,28 & 0,09 & 0,09 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.12 Bir ağ yapısının ağırlıklandırılmış süpermatrisi

Şekil 3.12’de verilen ağırlıklandırılmış süpermatrisin sütun toplamı 1’e eşit olmaktadır.

Limit süpermatrisin elde edilmesi

Ağı oluşturan elemanların birbirlerine göre olan yerel öncelik değerlerinden bütün ağ için olan global öncelik değerlerinin elde edilebilmesi için limit süpermatris kavramı ortaya konmuştur. Global önceliklerin belirlenmesi için ağırlıklandırılmış süpermatrisin kuvveti alınır. Kuvveti alınan ağırlıklandırılmış süpermatriste aynı satırı oluşturan değerler giderek birbirlerine yakınsamakta ve limit bir değere ulaşmaktadır.

Sıralamanın belirlenmesi

Limit matristeki her bir satırdaki limit değer o satırda bulunan elemanın genel öncelik değerini vermektedir.

Seçim probleminde en yüksek öncelik değerine sahip olan seçenek en uygun seçenek, en yüksek öncelik değerine sahip olan kriter ise karar verme problemini en fazla etkileyen kriter olarak elde edilmiş olur [73].

3.2.4. AŞP’nin kullanıldığı alanlar

Karar verme problemlerini en gerçekçi şekilde yansıtabilen ve bileşenler ile bunların elemanları arasındaki etkileşimleri en iyi şekilde ortaya koymaları açısından bakıldıklarında, AŞP geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır.

Günümüzde AŞP ile yapılan çalışmalar kısaca aşağıda listelenmiştir;

- Tedarikçi Seçimi
- Lojistik
- En İyi Proje Seçimi

- Tedarik Zinciri Performansı
- Kuruluş Yeri Seçimi
- Ekonomi

Çok geniş bir kullanım alanı olan AŞP, Superdecisions programının da kullanılması ile giderek yaygınlaşmakta ve karar vericilere bir destek olanağı sunmaktadır.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI : ENERJİ SANTRALLERİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Enerji Santrallerinin değerlendirilmesi konusunda pek çok çalışma literatürde yer almaktadır.

Akash ve ark. (1999), Ürdün’de faaliyet gösteren enerji santrallerinin AHP ile karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada fosil yakıtlı enerji santralleri ile nükleer, güneş, rüzgar ve hidroelektrik enerji santralleri değerlendirmeye alınmıştır. Elde edilen maliyet/fayda oranlarına göre yenilenebilir enerji santrallerinin en iyi alternatif oldukları belirtilmiştir [74].

Afgan ve ark. (2002), enerji santrallerindeki yeni ve yenilenebilir teknolojilerin potansiyellerini çok kriterli çalışma yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Bu çalışmada enerji kaynağı, kapasite, sosyal ve ekonomik göstergeler dikkate alınmıştır [75].

Chaaban ve ark. (2004), enerji santrallerinin yaymış oldukları emisyonlardaki azalmanın ekonomik etkilerini değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda üç alternatifin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi ile ekonomik bir model ortaya konmuştur. Bu modele emisyonların neden olduğu çevresel zararlar ve belirsizliklerin neden olduğu farklı parametreler dahil edilmiştir [76].

Erdoğan ve ark. (2006), Türkiye’deki hanelerin ısıtılması için kullanılan yakıtların AŞP ve Grup Karar Yöntemi ile değerlendirilmesini yapmışlardır. Enerji politikalarının doğasında olan ucuz ve sürekli enerji gereksinimi nedeniyle, bu gereksinimin Türkiye’de sağlanması için gerekli olan koşullar dikkate alınmıştır [77].

Afgan ve ark. (2006), doğalgaz kaynaklarının değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme tekniklerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, kaynak, ekonomi ve sosyal göstergelere öncelik verilmiş, Doğalgazlı Kombine Çevrim Santralleri en iyi alternatif olduğu vurgulanmıştır [78].

Garg ve ark. (2007), bilgisayar tabanlı bir hesaplama tekniği ile çok kriterli karar verme yöntemlerinden TOPSIS'i kullanarak en iyi termik enerji santrali alternatifini bulmaya çalışmıştır. Bu çalışma sırasında karar vericilere önceliklerin belirlenmesinde yardımcı olması için bir bilgisayar yazılım paketi geliştirilmiştir [79].

Chatzimouratidis ve ark. (2007), enerji santrallerinin radyoaktif olmayan emisyonları için öznel ve nesnel değerlendirmesini AHP kullanarak yapmışlardır. Beş ana emisyon değeri kriter olarak baz alınmıştır. Buna göre nükleer, hidroelektrik, jeotermal ve rüzgar enerji santralleri en iyi seçim olarak bulunmuştur [80].

Shina ve ark. (2007), Korede ulusal nükleer Ar-Ge projelerinin AHP yöntemi ile değerlendirilmesini ele almışlardır. Bu çalışma esnasında değerlendirme bakış açıları, araştırma uzmanlarından kriterlere kadar birçok etken göz önünde bulundurularak tamamlanmıştır [81].

Köne ve ark. (2007), Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma açısından elektrik üretmek için en iyi yakıt karışımını belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında AŞP kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda başarılı ve sürdürülebilir gelişme için yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının artırılması gerekliliğine vurgu yapmışlardır [82].

Alenne ve ark. (2007), hem finansal hem de çevre sorunlarını içeren çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanmış ve konut enerji arz sistemi seçimi konusunda çalışmışlardır. Mikro-kojenerasyon ısıtma sisemi ile geleneksel ısıtma sisteminin karşılaştırıldığı bu çalışmanın sonucunda mikro-kojenerasyon alternatifinin çevresel faktörlerin daha ağırlıklı olması dolayısıyla tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır [83].

Önüt ve ark. (2008), Türk imalat sanayiinin mevcut enerji kaynaklarını çok kriterli değerlendirme yöntemlerinden biri olan AŞP ile ele almışlardır. Çalışmalarında tarım, nakliye, toplu konut ve endüstri alanlarının enerji tüketimlerini göz önüne alarak

bunlardan en çok enerji tüketimini yapan sektörün endüstri olduğunu bulmuşlardır. Yapılan çalışma sonucunda endüstri sektörü için en iyi enerji alternatifinin fosil yakıtlar olduğu sonucuna varmışlardır [84].

Athanasios ve ark. (2008), on çeşit enerji santralinin yaşam standardına etkisinin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında AHP metodunu kullanmışlar, enerji santrallerinin hem pozitif hem de negatif etkilerini göz önüne almışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının insanların yaşamlarını daha az olumsuz yönde etkilediği sonucuna varmışlardır [85].

Athanasios ve ark. (2009), enerji santrallerini teknoloji, ekonomi ve sürdürülebilirlik kriterleri açısından ele almış ve AHP ile değerlendirmesini yapmışlardır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlı enerji santrallerine göre daha iyi bir sonuca sahip oldukları görülmüştür [86].

Kowalsk ve ark. (2009), sürdürülebilir enerji için enerji santrallerinin yaymış oldukları çeşitli gaz emisyonlarını çok kriterli karar verme tekniğini kullanarak ekonomik açıdan en uygun seçeneğin belirlenmesi üzerinde çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuca göre doğalgaz en iyi yakıt olarak ortaya konmuştur [87].

Pilavachi ve ark. (2009), doğalgaz veya hidrojeni yakıt olarak kullanan dokuz tip enerji santralini, yedi kriter altında AHP yöntemini kullanarak çok kriterli değerlendirilmesini yapmışlardır. Yapılan çalışmada, doğalgazlı kombine çevrim santralinin daha iyi bir alternatif olduğu ortaya konmuştur [88].

Kahraman ve ark. (2009), Türkiye’de bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının içinden en iyi alternatifi seçerken bulanık AHP yöntemi kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda en iyi yenilenebilir enerji alternatifi rüzgar enerji santrali olarak bulunmuştur [89].

Liu ve ark. (2010), Tayvanda artan elektrik talebini esas alarak termik enerji santrallerinin 2004-2006 yılları arasındaki etkinliklerini değerlendirmişlerdir. Elde

ettikleri sonuca göre kombine çevrimli enerji santrallerinin en etkin santral olduğu ortaya konmuştur [90].

Yapılan çalışmada, çok kriterli karar verme tekniklerinden AHP ve AŞP yöntemi kullanılarak, Türkiye’de en çok enerji üretimi yapılan altı farklı enerji santralinden hangisinin kurulması gerektiği üzerinde durulmuştur.

5. UYGULAMA: ENERJİ SANTRALİ SEÇİMİ PROBLEMİ

Toplumların kalkınmalarındaki en önemli parametrelerden biri de enerjidir. Enerjinin ucuz, temiz ve güvenli bir şekilde temin edilmesi de tüm ülkelerin konusudur. Her ülke enerjisiz kalmamak ve kesintisiz enerjiye sahip olmak için ticari, politik ve askeri çabalar göstermektedir.

Bunun yanı sıra enerji kaynakları kıt olan ülkeler hangi enerji kaynaklarına hangi oranda öncelik vermeleri gerektiği üzerinde politika üretmektedirler.

Günümüzde, pek çok ülkede sürdürülebilir kalkınmayı sürdürülebilir enerji yolu ile elde etmeye yönelik ulusal programlar tatbik edilmesi ve belirlenmiş sürdürülebilir hedeflere ulaşmak için stratejiler geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Enerji konusunun giderek globalleşmesi, değişen piyasa şartları ile izlenen liberal ekonomik modeller; bir yanda dışa bağımlılığı asgari seviyelere çekecek, öte yandan ise ekonomik canlanmaya en üst düzeyde katkıda bulunacak enerji politikalarının uygulanmasını gerekli hale getirmektedir [91]. Ülkemizin enerji politikaları gereği, enerji üretiminde kullandığımız girdiler de buna göre şekillenmekte ve buna göre enerji santralleri kurulmaktadır. Bu nedenle ülkemizde kullandığımız enerji, çeşitli enerji santrallerinden elde edilmektedir. Bunun yanında ilerleyen yıllarda kurulması düşünülen ancak henüz faaliyete geçilmemiş olan enerji santralleri de bulunmaktadır.

5.1. Problemin Tanımlanması

Uygulamaya konu olacak problem, ülkemizdeki enerji santrallerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesidir. Buna bağlı olarak ortaya konulacak çalışma enerji santraline yapılacak yatırımın ülkemizde enerji arz ve güvenliğini sağlamada büyük fayda sağlayacaktır. Ayrıca bugüne kadar enerji santrallerinin yatırımında baz alınan kriterler de ortaya konmaya çalışılmıştır.

Problemi en uygun şekilde çözümleyebilmek için bilgi toplama aşamasında mevcut enerji santrallerinden bazıları ziyaret edilerek, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

ve bu sektörde çalışan özel firmalar ile yüz yüze, telefonla ve internet aracılığı ile teknik özellikler ve değerlendirme kriterlerine ilişkin bilgiler alınmıştır. Böylece ülkemiz için daha uygun bir enerji santrali yatırımının yapılmasına ışık tutacak çalışma oluşturulmuştur. Aynı zamanda görüşülen kişilerden daha iyi çözüm önerilerinin olup olmadığı sorularak sektör tecrübesinden faydalanılmıştır. Bu görüşler, alternatifler ve karar hiyerarşisinin oluşturulması esnasında da dikkate alınmıştır.

Araştırma süreci ilk olarak Türkiye’de faaliyette olan ve enerji üreten enerji santrallerinin belirlenmesi ile başlamıştır. Bunun için enerji santralleri hakkındaki tüm bilgiler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda ortaya konmuştur. Enerji santralleri ve ürettikleri enerji miktarları göz önüne alındığında bazı santral çeşitlerindeki elektrik üretiminin kayda değer olmadığı görülmüş bu nedenle bu santraller değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Bu karar problemi ülkemiz enerji yatırımlarına ışık tutacak bir karar problemi olduğundan, bundan sonraki süreçte dikkate alınması gereken kriterler titizlikle seçilmiştir. Geçmiş yıllarda bu konu üzerinde yapılan araştırmalar incelenmiş, bazı kriter değerleri bu çalışmalardan elde edilmiştir.

Ülkemizdeki istatistiksel çalışmaların yetersiz olması ve ancak son yıllarda bu çalışmalara ağırlık verilmesi nedeniyle, uzun yıllardan beri çalışmaları bulunan Uluslararası Enerji Kurumu (International Energy Agency, IEA) ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (International Atomic Energy Agency, IAEA) istatistiki değerleri dikkate alınmıştır.

5.2. Uygulamanın Amacı

Türkiye’nin de içinde bulunduğu enerji arz ve güvenliğinin sağlanması açısından ülkemizde faal halde bulunan ve önümüzdeki yıllarda kurulması düşünülen enerji santralleri ile ilgili gelecek dönem yatırımlarının planlanması konusunda, günümüzde geçerli ve kullanışlı bir yöntem olan AHP ve AŞP ile karar verilmesi ve ülkemiz için

çok kriterli bir karar destek sisteminin geliştirilmesi uygulamanın amaçları olarak belirlenmiştir.

Yapılan uygulama ile “Hangi enerji santraline yatırım yapılmalı?” sorusuna cevap aranmaktadır. Ayrıca seçilen en iyi alternatif enerji santralinin ülkemiz koşullarına uygun olması ve daha sonra karşılaşılabilecek bu tür problemlerin çözümünde de bu yöntemin kullanımının yaygınlaştırılması uygulamanın amaçları arasındadır.

5.3. Uygulamanın Sınırları

Yapılan çalışma Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde bulunan enerji santralleri ile bu sınırlar dahilinde yakın gelecekte kurulması düşünülen enerji santralleri baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma ve uygulama sürecinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın yayınladığı, halen faal durumda olan termik, jeotermal, hidroelektrik ve doğalgaz enerji santralleri ile yeni kurulmuş olan rüzgar enerji santrallerinin değerlerinden faydalanılmıştır. Bu karar probleminin çözümünde sadece AHP ve AŞP yönteminin kullanılması ile uygulama sınırlandırılmıştır.

5.4. Uygulamanın Yararları

Bu uygulama konusu ülkemiz enerji yatırımları için bir yatırım kararı olarak ele alınabilir. Çünkü alınacak karar ne olursa olsun bu kararın uygulanabilmesi için bir bütçe ayrılması ve kararın ülkemiz için uygulanabilirliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle bu uygulamadan beklenen yarar, karar probleminin geçerli ve bilimsel bir yöntemle çözülerek ülkemiz enerji yatırımlarının planlanmasına katkıda bulunmaktır. Ayrıca günlük ve iş hayatında karşılaşılan pek çok karar probleminin çözümünde AHP ve AŞP kullanılabileceğinden, bu uygulamanın ülkemizin diğer yatırımları için de bir örnek teşkil etmesi ve bu yöntemin kullanımının yaygınlaştırılması beklenmektedir.

5.5. Uygulamanın Yöntemi

Bu uygulamada karar probleminin çözümü, daha önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde açıklanan AHP ve AŞP yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. AHP yöntemi ile gerçekleştirilmiş olan çalışmanın uygulama aşamasında, Expert Choice programından yararlanılmıştır. AŞP yöntemi ile gerçekleştirilmiş olan çalışmanın uygulama aşamasında ise Superdecisions programından yararlanılmıştır.

5.5.1. Expert-Choice programı

Expert Choice programının 1983 yılından itibaren dünyada, yönetim ve iş karar süreçlerinde kullanımı hızla artmıştır. Expert Choice'in çözümü AHP üzerine kurulmuştur. George Washington Üniversitesi'nin yönetim bilimi Profesörü Dr. Ernest Forman 1980'lerin başında AHP'yi bilgisayar yardımı ile uygulayabilmek için bu programı geliştirmiştir. Expert Choice programı IBM'in işletme kararlarından, ABD Genelkurmay Başkanlığı'nın askeri güçleri yönlendirmesine kadar birçok kritik kararların alınmasında liderlere kılavuzluk eder.

Expert Choice 1980'lerde Xerox ve Rockwell şirketlerinin önemli kararlarının verilmesinde kılavuzluk ederek ticari piyasada ismini duyurmuştur. Expert Choice, 1990'lı yıllarda ABD'nin Sosyal Güvenlik Yönetimi, Savunma Bakanlığı gibi stratejik planlama kurumlarında kaynak seçimi ve aktarımında kullanılarak yayılmıştır. Şuanda ABD hükümeti yıllık 120 milyar dolarlık kaynak aktarımında Expert Choice'i kullanmaktadır. Ayrıca, dünyanın en büyük 500 şirketinden 100'den fazlasına hizmet etmektedir. Bu program, dünya çapında 100 üniversitede öğretilmekte ve 60 dan fazla ülkede kullanılmaktadır.

AHP tabanlı olarak çalışan bu program kullanıcılarına, yapısal bir yaklaşımla ve önceliklendirme esasına dayanan bir süreç sunmaktadır. Bu program karar vericilere sadece en iyi karara ulaşmakta yardım etmez, bunun yanında bu karar için mantıksal bir gerekçeyi karar vericiye sunar.

Zaman kazanmak ve en iyi kararı vermek isteyen karar vericiye Expert Choice programı aşağıdaki imkanları sunmaktadır:

- Yapısal, tekrarlanabilir ve mantıklı bir karar verme yaklaşımı,
- Kuruluş hedeflerinin kararlar ile sıralanması,
- Kuruluşun uzmanlaşması,
- Aşağıdan yukarıya, yukarıdan aşağıya kurum iletişiminin artması,
- Görüş birliğinin oluşması.

5.5.2. Superdecisions programı

Superdecisions programı Saaty tarafından geliştirilmiş olan AŞP'nin uygulanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda gerçek hayattaki problemlerin de çözümüne yardımcı olmaktadır. Superdecisions programı AHP yöntemini geliştirmekte ve tek yönlü bir hiyerarşi modeli yerine daha esnek ağlar kurarak birbirleri arasında daha sıkı bir ilişki kurulmasını sağlamaktadır.

5.6. Alternatiflerin Belirlenmesi

AHP ve AŞP yönteminin uygulamasındaki ilk aşama, karar probleminin ayrıntılı şekilde tanımlanmasıdır. Bundan sonraki aşama ise, karar hiyerarşisinin kurulmasıdır. Karar probleminin tanımlanmasından hareketle hiyerarşinin oluşturulabilmesi için karar kriterlerinin ve karar alternatiflerinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha önce yapılmış olan çalışmalar ve enerji piyasasında yapılan araştırmalar sonucunda karar alternatifleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

1. Kömür/Linyit Enerji Santralleri
2. Doğalgaz Çevrimli Enerji Santralleri
3. Hidroelektrik Santraller
4. Jeotermal Enerji Santralleri
5. Rüzgar Enerji Santralleri
6. Nükleer Enerji Santralleri

Uygulama probleminin çözümüne yönelik olarak bilgi toplama aşamasında, biyogaz enerji santralleri ve fotovoltaik enerji santrallerinin ülkemizdeki durumları da araştırılmıştır. Ancak bu enerji santrallerinin enerji üretimlerinin kısıtlı olması ve mevzuatlarının henüz çıkmamış olması nedeniyle problemin çözüm sürecine dahil edilmemiştir.

5.7. Kriterlerin Belirlenmesi

Türkiye’de faaliyet halinde bulunan ve kurulması düşünülen enerji santralleri arasında en iyi enerji santralini seçebilmek amacı ile çeşitli ana kriterler ve bunların alt kriterleri belirlenmiştir. Bu ana kriterler;

1. Teknoloji ve Sürdürülebilirlik
2. Ekonomi
3. Yaşam Kalitesi
4. Sosyo-Ekonomik Etkiler

5.7.1. Teknoloji ve sürdürülebilirlik

Teknoloji ve sürdürülebilirlik kriterleri bu çalışmada birlikte gruplandırılmıştır. Çünkü teknik olarak daha iyi bir enerji santralinin ancak sürdürülebilirlik ile, bununda daha iyi bir teknoloji ile mümkün olacağı öngörülmektedir. Teknoloji ve Sürdürülebilirlik kriteri enerji santrallerini performansları açısından karşılaştırmaktadır. Buna göre bu değer hangi enerji santralinde daha yüksek ise o enerji santralinin daha iyi bir performansa sahip olduğu anlaşılmaktadır. Teknoloji ve Sürdürülebilirlik kriteri dört alt kritere sahiptir.

Etkinlik katsayısı

Etkinlik katsayısı, çıkan enerjinin giren enerjiye oranı olarak ifade edilmektedir. Etkinlik, enerji kaynağından ne kadar kullanılabilir enerji elde edilebileceğini göstermektedir.

%100 etkin enerji makinesi, giren enerjinin tamamını kullanılabilir enerjiye dönüştürebilmektedir. Bunlar hiçbir enerjilerini atmamaktadır. Ancak bir enerjiden diğerine dönüşüm yapılırken her zaman bir miktar enerji kaybedilmektedir. Bu nedenle etkinlik her zaman %100 den daha düşük olmaktadır. %100 etkin enerjili bir makine bulunmamaktadır.

Kaybedilen enerji genellikle ısı şeklinde olmakta ve havaya atılmaktadır. Bu enerji ekonomik olarak kullanılabilir bir enerji değildir. Örneğin; arabalarda kullanılan enerji etkinliği %30'un altındadır. Toplam yakıt enerjisi ısı enerjisine çevrilmekte ve bunun bir kısmı harekete geçiren güç olarak kullanılmaktadır. Geri kalan kısmı ise radyatör veya egzostan dışarı atılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılacak olan altı enerji santrali için ortalama etkinlik katsayısı Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ortalama etkinlik katsayısı [IAEA, 2002]

Enerji Santrali	Etkinlik Katsayısı (%)
Kömür/Linyit	39,4
Doğal Gaz	39,0
Nükleer	33,5
Hidroelektrik	80,0
Rüzgâr	35,0
Jeotermal	6,0

Çizelge 5.1'den görüldüğü üzere hidroelektrik santralleri en yüksek, jeotermal enerji santralleri ise en düşük ortalama etkinlik katsayısı değerine sahiptir.

Elde edilebilirlik

Elde edilebilirlik, enerji santralinin belirli bir zaman dilimi içerisinde üretmiş olduğu elektriğin toplam zaman periyodu içerisinde üretilen elektrik enerjisine oranı olarak tanımlanabilir. Enerji santralleri bazı zamanlarda bakım, arıza veya hava koşulları nedenleri ile (rüzgar enerji santralleri için rüzgar yokluğu gibi) üretim yapamazlar. Bu durumlarda kısmi olarak enerji üretebilirler ya da hiç enerji üretemezler.

Santralde kullanılan ekipmanın kalitesi onun bakımına, kullanmış olduğu yakıta, santralin tasarımına ve santralin daha iyi bir durumda işletilip işletilmediğine bağlıdır. Diğer bütün durumlar eşit kabul edildiğinde, enerji santrallerinden daha az sıklıkla çalışanlar daha yüksek elde edilebilirlik değerlerine sahip olurlar. Çünkü bu durumlarda daha az bakım gerekmektedir. Buhar ile elektrik üreten enerji santralleri, örneğin kömür/linyit, jeotermal, doğalgaz ve nükleer enerji santralleri %80 ile %96 arasında elde edilebilirlik değerlerine sahiptirler. Rüzgar ve hidroelektrik enerji santralleri ise %20 ile %50 arasında değişen daha düşük elde edilebilirlik değerlerine sahiptirler.

Altı enerji santrali için elde edilebilirlik değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ortalama elde edilebilirlik [IAEA, 2002]

Enerji Santrali	Elde Edilebilirlik (%)
Kömür/Linyit	85,4
Doğal Gaz	91,0
Nükleer	96,0
Hidroelektrik	50,0
Rüzgâr	38,0
Jeotermal	95,0

Çizelge 5.2’ye göre, nükleer ve jeotermal enerji santralleri yüksek ortalama elde edilebilirlik değerine sahipken, rüzgar enerji santralleri daha düşük ortalama elde edilebilirlik değerine sahiptir.

Kapasite

Bir enerji santralinin kapasitesi o enerji santralinin belirli bir zaman dilimi içerisinde üretmiş olduğu enerjinin, enerji santralinin tam kapasite ile çalıştığında üretebileceği maksimum enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Kapasite, elde edilebilirlik ile karıştırılmamalıdır. Bunlardan elde edilebilirlik zamanla, kapasite üretilen elektrik miktarı ile ilişkilidir.

Kapasite, enerji santrallerinde kullanılan yakıta bağlı olarak değişmektedir. Altı enerji santraline ait kapasite yüzdeleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ortalama kapasite [IAEA, 2002]

Enerji Santrali	Kapasite (%)
Kömür/Linyit	70,8
Doğal Gaz	16,6
Nükleer	90,5
Hidroelektrik	29,6
Rüzgâr	32,1
Jeotermal	82,5

Çizelge 5.3'teki kapasite değerlerine göre nükleer enerji santrallerin kapasite oranı diğer enerji santrallerine göre daha fazladır.

Rezerv/üretim (R/Ü) oranı

Rezerv/üretim oranı belli bir yakıtın yıllık elde edilebilirliğinin şimdiki tüketime veya yıllık tüketime oranı olarak ifade edilmektedir. Kısaca enerji santralinin anlık tüketiminin yıllık enerji tüketimine oranı olarak tanımlanabilir. Bu tanımdan hareketle yenilenebilir enerji kaynaklarının, kaynak olduğu müddetçe sınırsız üretime sahip olacağından, sınırsız bir R/Ü Oranı değerine sahip olacağı sonucuna ulaşılabilir.

Altı enerji santrali için R/Ü oranı Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Rezerv/üretim oranı [WNA, 2006]

Enerji Santrali	R/Ü Oranı
Kömür/Linyit	164,8
Doğal Gaz	66,7
Nükleer	70,0
Hidroelektrik	Sınırsız
Rüzgâr	Sınırsız
Jeotermal	Sınırsız

Çizelge 5.4'te verilen yenilenebilir enerji kaynaklarının sınırsız olan R/Ü oranı değerlerini, diğer enerji santralleri çeşitlerinin değerleri ile karşılaştırmak için Saaty'nin ortaya koymuş olduğu ölçü skalasından yararlanılmıştır.

Ölçü skalasını kullanarak, Çizelge 5.4'te verilen rezerv/üretim oranı değerleri Çizelge 5.5'teki ikili karşılaştırma matrisine dönüştürülmüştür.

Çizelge 5.5. Rezerv/üretim (R/Ü) oranı ikili karşılaştırma matrisi [WNA, 2006]

Enerji Santrali	Kömür/Linyit	Doğal Gaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgâr	Jeotermal
Kömür/Linyit	1	3	3	1/9	1/9	1/9
Doğal Gaz	1/3	1	1	1/9	1/9	1/9
Nükleer	1/3	1	1	1/9	1/9	1/9
Hidroelektrik	9	9	9	1	1	1
Rüzgâr	9	9	9	1	1	1
Jeotermal	9	9	9	1	1	1

Çizelge 5.5'te Saaty ölçü skalasına göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisine göre R/Ü oranı yenilenebilir kaynakları kullanan enerji santrallerinde diğer santrallere göre daha yüksektir. Doğalgaz ve nükleer enerji santralleri ise birbirlerine göre eşit değere sahiptir.

5.7.2. Ekonomi

Ekonomi hayatın her alanında önemlidir. Enerji santrali ile ilgili bir karar vermek için birçok maliyetin dikkate alınması gerekmektedir. Maliyetin düşük olması enerji santrali değerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle asıl amaç daha düşük maliyet ile daha iyi performansı yakalamaktır.

Yatırım maliyeti

Yatırım maliyetleri bir enerji santralinin kurulacağı alan içerisinde santralin işletilebilmesi için gerekli bina ve ekipman maliyetlerini içermektedir. İş gücü ve bakım onarım maliyetleri bu maliyet kalemi içerisinde bulunmamaktadır.

Nükleer ve kömür/linyit santralleri yüksek yatırım ve düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Doğalgaz enerji santralleri ise düşük yatırım ve yüksek işletme maliyetlerine sahiptir. Bütün yenilenebilir enerji kaynakları ise yüksek yatırım maliyetlerine sahiptir.

Burada yatırım maliyetleri, enerji santrali yatırım maliyetlerinin o enerji santralinin kapasitesine oranı (€/kW) olarak alınmıştır. Ortalama yatırım maliyeti değeri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Ortalama yatırım maliyeti [IAEA, 2002]

Enerji Santrali	Yatırım Maliyeti (€/kW)
Kömür/Linyit	975
Doğal Gaz	612
Nükleer	1590
Hidroelektrik	2417
Rüzgâr	1250
Jeotermal	2158

Çizelge 5.6’ya göre hidroelektrik santrallerinin yatırım maliyeti diğer enerji santrallerine göre daha fazladır.

Yakıt maliyeti

Yakıt, enerjinin salınırken onun kimyasal ve fiziksel değişimini içermektedir. Yakıt içinde barındırdığı enerjiyi kimyasal olarak yakarak veya nükleer santrallerdeki gibi fizyon ile füzyon tepkimeleri ile açığa çıkartmaktadır. Kullanılabilir yakıtın önemli bir özelliği ise istenildiği takdirde kullanılmak üzere depolanabilmesi ve kontrollü bir şekilde kullanılabilmesidir.

Yakıt maliyetleri işletme halindeki bir enerji santralinde kullanılan gerekli hammaddelerin maliyetlerini içermektedir. Ayrıca hammaddenin çıkartılması, işlenmesi ve taşınması için gerekli maliyetleri de içinde barındırmaktadır. Bunlar atıkların bertaraf edilmesi ile ilgili de maliyetleri içermektedir.

Yakıt maliyetleri dönemlere göre değişebilmektedir. Bu durum enerji talebine, üretimine ve politik nedenlere dayanmaktadır.

Altı enerji santrali için yakıt maliyetleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Ortalama yakıt maliyeti [EIA, 2005]

Enerji Santrali	Yakıt Maliyeti (¢cent/kWh)
Kömür/Linyit	1,31
Doğal Gaz	2,34
Nükleer	0,27
Hidroelektrik	0,00
Rüzgâr	0,00
Jeotermal	0,00

Çizelge 5.7’ye göre yenilenebilir enerji santrallerinin herhangi bir yakıt maliyeti bulunmamaktadır. Diğer enerji santralleri arasında ise nükleer enerji santrali oransal olarak daha düşük bir yakıt maliyetine sahiptir.

Dış maliyetler

Dış maliyetler enerji santrallerinin sağlığa ve çevresel etkilere dayalı maliyetlerini içermektedir. Bu maliyet kalemi içerisinde enerji santralinin insan sağlığına ve ekosisteme olumsuz etkileri sonucu yapılması gereken restorasyon ve işletme maliyetleri bulunmaktadır.

Altı enerji santrali için verilen dış maliyetler çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Ortalama dış maliyetler [OECD, 2003]

Enerji Santrali	Dış Maliyetler (¢cent/kWh)
Kömür/Linyit	8,40
Doğal Gaz	2,00
Nükleer	0,49
Hidroelektrik	0,56
Rüzgâr	0,16
Jeotermal	0,20

Çizelge 5.8’den görüldüğü üzere sağlığa ve çevresel etkilere dayalı maliyetlerin oranı yenilenebilir enerji santrallerinde daha düşüktür.

İşletme ve bakım maliyetleri

İşletme maliyetleri standart bakım maliyetlerini, çalışanların maaşlarını, beklenmedik durumlardan kaynaklı maliyetleri, enerji için harcanan sermayeleri, belirli zaman dilimlerinde anlık çalıştırılan işçilerin giderleri ile enerji santralının işletilmesinde kullanılan ürün ve hizmetler için harcanan maliyetleri içermektedir.

İşletme ve bakım maliyetleri iki alt kategoriye ayrılmıştır. Bunlar sabit işletme ve bakım maliyetleri ile değişken işletme ve bakım maliyetleridir. Sabit işletme ve bakım maliyetleri enerji santralının üretmiş olduğu elektrikten bağımsız olarak yıllık işletme ve bakım maliyetlerini içerir ve €/kW olarak ele alınmıştır. Diğer taraftan değişken işletme ve bakım maliyetleri üretilen elektrik ile doğrudan ilişkilidir ve ¢cents/kWh olarak ele alınmıştır.

Çizelge 5.9’da ortalama sabit işletme ve bakım maliyetleri ve Çizelge 5.10’da ortalama değişken işletme ve bakım maliyetleri bulunmaktadır.

Çizelge 5.9. Ortalama sabit işletme ve bakım maliyetleri [IAEA, 2002]

Enerji Santrali	Sabit İ&B Maliyetleri (€/kWyr)
Kömür/Linyit	19,00
Doğal Gaz	10,83
Nükleer	30,00
Hidroelektrik	72,50
Rüzgâr	25,00
Jeotermal	83,33

Çizelge 5.10. Ortalama değişken işletme ve bakım maliyetleri [IAEA, 2002]

Enerji Santrali	Değişken İ&B Maliyetleri (€/kWyr)
Kömür/Linyit	0,183
Doğal Gaz	0,270
Nükleer	0,033
Hidroelektrik	0,486
Rüzgâr	0,417
Jeotermal	0,025

Çizelge 5.9 ve 5.10'a bakıldığında sabit işletme ve bakım maliyetleri jeotermal enerji santrallerinde en yüksek iken değişken işletme ve bakım maliyetlerinin aynı enerji santrallerinde en düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni işletme sırasında yüksek bir maliyete gereksinimi olan jeotermal enerji santrallerinde üretilen enerjinin düşük olmasından ötürü düşük değişken işletme ve bakım maliyetlerine sahip olmasıdır.

5.7.3. Yaşam Kalitesi

Yaşam kalitesi üç alt kriterden oluşmaktadır. Bunlar ölüm oranı, radyoaktivite ve alan ihtiyacıdır. Bu alt kriterler enerji santrallerinin insan yaşamlarına olan olumsuz etkilerini ölçmektedir. Bu kriter değerleri ne kadar düşük ise o enerji santralinin kurulduğu bölgede insan yaşamı üzerine olumsuz etkilerinin o ölçüde az olduğu anlaşılmaktadır.

Kaza oranı

Kaza oranı bir enerji santralinde çalışanların hayatlarını kaybetme oranlarını göz önüne alır. Bu alt kriterde değerlerin karşılaştırılabilmesi için 1970 ile 1992 arasında hayatını kaybeden çalışanların, o enerji santrallerinin üretmiş olduğu enerjiye oranı olarak dikkate alınmıştır. Çizelge 5.11'de altı farklı enerji santraline ait kaza oranları verilmiştir.

Çizelge 5.11. Kaza oranları [85]

Enerji Santrali	Kaza Oranı (Ölüm/TWyr)
Kömür/Linyit	342
Doğal Gaz	85
Nükleer	8
Hidroelektrik	883
Rüzgâr	103
Jeotermal	0

Çizelge 5.11'e göre jeotermal enerji santrallerinde bugüne kadar enerji santrali ile bağlantılı olarak belirlenmiş ölümle sonuçlanan bir kaza olmadığı görülmektedir.

Radyoaktivite

Radyoaktivite enerji santrallerinden atmosfere yayılan zararlı bir maddedir. Radyoaktif maddeler küçük oranlarda olsa da kömür/liniyit ve nükleer enerji santrallerinden atmosfere salınmaktadır.

Çizelge 5.12'de altı farklı enerji santraline ait radyoaktivite oranları verilmiştir.

Çizelge 5.12. Radyoaktivite [NCRP, 1987]

Enerji Santrali	Radyoaktivite (1000 MWe Enerji Santrali)
Kömür/Linyit	490
Doğal Gaz	0
Nükleer	4,8
Hidroelektrik	0
Rüzgâr	0
Jeotermal	0

Kömürün yanması esnasında küçük miktarlarda uranyum, radyum ve toryum açığa çıkmaktadır. Nükleer enerji santrallerinde de aynı şekilde küçük miktarlarda Radyoaktif gaz olan krypton-85, xenon-133 ve iodine-131 açığa çıkmaktadır.

Çizelge 5.12'de radyoaktif salınımı karşılaştırmak için 1000 MWe kapasiteye sahip olan kömür/liniyit ve nükleer enerji santralleri dikkate alınmıştır. Bu santrallerden

açığa çıkan radyoaktif maddeden kaç kişinin etkilendiği göz önüne alınmış ve kömür/linyit santrallerinden çıkan radyoaktif maddelerin insanları nükleer enerji santrallerine göre daha çok etkilediği görülmüştür. Diğer enerji santrallerinde ise herhangi bir radyoaktif maddeye rastlanmamıştır.

Alan ihtiyacı

Her enerji santralinin bir alana ihtiyacı vardır. Bir enerji santralinin kapladığı alan, değerlendirilmelerinde önemli bir yere sahiptir. Çünkü toprak değerlidir ve enerji santralleri genelde metropol merkezlerin yakınlara yapılmaktadır. Bu nedenle insanların yaşam kalitesi enerji santrallerinin alan ihtiyacı ile doğrudan etkilenmektedir. Her enerji santrali kurulabilecek bir park veya rekreasyon alanını olumsuz etkilemektedir. Bunların yanında enerji santrallerinden çıkan gürültü veya idari binaların görüntüsü yaşam kalitesini olumsuz şekilde etkilemektedir.

Çizelge 5.13'te 1000 MWe kapasiteye sahip enerji santrallerinin alan ihtiyaçları km^2 bazında verilmiştir.

Çizelge 5.13. Alan ihtiyacı [85]

Enerji Santrali	Alan İhtiyacı ($\text{km}^2/1000 \text{ MW}$)
Kömür/Linyit	2,5
Doğal Gaz	2,5
Nükleer	2,5
Hidroelektrik	750
Rüzgâr	100
Jeotermal	18

Çizelge 5.13'ten edililen bilgiye göre hidroelektrik santrallerin alan ihtiyaçlarının daha çok olduğu görülmektedir. Diğer taraftan yenilenemeyen enerji kaynakları kullanan enerji santrallerinin yer gereksinimi ise diğer santrallere oranla daha azdır.

5.7.4. Sosyo-ekonomik etkiler

Sosyo-ekonomik etkiler insanların enerji santrallerini kabullenmelerinde çok önemli bir kriterdir. Enerji santrallerinin geçmiş durumlarına, ekosisteme ve insan yaşamlarına olumsuz etkilerinin kabullenebilirliğe olan etkisi görülmektedir. Sosyo-ekonomik etkiler iki alt kritere sahiptir. Bunlardan biri iş oluşturma diğeri ise sosyal kabullenmedir. İş oluşturma, enerji santrallerinin insanların yaşam standartları üzerindeki olumlu etkilerini göz önüne almaktadır. Sosyal kabullenme ise bir kalitatif kriter olup enerji santralinin kurulmasına veya işletilmesine karar verilmesinde büyük öneme sahiptir. Bu değerlerden büyük olanı daha iyi bir enerji santrali olduğunun göstergesidir.

İş oluşturma

Enerji santralleri enerji üretebildiği süre boyunca birçok insanı istihdam eder. Bu istihdam enerji santrallerinin kurulmaya başladığı inşaat aşamasından başlar ve o enerji santralının kaldırıldığı güne kadar devam eder. Çizelge 5.14'te 500 MW kapasiteye sahip altı farklı enerji santralının oluşturduğu ortalama istihdam durumları verilmiştir.

Çizelge 5.14. 500 MW Enerji santrali için ortalama iş oluşturma [EPRI, 1995]

Enerji Santrali	İş Oluşturma (Yeni İşçi/500 MW)
Kömür/Linyit	2500
Doğal Gaz	2460
Nükleer	2500
Hidroelektrik	2500
Rüzgâr	5635
Jeotermal	27050

Çizelge 5.14'e göre jeotermal enerji santrallerinin işçi gereksinimi diğer santrallere göre daha fazladır.

Sosyal kabullenme

Sosyal kabullenme ölçülebilir bir kriter değildir bu nedenle Saaty'nin ölçü skalasına göre oluşturulan ikili karşılaştırma ile alternatifler arası ağırlıkların belirlenmesi gerekmektedir.

Altı enerji santralinin insanlar tarafından sosyal kabullenilebilirliğinin belirlenmesinde bu sektörde çalışan kişilerin bilgi birikimlerinden, akademik ve daha önce yapılmış olan çalışmalardan yararlanılmıştır.

Buna göre her bir enerji santralinin sosyal kabullenme kriteri için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.15'te verilmiştir.

Çizelge 5.15. Sosyal kabullenme ikili karşılaştırma matrisi

Enerji Santrali	Kömür/Linyit	Doğal Gaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgâr	Jeotermal
Kömür/Linyit	1	1/3	3	1/3	1/5	1/5
Doğal Gaz	3	1	3	1/3	1/5	1/5
Nükleer	1/3	1/3	1	1/5	1/7	1/7
Hidroelektrik	3	3	5	1	1/3	1/3
Rüzgâr	5	5	7	3	1	1
Jeotermal	5	5	7	3	1	1

Çizelge 5.15'te verilen ikili karşılaştırma matrisine göre, nükleer enerji santrallerinin sosyal açıdan kabullenilebilirliği diğer santrallere göre daha düşüktür. Buna karşı olarak yenilenebilir enerji santrallerinden rüzgar ve jeotermal enerji santralleri halk tarafından daha çok kabul görmektedir.

5.8. Hiyerarşinin Oluşturulması

AHP'de problemin çözümüne karar hiyerarşisi kullanılarak başlandığından uygulama problemine de ilk olarak hiyerarşi ağacı oluşturularak başlanır. Hiyerarşi ağacı dört seviyeden oluşmaktadır. Birinci aşamada problemin amacı tanımlanmaktadır, ikinci aşamada ise dört ana kriter bulunmaktadır. Üçüncü aşamada yukarıda açıklamaları yapılan ana kriterlerin alt kriterleri bulunmaktadır. Son aşamada ise işletme ve bakım

maliyetlerinin alt kriterleri olan değişken ve sabit işletme ve bakım maliyetleri kriterleri bulunmaktadır.

Uygulama probleminin AHP ile çözümüne ait hiyerarşi ağacı Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

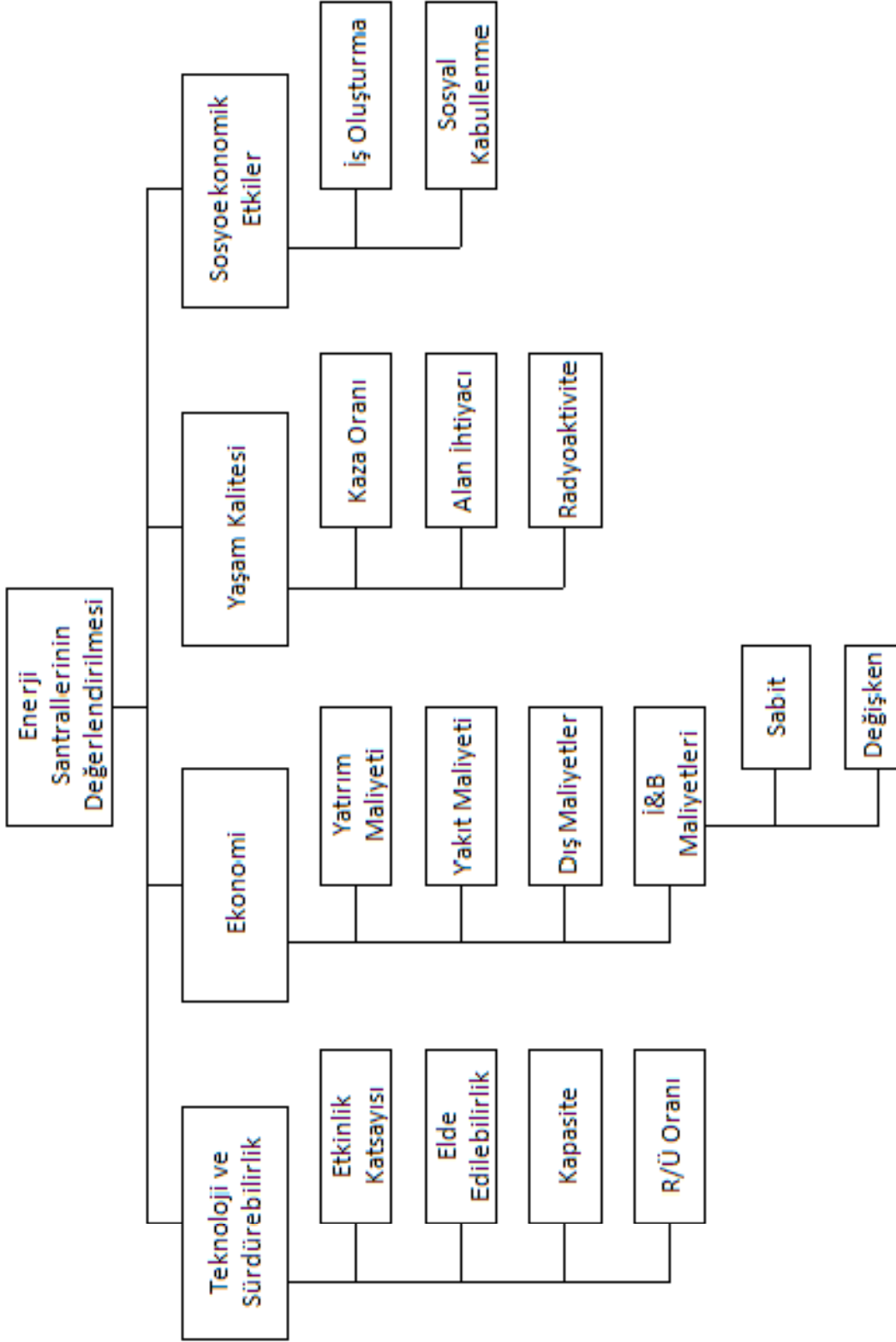
Şekil 5.2’de ise uygulama probleminin AŞP ile çözümüne ait hiyerarşi ve ilişkiler gösterilmiştir.

5.9. Kriter Ağırlıkları ve İkili Karşılaştırma Matrislerinin Analizi

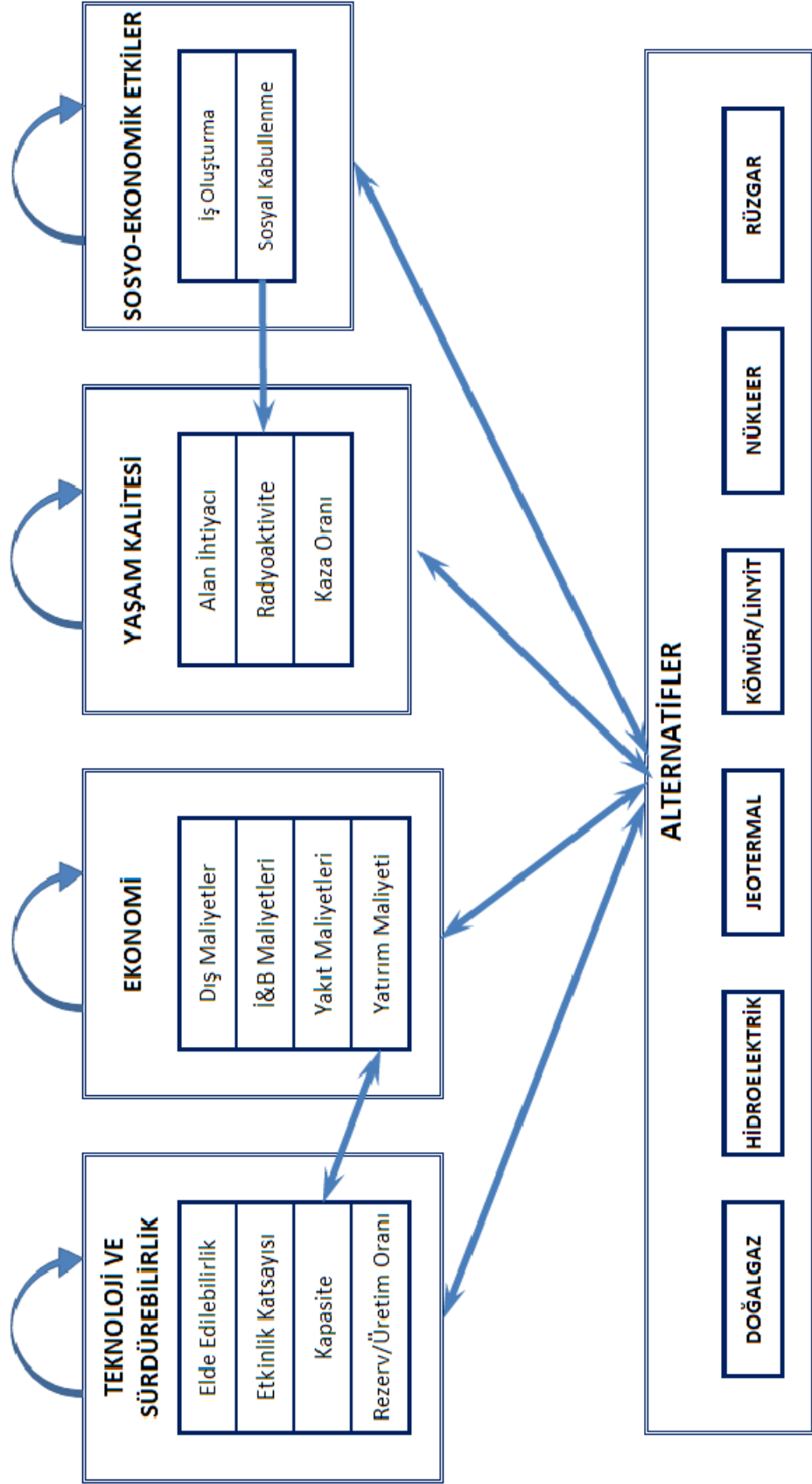
Kriter ağırlıkları altı enerji santralinin her bir kriter ve alt kriterlerinin önceliklendirmesi yapılırken sentezinin yapılması anlamına gelmektedir. Kriter ağırlıklarının ikili karşılaştırmaları ile hata payları en aza indirilmektedir. Şekil 5.1’de gösterilen hiyerarşi ağacındaki her bir kriterin ağırlıkları ikili karşılaştırma ile elde edilmiştir.

5.9.1. Ana kriterler arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Şekil 5.1’de gösterilen hiyerarşiye göre enerji santrallerinin çok kriterli değerlendirilmesi probleminde dört ana kriter belirlenmiştir. Bunlar teknoloji ve sürdürülebilirlik, ekonomi, yaşam kalitesi ve sosyo-ekonomik etkilerdir. Karar verici bu dört kriterden hangisinin daha önemli olduğunu seçmesi gerekmektedir. Bu karar öznel olmakta, kişiden kişiye değişebilmektedir. Bu çalışmada öznel değerlendirmeler için, Saaty ölçü skalasına göre Çizelge 5.16’daki ana kriter ağırlıkları oluşturulmuştur. Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi oluşturulurken geçmiş çalışmalardan ve bu konudaki uzmanların görüşlerinden faydalanılmıştır.



Şekil 5.1. Hiyerarşi Ağacı



Şekil 5.2. AŞP ile çözüme ait hiyerarşi

Çizelge 5.16. Ana kriterlerin göreceli önem değerleri

	Tek. ve Sürdürülebilirlik	Ekonomi	Yaşam Kalitesi	Sosyo-Ekon. Etkiler
Tek. ve Sürdürülebilirlik	1	3	1	3
Ekonomi		1	1/3	1
Yaşam Kalitesi			1	3
Sosyo-Ekonomik Etkiler				1

5.9.2. Alt kriterler arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Teknoloji ve sürdürülebilirlik alt kriterleri arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Teknoloji ve sürdürülebilirlik ana kriteri dört alt kritere sahiptir. Bunlar etkinlik katsayısı, elde edilebilirlik, kapasite, R/Ü oranı'dır. Bu alt kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Teknoloji ve sürdürülebilirlik alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

	Etkinlik Katsayısı	Elde Edilebilirlik	Kapasite	R/Ü Oranı
Etkinlik Katsayısı	1	1	3	1/9
Elde Edilebilirlik		1	3	1/9
Kapasite			1	1/9
R/Ü Oranı				1

Çizelge 5.17'den görülebileceği gibi her kriter kendisi ile eşit önem derecesine sahiptir ve matrisin diagonalında 1 değerini almaktadır.

Bu dört alt kriter arasından en önemli olanı R/Ü oranıdır. R/Ü oranı bu alt kriterlerin hepsi ile ikili karşılaştırıldığından daha yüksek değere sahiptir. Elde edilebilirlik ise etkinlik katsayısı ile eşit değere sahip iken elektrik üretiminde kapasiteden orta derecede daha yüksek öneme sahiptir.

Kapasite diğer kriterler arasında etkinlik katsayısından daha az öneme sahiptir.

Ekonomi alt kriterleri arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Ekonomi kriteri dört alt kritere sahiptir. Bunlar, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyetleri, yakıt maliyetleri ve dış maliyetlerdir.

Ekonomi alt kriterleri için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.18’de verilmiştir.

Çizelge 5.18 Ekonomi alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

	Yatırım Maliyeti	İ&B Maliyetleri	Yakıt Maliyetleri	Dış Maliyetler
Yatırım Maliyeti	1	5	1	3
İ&B Maliyetleri		1	1/5	1/3
Yakıt Maliyetleri			1	3
Dış Maliyetler				1

Maliyetler enerji santrali tipine ve yakıt fiyatlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Buna rağmen yatırım maliyetleri toplam elektrik üretim maliyetleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. İşletme ve bakım maliyetleri yatırım ve yakıt maliyetlerine göre daha düşük öneme sahiptir.

Dış maliyetlerin önemi günümüzde giderek yükselmektedir. Yakın gelecekte elektrik üretiminde dış maliyetler tamamen dahil edilecek ve gün geçtikçe daha önemli olacaktır.

İşletme ve bakım maliyetleri alt kriterleri arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Ekonomi kriterinin alt kriterlerinden olan işletme ve bakım maliyetlerinin iki alt kriteri bulunmaktadır. Bunlar, sabit işletme ve bakım maliyetleri ve değişken işletme ve bakım maliyetleridir.

Çizelge 5.19. İşletme ve bakım maliyetleri alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

	Sabit İ&B Maliyetleri	Değişken İ&B Maliyetleri
Sabit İ&B Maliyetleri	1	1/5
Değişken İ&B Maliyetleri		1

Sabit işletme ve bakım maliyetleri enerji santralinin ne kadar çalıştığından bağımsızdır. Diğer taraftan değişken işletme ve bakım maliyetleri enerji santralinin kapasitesi ile doğrudan ilgilidir. Bu çalışmada enerji santrallerinin yüksek kapasiteleri sahip olduğu varsayımı yapılarak değişken işletme ve bakım maliyetlerinin daha önemli dereceye sahip olduğu göz önüne alınmıştır.

Yaşam kalitesi alt kriterleri arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Yaşam kalitesi kriteri üç alt kriterle sahiptir. Bunlar, kaza oranı, radyoaktivite ve alan ihtiyacıdır.

Çizelge 5.20. Yaşam kalitesi alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

	Kaza Oranı	Radyoaktivite	Alan İhtiyacı
Kaza Oranı	1	1/3	5
Radyoaktivite		1	9
Alan İhtiyacı			1

Bu üç alt kriterden radyoaktivite insanların yaşamını doğrudan ve etkili bir şekilde etkilediğinden kaza oranı ve alan ihtiyacına göre daha yüksek bir önem derecesine sahiptir. Kaza oranları ise alan ihtiyacı ile karşılaştırıldığından çok önemli bir değere sahiptir. Çünkü hiçbir alan insan yaşamının yerine geçemez. İnsan hayatları her zaman birinci önceliklidir ve kaza oranlarını düşürmek alan ihtiyacını düşürmekten çok daha önemlidir.

Sosyo-ekonomik etkiler alt kriterleri arası ağırlıkların hesaplanması ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması

Sosyo-ekonomik etkiler kriteri iki alt kritere sahiptir. Bunlar, iş oluşturma ve sosyal kabullenmedir.

Çizelge 5.21’de sosyoekonomik etkiler alt kriterlerine ait göreceli önem değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.21. Sosyo-ekonomik etkiler alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

	İş Oluşturma	Sosyal Kabullenme
İş Oluşturma	1	1/3
Sosyal Kabullenme		1

İnsanlar tarafından herhangi bir işin kabul edilmesi onun iş oluşturmaktan çok daha önemlidir. İnsanlar yaşamlarını tehlikeye sokacak her ne iş olursa olsun orada çalışmak istemezler. Bu nedenle sosyal kabullenme, iş oluşturmaktan çok daha fazla önem derecesine sahiptir.

5.9.3. Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Uygulama probleminin çözümlenebilmesi için ana kriterler ve alt kriterler arası ikili karşılaştırmalar yapıldıktan sonra, alternatifler bazında kriterler arası ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması gerekmektedir.

Uygulama probleminde alternatifler bazında yapılacak olan bütün karşılaştırmalar sayısal karşılaştırma olarak yapılmıştır.

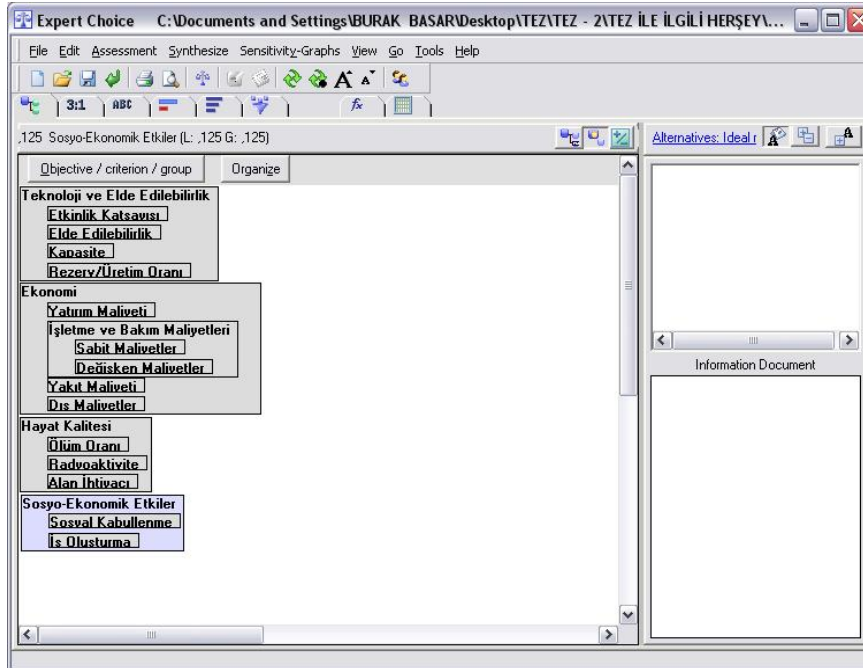
Tüm kriterler için yapılan sayısal karşılaştırmalar ile elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri Ek-1’de verilmiştir.

5.10. Verilerin Expert Choice Programına Girilmesi

Expert Choice programı açıldıktan ve çalışma dosyası oluşturulduktan sonra yukarıda bahsedilmiş olan kriterler sırasıyla programa girilmiştir. Expert Choice programına girilen kriterler aşağıdaki gibidir :

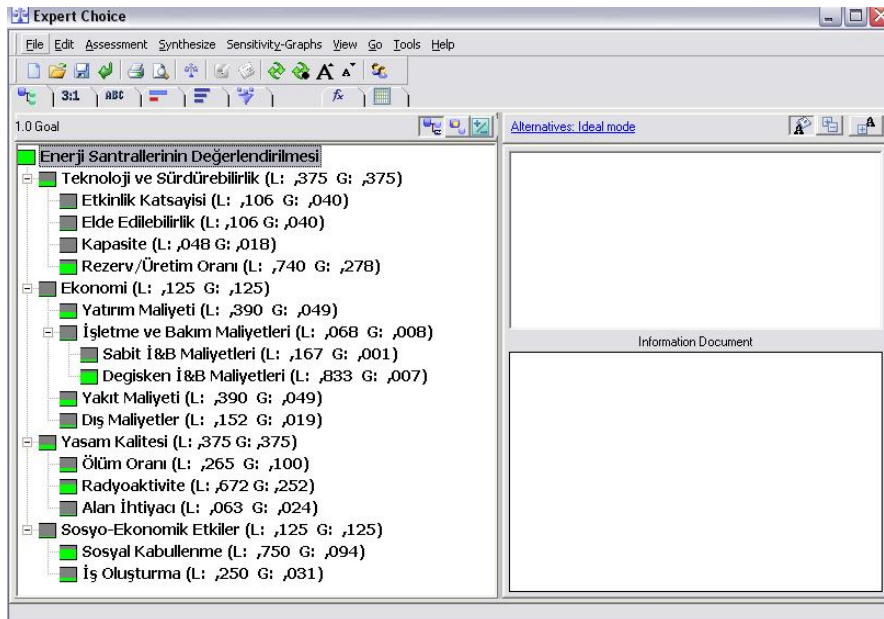
- Teknoloji ve Sürdürülebilirlik
 - Etkinlik Katsayısı*
 - Sürdürülebilirlik*
 - Kapasite*
 - Rezerv/Üretim Oranı*
- Ekonomi
 - Yatırım Maliyeti*
 - Yakıt Maliyeti*
 - Dış Maliyetler*
 - İşletme ve Bakım Maliyetleri*
- Yaşam Kalitesi
 - Kaza Oranı*
 - Radyoaktivite*
 - Alan İhtiyacı*
- Sosyo-Ekonomik Etkiler
 - İş Oluşturma*
 - Sosyal Kabullenme*

Tüm kriterler Expert Choice programına girildikten sonra ise Şekil 5.3'te görülen ekran elde edilmiştir.



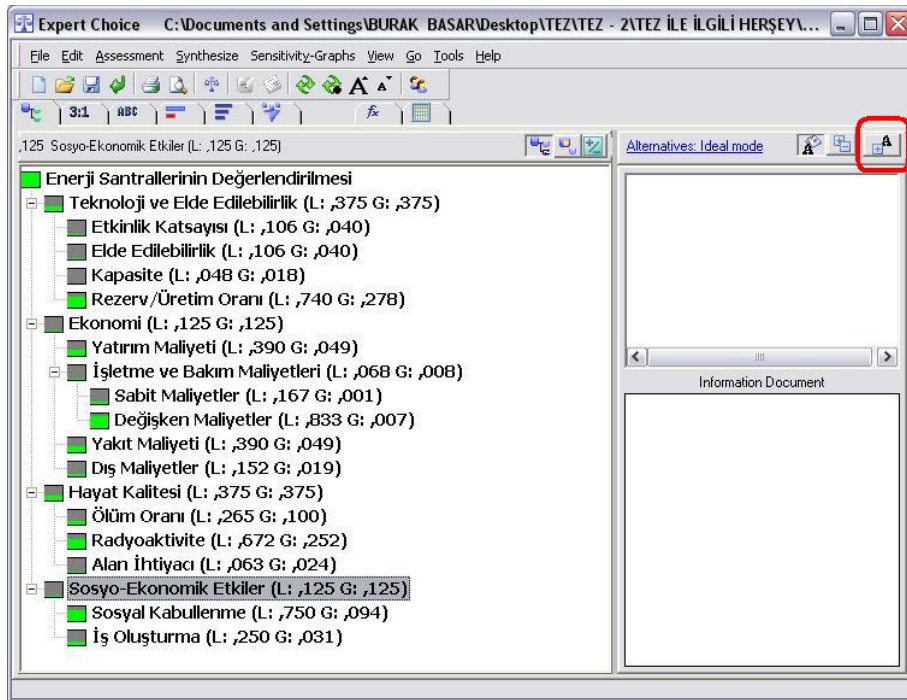
Şekil 5.3. Tüm kriterler tanımlandıktan sonraki kriterlerin tanımladığı ekranın görünümü (yakınlık diyagramı penceresi)

Şekil 5.3'te bulunan butona basılarak kriterlerin Şekil 5.4'te verilen ağaç görünümü penceresinde görüntülenmesi sağlanmaktadır. Bu pencere karar problemine ilişkin çözüm sürecinin sonraki aşamalarında da kullanılacaktır.



Şekil 5.4. Tüm kriterlerin ağaç görünümü penceresindeki (treeview pane) görünümü

Uygulama problemin tanımlanması ve çözümlenmesi için gerekli olan kriterler tanımlandıktan sonra alternatiflerin tanımlanması gerekmektedir. Şekil 5.5'teki işaretlenmiş olan butona basılarak alternatiflerin tanımlanması yapılır.



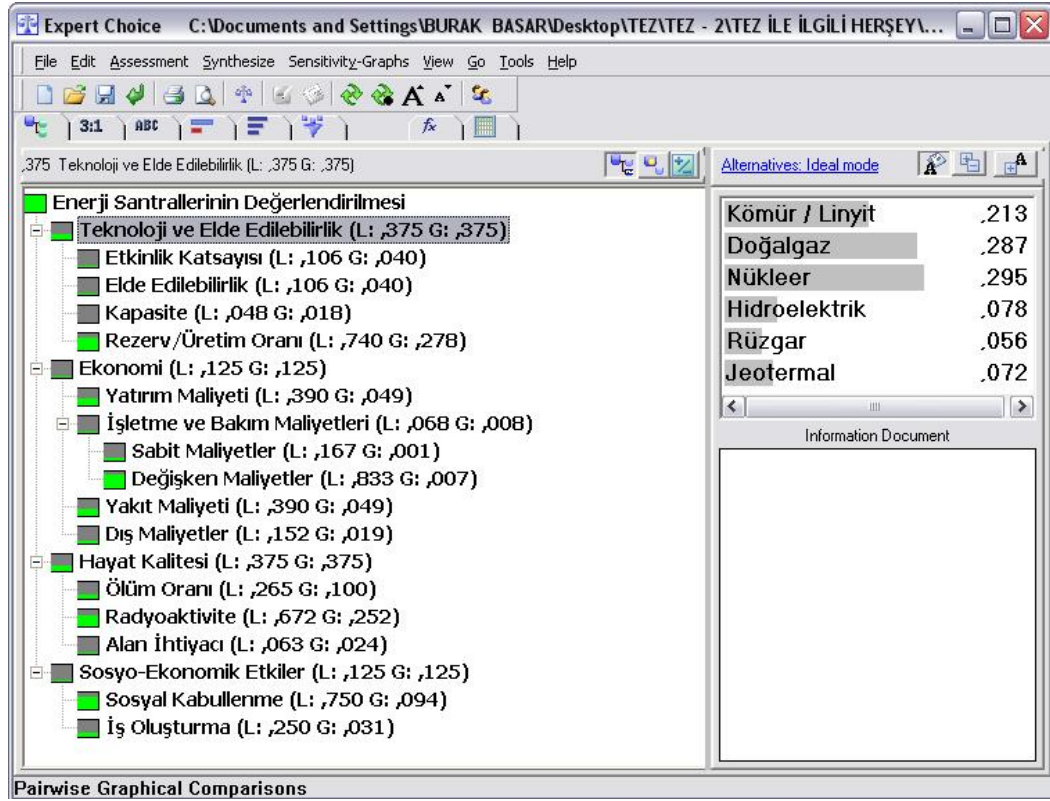
Şekil 5.5. Uygulama probleminin alternatiflerini tanımlama ekranı

Şekil 5.5'teki butona basıldığında alternatiflerin girildiği Şekil 5.6'te gösterilen ekran gelir.



Şekil 5.6. Alternatif giriş ekranı

Alternatifler Şekil 5.7’deki gibi programa girilmiştir.



Şekil 5.7. Alternatifler tanımlandıktan sonra görülen program ekranı

Ana kriterler arası ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programına girilmesi

Çizelge 5.16’da gösterilen ana kriterler için ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programı tarafından hesaplanan ikili karşılaştırma matrisinin programdaki görünümü ve göreceli önem değerleri Ek-2’te verilmiştir. Buna göre en önemli ana kriter 0,375 değeri ile teknoloji ve sürdürülebilirlik ile yaşam kalitesi kriterleri olmuştur. İkili karşılaştırma matrisinde oluşan tutarsızlık oranı ise %0’a yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını ifade etmektedir. Ayrıca karşılaştırılma yapılmayan kriterin olmadığı durumda Ek-2’te verilmiştir.

Alt kriterler arası ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programına girilmesi

- Çizelge 5.17’de gösterilen teknoloji ve sürdürülebilirlik alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programı tarafından hesaplanan ikili karşılaştırma matrisinin programdaki görünümü ve göreceli önem değerleri Ek-2’te verilmiştir. Buna göre teknoloji ve sürdürülebilirlik ana kriterinin en önemli alt kriteri 0,740 değeri ile rezerv/üretim oranıdır. İkili karşılaştırma matrisinde oluşan tutarsızlık oranı ise %6’ya yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını ifade etmektedir. Ayrıca karşılaştırılma yapılmayan kriterin olmadığı da Ek-2’te belirtilmektedir.
- Çizelge 5.18’de gösterilen ekonomi alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programı tarafından hesaplanan ikili karşılaştırma matrisinin programdaki görünümü ve göreceli önem değerleri Ek-2’te verilmiştir. Buna göre ekonomi ana kriterinin en önemli alt kriteri 0,390 değeri ile yatırım maliyeti ve yakıt maliyetidir. İkili karşılaştırma matrisinde oluşan tutarsızlık oranı ise %2’dir. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını ifade etmektedir. Ayrıca karşılaştırılma yapılmayan kriterin olmadığı da Ek-2’te belirtilmektedir.
- Çizelge 5.19’da gösterilen işletme ve bakım maliyetleri alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programı tarafından hesaplanan ikili karşılaştırma matrisinin programdaki görünümü ve göreceli önem değerleri Ek-2’te verilmiştir. Buna göre ekonomi ana kriterinin en önemli alt kriteri 0,390 değeri ile yatırım maliyeti ve yakıt maliyetidir. İkili karşılaştırma matrisinde oluşan tutarsızlık oranı ise %2’dir. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını ifade etmektedir. Ayrıca karşılaştırılma yapılmayan kriterin olmadığı da Ek-2’te belirtilmektedir.

- Çizelge 5.20’de gösterilen yaşam kalitesi alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programı tarafından hesaplanan ikili karşılaştırma matrisinin programdaki görünümü ve göreceli önem değerleri Ek-2’te verilmiştir. Buna göre yaşam kalitesi ana kriterinin en önemli alt kriteri 0,672 değeri ile Radyoaktivitedir. İkili karşılaştırma matrisinde oluşan tutarsızlık oranı ise %3’tür. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını ifade etmektedir. Ayrıca karşılaştırılma yapılmayan kriterin olmadığı da Ek-2’te belirtilmektedir.
- Çizelge 5.21’de gösterilen sosyo-ekonomik etkiler alt kriterleri için ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programı tarafından hesaplanan ikili karşılaştırma matrisinin programdaki görünümü ve göreceli önem değerleri Ek-2’te verilmiştir. Buna göre sosyo-ekonomik etkiler ana kriterinin en önemli alt kriteri 0,750 değeri ile iş oluşturmadır. İkili karşılaştırma matrisinde oluşan tutarsızlık oranı ise %0’a yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını ifade etmektedir. Ayrıca karşılaştırılma yapılmayan kriterin olmadığı da Ek-2’te belirtilmektedir.

Alternatifler bazında kriterlerin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programına girilmesi

- Etkinlik katsayısı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2’te görülmektedir. Buna göre hidroelektrik enerji santrali alternatifi, 0,343 değeri ile etkinlik katsayısı kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0’a yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.

- Elde edilebilirlik kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2’te görülmektedir. Buna göre nükleer santral alternatifi, 0,210 değeri ile sürdürülebilirlik kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0’a yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Kapasite kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2’te görülmektedir. Buna göre nükleer santral alternatifi, 0,281 değeri ile kapasite kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0’a yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Rezerv/üretim oranı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2’te görülmektedir. Buna göre nükleer santral alternatifi, 0,345 değeri ile R/Ü oranı kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %2’ye yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Yatırım maliyeti kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2’te görülmektedir. Buna göre doğalgaz enerji santrali alternatifi, 0,329 değeri ile yatırım maliyeti kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0’a yakındır. Bu oranın %10’dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Sabit ve değişken işletme ve bakım maliyetleri kriterlerine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2’te görülmektedir. Sabit işletme ve bakım maliyetleri kriterine göre doğalgaz enerji santrali alternatifi, 0,377 değeri ile,

değişken işletme ve bakım maliyetleri kriterine göre jeotermal enerji santrali alternatifi, 0,479 değeri ile en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrislerinin tutarsızlık oranı ise %0'a yakındır. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.

- Yakıt Maliyeti kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre hidroelektrik, rüzgar ve jeotermal enerji santral alternatifleri, 0,256 değeri ile yakıt maliyeti kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0.69'dur. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Dış Maliyetler kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre rüzgar enerji santrali alternatifi, 0,398 değeri ile dış maliyetler kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0'a yakındır. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Kaza oranı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre rüzgar enerji santrali alternatifi, 0,769 değeri ile kaza oranı kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %9'dur. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Radyoaktivite kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre doğalgaz, hidroelektrik, rüzgar ve jeotermal enerji santralleri alternatifleri, 0,205 değeri ile radyoaktivite kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0'a

yakındır. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.

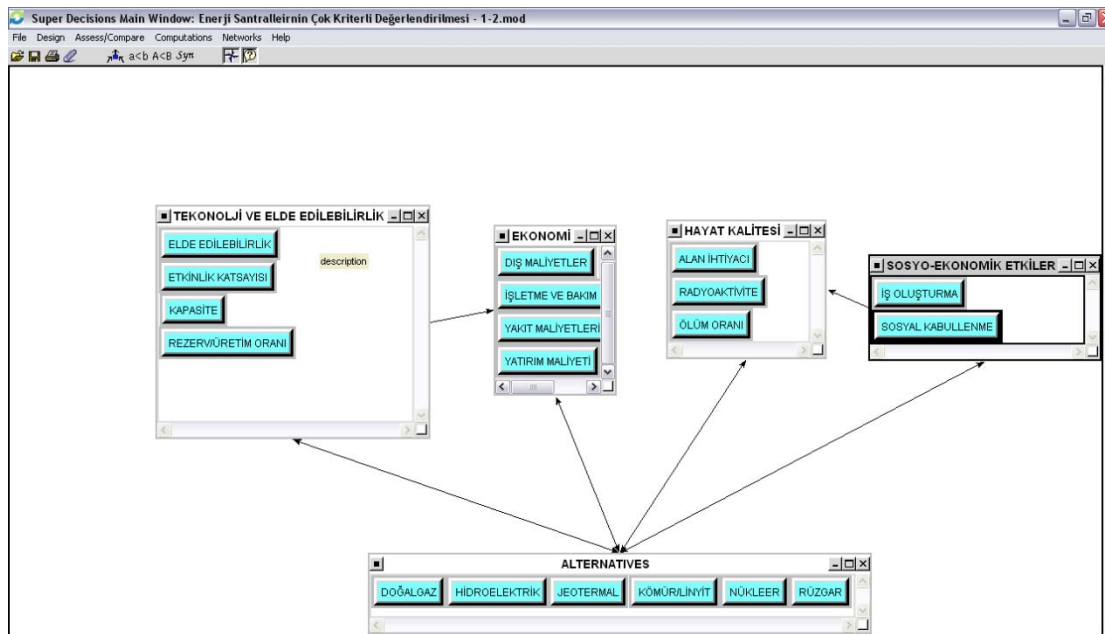
- Alan ihtiyacı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre kömür/linyit, doğalgaz ve nükleer enerji santralleri alternatifleri, 0,312 değeri ile alan ihtiyacı kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %3'tür. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- Sosyal kabullenme kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre rüzgar enerji santrali alternatifi, 0,333 değeri ile sosyal kabullenme kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %5'tir. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.
- İş oluşturma kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri Ek-2'te görülmektedir. Buna göre jeotermal enerji santrali alternatifi, 0,635 değeri ile İş Oluşturma kriteri açısından en uygun alternatiftir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarsızlık oranı ise %0'a yakındır. Bu oranın %10'dan düşük olması da kriterlerin karşılaştırılmasında AHP yöntemine göre yeterince tutarlı davranıldığını göstermektedir.

5.11. Verilerin Superdecisions Programına Girilmesi

Superdecisions programında Expert Choice programında olduğu gibi ana kriterler ve alt kriterler oluşturulur. Ancak bunlar bir hiyerarşik düzen içerisinde kademeli olarak sıralanmazlar. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi dört alt kriter ve bir alternatif kümesi bulunmaktadır. Ana kriterler yukarıda bahsedildiği üzere programa tanımlanır ve bunların alt kümelerine her birinin alt kriterleri tanımlanır.

Expert choice programında olduğu gibi yukarıda bahsedilen ana kriterler arası, alt kriterler arası ve kriterler bazında alternatifler arası ikili karşılaştırma değerleri girilir.

Superdecisions programının en büyük avantajı AŞP 'de olduğu gibi kriterler, alt kriterler ve alternatiflerin diğer bütün kriterler, alt kriterler ve alternatifler ile karşılıklı veya tek yönlü ilişkisini sağlayabilmesidir. Böylece daha gerçekçi bir sonuca da yaklaşılabilmektedir.



Şekil 5.8. Superdecisions programında kriter ve alternatiflerin görünümü

Yapılan çalışmanın superdecisions programına aktarımında kriterler arasında göz önüne alınan ilişkiler aşağıdaki gibidir;

- Teknoloji ve sürdürülebilirlik alt kriteri kapasitenin, yatırım maliyeti kriterini etkilediği, kapasite arttıkça yatırımlarında o ölçüde artacağı dikkate alınmıştır.

- Sosyo-ekonomik etkiler alt kriteri sosyal kabullenmenin radyoaktivite kriterinden etkilendiği, radyoaktif madde salınımı yapan enerji santrallerinin sosyal çevre açısından kabul edilmemesinin problemli olduğu dikkate alınmıştır.
- Tüm alternatiflerin kriterlerden ve kriterlerinde alternatiflerden etkilendiği dikkate alınmıştır.

Bu ilişkilere göre elde edilen süpermatris Ek-3'te, ağırlıklandırılmış süpermatris Ek-4'te ve limit matris Ek-5'te verilmiştir.

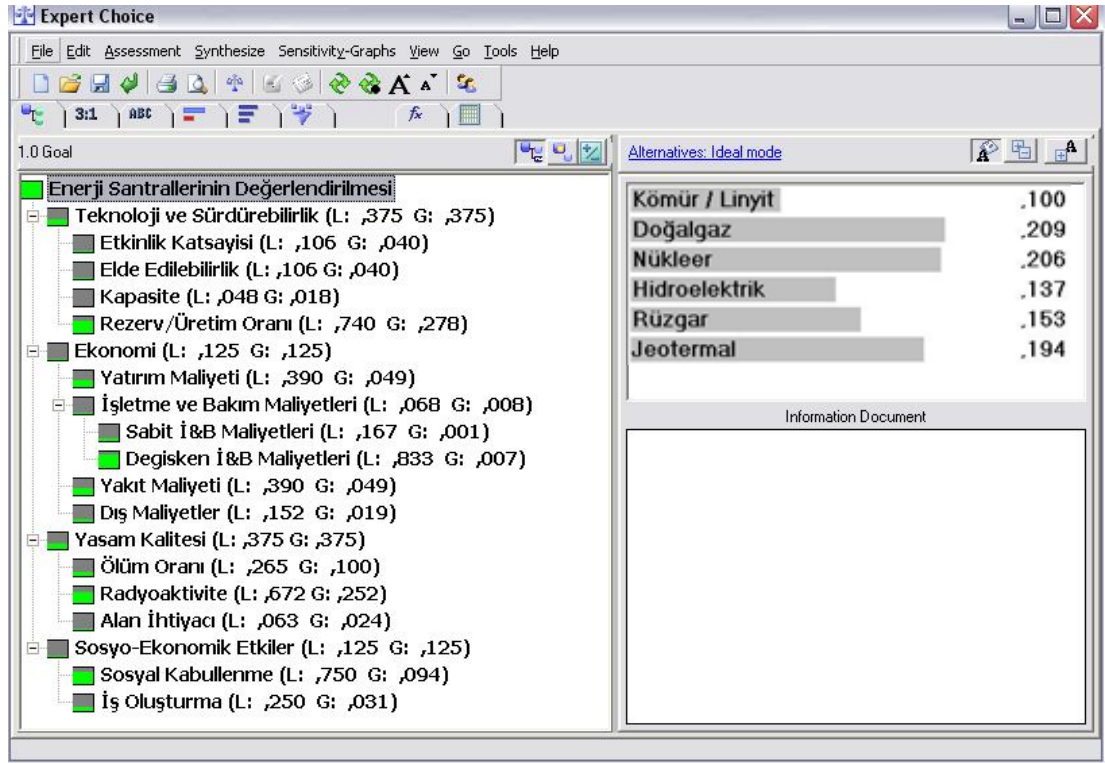
5.12. Alternatiflerle İlgili Sıralamanın Belirlenmesi

Expert Choice ve Superdecisions programlarında, tüm kriterler ve alternatifler tanımlanıp, kriterlerin birbirleriyle ve her bir kriter bazında da alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılması yapıldıktan, kriterlerin ve alternatiflerin göreceli önem değerleri belirlendikten, her bir ikili karşılaştırma matrisine ilişkin tutarlılık oranı da sağlandıktan sonra, belirlenen amacı en iyi ve en uygun şekilde gerçekleştirecek alternatifin seçilmesine geçilir.

5.12.1. Expert Choice programında alternatiflerin sıralanması

Burada alternatiflere ilişkin sıralamanın belirlenmesine yönelik Expert Choice programı farklı ekranlarda görsel seçenekler sunmaktadır. Bu seçeneklerden bazılarını aşağıdaki gibi ulaşılır:

Expert Choice'in giriş ekranına dönüldüğünde Şekil 5.9'daki ekran karşımıza gelmektedir.

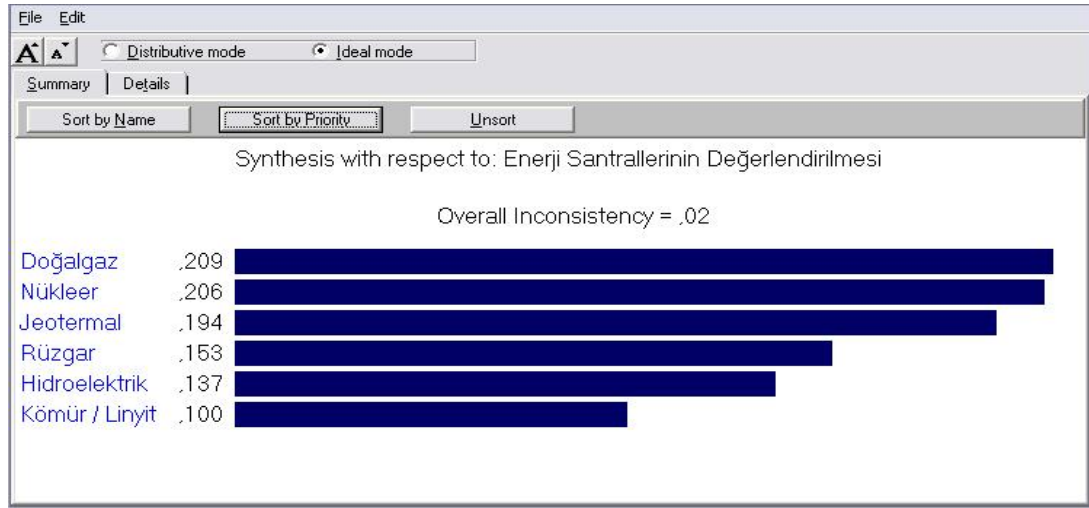


Şekil 5.9. Alternatiflerle ilgili sıralamanın expert choice programındaki görünümü

Şekil 5.9’de görüntüsü verilen ekranın sol tarafındaki satırlara tıklanıldığında sağ tarafta alternatiflere ilişkin göreceli önem değerleri ekrana gelecektir. Örneğin burada kriterlerden biri üzerine gelinerek tıklanıldığında ekranın sağ tarafında bu kriter bazında alternatiflerin göreceli önem değerleri görülecektir. Bu nedenle de uygulama probleminin amacı üzerine tıklanıldığında da, hem kriterlerin hem de alternatiflerin her bir kriter bazında karşılaştırılmasından elde edilen göreceli önem değerleri Expert Choice programı tarafından otomatik olarak bütünleştirilecek ve böylece amacımızı gerçekleştirecek alternatiflerin sıralaması elde edilebilecektir. Uygulama probleminin alternatiflere ilişkin sıralamasının Expert Choice programındaki görünümü Şekil 5.10’daki gibidir.

Şekil 5.9’deki “Synthesize” menüsünden “with Respect to Goal” seçeneği tıklanarak ulaşılır. Burada “Summary” butonu tıklanarak ve “Sort by Priority” linki seçilerek belirlenen amaç doğrultusunda alternatiflerin en önemli olandan en önemsiz olana doğru sıralaması elde edilmektedir. Bu ekran karar vericiye görsel ve otomatik olarak

daha kolay şekilde alternatiflerin sıralamasının yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 5.10'da alternatiflerin en önemliden en önemsiz doğru sıralaması görülmektedir.



Şekil 5.10. Expert Choice programında alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi

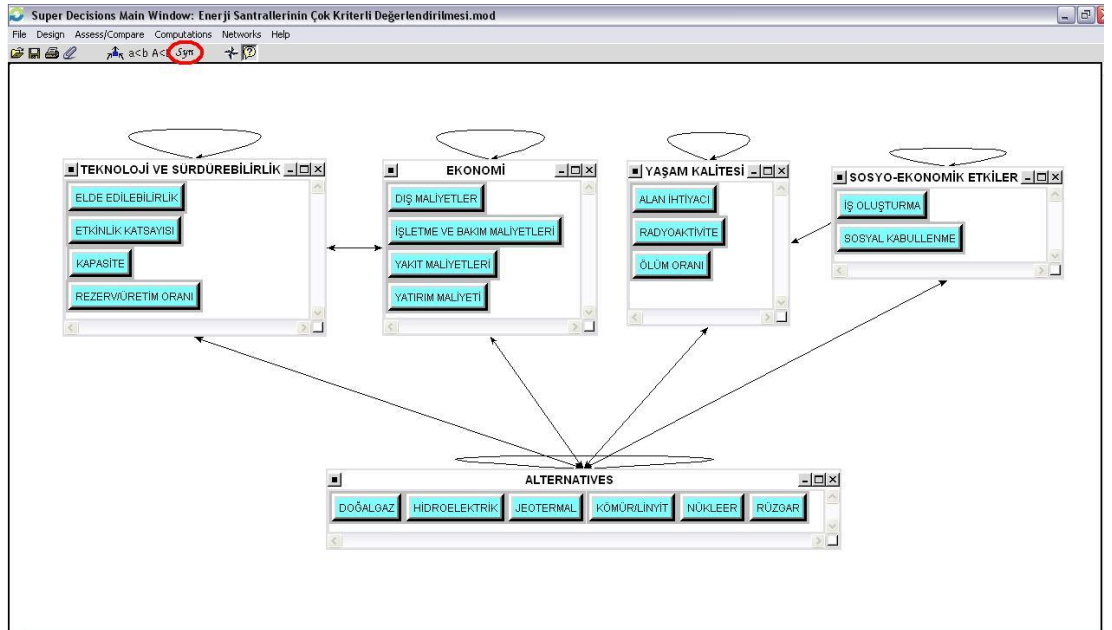
Şekil 5.10'dan da görüleceği gibi uygulama problemi için AHP ile çözümde en uygun çözüm doğalgaz enerji santrali alternatifidir. Bundan sonra ise sırasıyla nükleer enerji, jeotermal, rüzgar, hidroelektrik ve kömür/linyit enerji santralleri alternatifleri gelmektedir. doğalgaz enerji santrali alternatifinin belirlenen amacı başarmadaki göreceli önem değeri diğer bir deyişle önceliği ise 0,209'dur ve diğer alternatiflere göre doğalgaz enerji santrali alternatifi daha önemlidir. Bu nedenle de AHP yöntemine göre uygulama probleminin çözülmesi neticesinde doğalgaz enerji santrali alternatifi nihai kararı oluşturacaktır.

AHP ile Expert Choice programında yapılan çözüm aynı zamanda Superdecisions programında da yapılabilmektedir. Superdecisions programında AHP ile yapılan çözümde de benzer sonuçlar elde edilebilir.

5.12.2. Superdecisions programında alternatiflerin sıralanması

Superdecisions programında alternatifler ve kriterler girildikten ve bunlar arasındaki ilişkiler Expert Choice programında olduğu gibi tanımlandıktan sonra sıralama programın yapmış olduğu işlemler sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Superdecisions programında Şekil 5.11’da gösterilen giriş ekranındaki “Synthese” tuşuna tıklanıldığında alternatifler arasındaki sıralama elde edilmektedir.

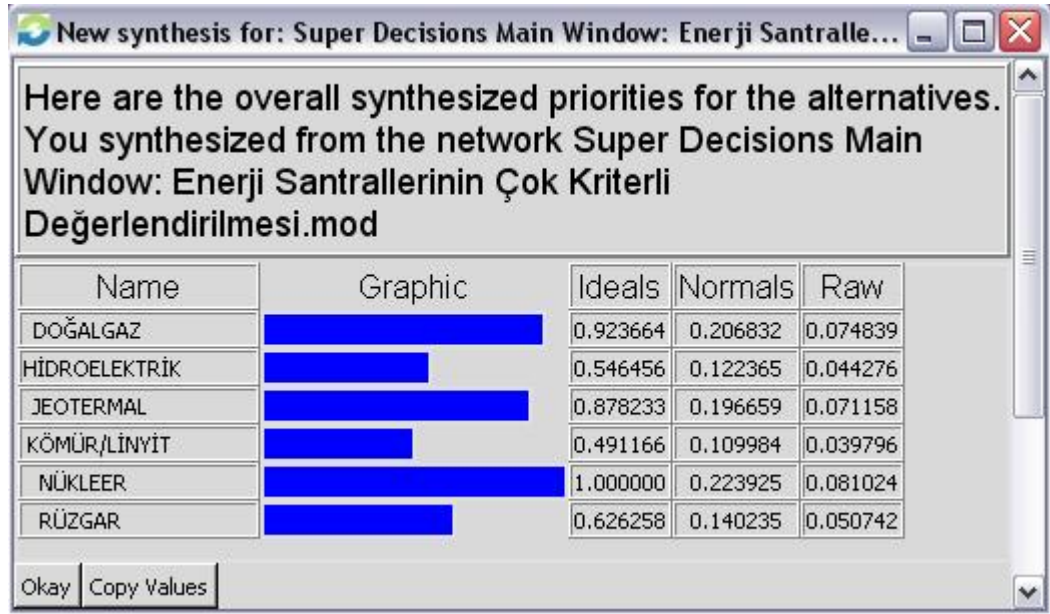


Şekil 5.11. Superdecisions programında alternatiflerin sıralanması giriş ekranı

Ortaya çıkan enerji santrallerinin sıralaması görsel olarak karar vericiye enerji santrallerinin hangisinin daha önemli, hangisinin daha öz önemli olduğunu ortaya koyacak şekilde göstermektedir. Şekil 5.12’de Superdecisions programında ortaya çıkan enerji santrallerinin sıralamasını göstermektedir.

Şekil 5.12’den görüleceği gibi uygulama problemi için en uygun alternatif nükleer enerji santrali alternatifidir. Bundan sonra doğalgaz, jeotermal, rüzgar, hidroelektrik ve kömür/linyit enerji santralleri alternatifleri gelmektedir. Nükleer enerji santrali alternatifinin normalleştirilmiş önem değeri 0,223’tür ve diğer alternatiflere göre

daha önemlidir. Buna göre AŞP yöntemine göre nükleer enerji santrali alternatifi nihai karar olacaktır.



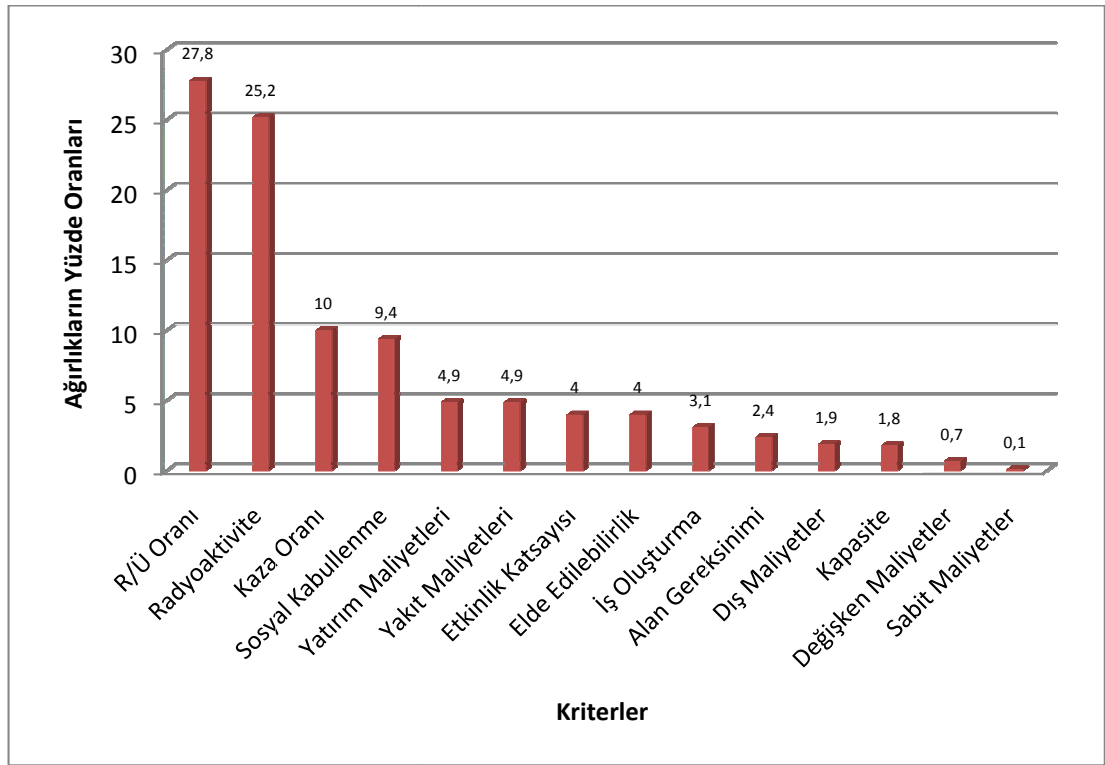
Şekil 5.12. Superdecisions programında alternatiflerin sıralamasının belirlenmesi

5.13. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizinin yapılması karar vericilere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Duyarlılık analizi altında yapılan bu inceleme, ikili karşılaştırmaların oluşturulmasında yargıların kişiden kişiye farklılık gösterebileceği veya daha önce belirli bir yargıda bulunan kişilerin zamanla düşüncelerinin farklılaşabileceği varsayımına dayanmaktadır

Mevcut uygulama probleminde Expert Choice ve Superdecisions programlarında alternatifleri etkileyen kriter ve alt kriterlerden hangisinin alternatiflerin sıralamasını daha çok etkilediğinin görülmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Exper choice programı alt yapısında “Sensitivity-Graph” menüsünden “Dynamic” seçeneğine tıklanarak her bir kriter ve alt kriterin değiştirilmesinin alternatiflere ne gibi etkisi olduğu görülebilmektedir.

Bu doğrultuda uygulama problemine ilişkin olarak kriter ve alt kriterlere ait lokal ve global ağırlıklar Ek-6'de verilmiştir. Bu ağırlıklara göre Şekil 5.13'de gösterilen kriterler arası önem sırası yapılmıştır.



Şekil 5.13. Kriterler arası önem sırası

Buna göre R/Ü Oranı %27,8 oran ile alternatifleri en çok etkileyen kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. İkinci sırada ise % 25,2 oran ile radyoaktivite gelmektedir.

R/Ü oranı ve radyoaktivitenin değiştirilmesi enerji santrallerinin sıralamasını da doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle karar vericinin bu iki kriteri dikkatli değerlendirerek karar vermesi gerekmektedir.

Enerji santrallerinin değerlendirilmesini en az etkileyen kriterler ise işletme ve bakım maliyetleri altında bulunan değişken ve sabit işletme ve bakım maliyetleridir. Bu kriterler çok düşük bir yüzde ile karar problemi içerisinde bulunmaktadır. Bu kriterlerin oranlarının değiştirilmesi karar probleminin sonucunu etkilememektedir.

6. SONUÇLARIN ANALİZİ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, ülkemizde faaliyet halinde bulunan ve daha sonra kurulması düşünülen altı farklı enerji santralinin, teknoloji ve sürdürülebilirlik, ekonomi, yaşam kalitesi ve sosyo-ekonomik etkiler ana kriterleri açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirme sırasında AHP ve AŞP yöntemleri kullanılarak Expert Choice ve Superdecisions programlarında en iyi alternatif çözümü aranmıştır.

AHP ile yapılan çözümde kullanılan Expert Choice programı sonucuna göre doğalgaz enerji santrallerinin en iyi çözüm olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak ülkemizde varolan toplam 4.067 km lik doğalgaz boru hatları ile bir doğalgaz boru hattının yaklaşık 1.4 M\$/km ile taşınma maliyeti ve Türkiye'nin Avrasya bölgesindeki konumu dikkate alındığında nükleer ve yenilenebilir enerji santralleri gelecek için en iyi çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji santrallerinin yakıt gereksinimlerinin olmayışı nedeniyle bu santraller için yakıt maliyetleri göz önüne alınmamıştır. Aynı zamanda kaynağının sınırsız olması da bu enerji santrallerine büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Yenilenemeyen enerji santralleri içerisinde ise nükleer enerji santralleri en iyi sonuca sahiptir. Doğalgaz enerji santralleri ile karşılaştırdığımızda ise nükleer enerji santrallerinin daha düşük yakıt maliyetine sahipken, yüksek yatırım maliyetine ve olumsuz çevresel etkilere sahip olduğu da görülmektedir.

AŞP kullanılarak, Superdecisions programında ulaşılan çözüm sonucunda ise nükleer enerji santralleri en iyi sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Nükleer enerji santrallerinin en iyi çözüm olarak çıkmasında, alternatifler ile kriterlerin karşılıklı etkileşimlerinin olmasının, kapasite kriterinin yatırım maliyeti kriterini etkilemesinin ve radyoaktivite kriterinin sosyal çevre tarafından kabul edilebilirlik kriterini etkilediği varsayımlarının etkisi olmuştur. Çıkan sonuç göz önüne alındığında nükleer enerji santralinin ardından az bir farkla doğalgaz enerji santrallerinin en iyi ikinci enerji santrali olduğu ortaya konmaktadır. Bu iki enerji santralini ardından diğer enerji

santrallerindeki sıralama AHP ile Expert Choice proramı sonucunda elde edilen sonuç ile benzer sonuçlar vermektedir.

Her iki yöntem ve program dikkate alındığında nükleer enerji santrallerinin kriterler açısından en iyi enerji santrali olduğu anlaşılmıştır. Nükleer enerji santrallerinin ülkemizde kurulmasının ileriye yönelik olarak daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır. Bu enerji santralinden sonra sırasıyla doğalgaz enerji santralleri, jeotermal enerji santralleri, rüzgar enerji santralleri, hidroelektrik enerji santralleri ve kömür/linyit enerji santralleri sıralanmaktadır. Kömür/Linyit enerji santrallerinin son sırada olmasının en önemli nedeni R/Ü oranının düşük ve radyoaktivite değerlerinin yüksek olması ve bu iki kriterin enerji santrallerinin sıralamasını doğrudan etkilemesidir.

Yapılan çalışmada teknoloji ve sürdürülebilirlik ana kriteri altında bulunan R/Ü oranı kriteri en fazla önem derecesine sahip olmuştur. R/Ü oranı kriteri enerji santralleri alternatiflerinin sıralanmasında da büyük öneme sahip olduğu görülmüştür. Bunun dışında radyoaktivite kriteri de diğer önemli alt kriter olarak enerji santrallerinin değerlendirilmesinde ön plana çıkmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre nükleer enerji santralleri teknik kriterler bakımından diğer enerji santrallerine göre bir çok açıdan daha avantajlı görünmektedir. Ülkemizin enerjiye olan ihtiyacı da göz önüne alındığında nükleer enerji santrallerinin bir an önce kurularak bugün enerjiye bağımlılığımızda en önemli kaynak olan doğalgaz ithalatının da düşük rakamlara çekilmesi her açıdan ülkemize fayda sağlayacaktır.

Tüm bunların yanında enerji santrallerinin değerlendirilmesi yapılırken ülkelerarası antlaşmalar, ilişkiler ve ülkenin jeopolitik konumu da göz önüne alınmalıdır. Her ne kadar ülkelerin birbirleriyle olan karşılıklı çıkar ilişkileri yıldan yıla değişse de bu çalışma enerji alanında çalışanlar ve ülkemizde bu konudaki karar vericilere destek sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Tekel, E., “Termik Santrallerin Enerji ve Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 1-17 (2006).
2. Rahim, M.A., “Doğalgazla Çalışan Bir Kombine Çevrim Santralin Tasarımı, Optimizasyonu ve Enerji Verimliliği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 1-5 (2008).
3. İnternet : Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, “Enerji – Kömür”
http://www.tki.gov.tr/dosyalar/enerji_komur.pdf (2010).
4. İnternet : Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü, “Termik Santrallerin 2010 Yılı Temmuz Sonu Üretim Programı ve Üretim Bilgileri”
<http://www.euas.gov.tr/EUAS/WPX/temmuz2010-10.pdf> (2010).
5. Say, N.P., “Lignite-fired Thermal Power Plants and SO₂ Pollution in Turkey”, **Energy Policy**, 34: 2690-2701 (2006).
6. İnternet : Konya Ticaret Odası, “Doğalgaz Nasıl Kullanılacak”
<http://www.kto.org.tr/tr/dergi/dergiyazioku.asp?yno=97&ano=37> (2004).
7. Ünver, Ü., Kılıç, M., Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Termodinamik Analizi, **Mühendis ve Makina**, 545: 47-56 (2005).
8. Özkök, V., “Hidroelektrik Potansiyel Belirleme Metotları ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-11 (2006).
9. İnternet : Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, “Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli” www.eie.gov.tr/turkce/YEK/HES/proje/turkeyhidro.doc (2010).
10. İnternet : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, “Nükleer Enerjiden Elektrik Üretimi”
<http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/82-nukleer-enerji/236-nukleer-enerjiden-elektrik-uretimi.html> (2009).
11. Şamilgil, E., “Jeotermal Enerji”, **Yıldız Teknik Üniv. Kocaeli Müh. Fak. Jeo. Müh. Böl.**, 262: 1(1992).
12. İnternet : Maden İşleri Genel Müdürlüğü, “Jeotermal Enerji”
http://eski.maden.org.tr/resimler/ekler/20ad4d76fe97759_ek.pdf?tipi=23&turu=X&s_ube=0 (2004).
13. İnternet : Denizli Valiliği, “Jeotermal Enerji”
<http://www.denizli.gov.tr/web/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=37> (2007).

14. İnternet : Dokuz Eylül Üniversitesi, “Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Mevcut Durumu” <http://web.deu.edu.tr/jenarum/index.php/turkyede-jeotermal> (2010).
15. Demirel, M., “Jeotermal Enerjinin Yerleşim Alanlarına Ekonomik Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kütahya, 12-31(1998).
16. ÖRME Jeotermal, “Jeotermal Merkezi Isıtmanın Dünyada ve Türkiye’deki Durumu ve Ekonomisi”, *Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, 94-2 (1994).
17. Şimşek, V., “Rüzgar Enerjisi ve Sivas Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 4-29 (2007).
18. Yaman, Y., “Rüzgar Lisans Başvurularında son durum” **ICCI Conference and Exhibition**, 1-15 (2010).
19. Aras, H., Eroğmuş, Ş., Koç, E., “Multi-Criteria Selection for a Wind Observation Station Location Using Analytic Hierarchy Process”, *Renewable Energy*, 29: 1383-1392 (2004).
20. Toklu, M., “Rüzgar Enerjisi ve Elazığ Şartlarında Bir Rüzgar Santrali Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 66-76 (2002).
21. Saaty, L.T., “Fundamentals of Decision Making and Priority heory with Analytic Hierarchy Process”, *RWS Publications*, Pittsburgh, 1-450 (1994).
22. Tezcan, Ö., “AHP (Analytic Hierarchy Process) Yöntemi ve Hazır Beton Tesisi Arazi Seçiminde Uygulaması”, *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, 68:58-62 (2007).
23. Yaralıoğlu, K., “Performans Değerlendirmede Analitik Hiyerarşi Prosesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 16 (1): 129-142 (2001).
24. Aydın, G., “Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Kocaeli, 26-35 (2008).
25. Saaty, T.L., Özdemir, M., “Negative Priorities in the Analytic Hierarchy Process”, *Mathematical And Computer Modelling*, 37: 1063-1075 (2003).
26. Saaty, R.W., “The Analytic Hierarchy Process-What is and How it is used”, *Mathematical Modelling*, 9 (3-5): 161-176 (1987).

27. Yetim, S., “Tek Değişkenli Reel Değerli Fonksiyonlarda Türev Kavramına Etki Eden Bazı Matematik Kavramların Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Analizi”, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 12 (1): 137-156 (2004).
28. Saaty, T.L., “Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process”, *Behaviormetrica* 29: 1-9. (1991).
29. Tadisina, S.K., Troutt, M.D., Bhasin, V., “Selecting a Doctoral Programme Using the Analytic Hierarchy Process-The Importance of Perspective”, *The Journal of the Operational Research Society*, 42 (8) : 631-640 (1991).
30. Bryson, N., Mobolurin, A., “An Approach to Using The Analytic Hierarchy Process For Solving Multiple Criteria Decision Making Problems”, *European Journal of Operational Research*, 76 (3): 440-454 (1994).
31. Ahire, S.L., D.S., “Selection of Total Quality Management Pilot Projects Using on Multiple Criteria Decision Making Approach”, *The International Journal of Quality and Reliability*, 15 (1) : 21-43 (1995).
32. Honert, R.C.V.D., Lootsma, F.A., “Group Preference Aggregation in the Multiplicative AHP the Model of the Group Decision Process and Pareto Optimality”, *European Journal of Operational Research*, 96 : 363-370 (1996).
33. Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M., “İş Değerlendirme Sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Uygulaması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (2): 131-138 (2004).
34. Güngör, İ., İşler, D.B., “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile Otomobil Seçimi”, *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (2) : 21-33 (2005).
35. An, S., Kim, G., Kang, K., “A Case-Based Reasoning Cost Estimating Model Using Experience By Analytic Hierarchy Process”, *Building and Environment*, 42 (7) : 2573-2579 (2007).
36. Oğuzlar, A., “Analitik Hiyerarşi Süreci ile Müşteri Şikayetlerinin Analizi”, *Akdeniz İİBF Dergisi*, 126 : 83-105 (2007).
37. Gencer, C., Aydoğan, K.E., Aytürk, S., “Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Hafif Makineli Tüfek Seçimi”, *Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi*, 7 (2): 187-105 (2008).
38. Özden, Ü.H., “Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile İlkokul Seçimi”, *Marmara Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 24 (1) : 299-320 (2008).
39. Mohajeri, N., Amin, G.R., “Railway Station Site Selection Using Analytical Hierarchy Process and Data Envelopment Analysis”, *Computers & Industrial Engineering*, 59 (1) : 107-114 (2010).

40. Saaty, T.L., “Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process”, *Management Science*, 32 (7) : 841-855 (1986).
41. Keçek, G., Yıldırım, E., “Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) Sisteminin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) İle Seçimi : Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15 (1) : 193-211 (2010).
42. Dağdeviren, M., “Analitik Hiyerarşi Prosesli İle Yeni Bir Analitik Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 58 (2002).
43. Forman, E.H., Saul, I.G., “The Analytic Hierarchy Process- An Exposition”, *Operations Research Chronicle*, 49 (2001).
44. Saaty, T.L., Vargas, L.G., “Diagnosis With Dependent Symptoms : Bayes Theorem and The Analytic Hierarchy Process”, *Operations Research*, 46 (4): 491-502 (1998).
45. Saat, M., “Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Yöntemi”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2 (2): 149-163 (2000).
46. Akyıldız, E., “Analitik Hiyerarşi Süreci ve Bankacılık Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, 23 (2006).
47. Yetim, “Tek Değişkenli Reel Değerli Fonksiyonlarda Türev Kavramına Etki Eden Bazı Matematik Kavramların Analitik Hiyerarşi Prosesi İle Analizi”, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 12 (1): 137-156 (2004).
48. Kim, P.O., Lee, K.J., Lee, B.W., “Selection of an Optimal Nuclear Fuel Cycle Scenario by Goal Programming and the Analytic Hierarchy Process”, *Annals of Nuclear Energy*, 26 : 449 – 460 (1999).
49. Hacıköylü, B.E., “Analitik Hiyerarşi Karar Verme Süreci ile Anadolu Üniversitesi’nde Beslenme ve Barınma Yardımı Alacak Öğrencilerin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir, 23 (2006).
50. Yerli, R., “Kamu Çalışanlarını Motive Eden Faktörlerin Analitik Hiyerarşi İle Önceliklendirilmesi ve Bir Kamu Kuruluşunda Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 50 (2006).
51. Aydın, S. “Tutundurma Karması Elemanlarının Analitik Hiyerarşi Süreci İle Değerlendirilmesi: Türk Ev Tekstili Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir, 60 (2006).

52. Erginel, N.M., “Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği İçin Bir Model ve Uygulaması”, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15 (3) : 17-26 (2004).
53. Dağdeviren, M., Eren, T., “Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin Kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16 (2): 41-52 (2001).
54. Yılmaz, N., “Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 34 (2000).
55. Yüksel, İ., Akın, A., “Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemiyle İşletmelerde Strateji Belirleme”, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 7 (2): 254-268 (2006).
56. Saaty, T.L., Vargas, L.G., “Models, Methods, Concept and Applications of The Analytic Hierarchy Process”, *Kluwer Academic Publishers*, London, 1-125 (2001).
57. Saaty, T.L., “The Analytic Hierarchy Process”, *McGraw-Hill*, USA , 19-43 (1980).
58. Saaty, T.L., “Multicriteria Decision Making : The Analytic Hierarchy Process”, *RWS Publications*, 2nd Edition, Pittsburgh, 21 (1990).
59. Öner, A., Ülengin, F., “Silah Seçiminde AHP Yaklaşımı”, Kara Harp Okulu, **1. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu**, 1109-1122 (1995).
60. Pamukçu, B., “Analitik şebeke prosesi ve Bir Uygulama”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-24 (2003).
61. Susuz, Z., “Ahalitik Hiyerarşi Prosesi’ne Dayalı Optimum Tedarikçi Seçim Modeli”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 28 (2005).
62. Keçeci, U., “Tedarikçi Seçim Probleminde Analitik şebeke prosesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 31 (2006).
63. Yuluğkural, Y., Felek, S., Aladağ, Z., “Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının AŞP Yöntemi ile Tahminlenmesi/Pazar Payı Arttırma Amaçlı Strateji Öneri Süreci”, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 89-93 (2005).
64. Erarslan, E., “Çevresel Faktörlerin İmalat Sistemlerine Uygulanması ve Firmanın Finansal Performansı Üzerindeki Etkileri”, *Başkent Üniversitesi*, 1-14 (2002).
65. Jharkharia, S., Shankar, R., “Selection of Logistics Service Provider: An Analytic Network Process (ANP) Approach”, *The International Journal of Management Science*, 35 : 274-289 (2007).

66. Wu, W.W., Lee, Y.T., "Selection Knowledge Management Strategies By Using The Analytic Network Process", *Expert Systems With Applications*, 32 : 841-847 (2007).
67. Gencer, C., Gürpınar, D., "Analytic Network Process in Supplier Selection : A Case Study in An Electronic Firm", *Applied Mathematical Modelling*, 31 (11): 2475-2486 (2007).
68. Tuzkaya, G., Önüt, S., Tuzkaya, U.R., Gülsün, B., "An Analytic Process Approach For Locating Undesirable Facilities: An Example From Istanbul, Turkey", *Journal of Environmental Management*, 88 : 970-983 (2008).
69. Meade, L., Sarkis, J., "Strategic Analysis of Logistics and Supply Chain Management Systems Using The Analytical Network Process", *Logistics and Transpn Rev.*, 34 (3) : 201-215 (1998).
70. Saaty, T.L., "Decision Making With Dependence And Feedback", *RWS Publications*, Pittsburg, 1-150 (1996).
71. İlter, O.C., "Analitik şebeke prosesi İle Ticari Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesi", *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 34 (2006).
72. Göze, E.A., "Analitik şebeke prosesi İle Sürdürülebilir Bir Üçüncü Parti Lojistik Servis Sağlayıcısı Seçimi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 80-82 (2008).
73. Dağdeviren, M., Eraslan, E., Kurt, M., Dizdar, N.,E. "Tedarikçi Seçimi Problemine Analitik şebeke prosesi ile Alternatif Bir Yaklaşım", *Teknoloji*, 8 (2):115-122 (2005).
74. Akash, A.B., Mamlook, R., Mohsen, M.S., "Multi-Criteria Selection of Electric Power Plants Using Analytical Hierarchy Process", *Electric Power Systems Research*, 52: 29-35 (1999).
75. Afgan, N.H., Carvalho, M.G., "Multi-Criteria Assessment of New and Renewable Energy Power Plants", *Energy*, 27: 739-755 (2002).
76. Chaaban, F.B., Mezher, T., Ouwayjan, M., "Options for Emissions Reduction from Power Plants: An Economic Evaluation", *International Journal of Electrical Power & Energy System*, 26 (1) : 57-63 (2004).
77. Erdoğan, Ş., Aras, H., Koç, E. "Evaluation of Alternative Fuels for Residential Heating in Turkey Using Analytic Network Process (ANP) with Group Decision-Making", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 10: 269-279 (2006).

78. Afgan, N.H., Pilavachi, P.A., Carvalho, M.G., “Multi-Criteria Evaluation of Gas Resources”, *Energy Policy*, 35: 704-713 (2007).
79. Garg, R.K., Agrawal, V.P., Gupta, V.K., “Coding, Evaluation and Selection of Thermal Power Plants – A MADM Approach”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 29 (9): 657-668 (2007).
80. Chatzimouratidis, A.I., Pilavachi, P., “Objective An Subjective Evaluation of Power Plants and Their Non-Radioactive Emissions Using The Analytic Hierarchy Process”, *Energy Policy*, 35: 4027-4038 (2007).
81. Shin, C., Yoo, S., Kwak, S., “Applying the Analytic Hierarchy Process to Evaluation of the National Nuclear R&D Projects: The Case of Korea”, *Progress in Nuclear Energy*, 49 (5) : 375-384 (2007).
82. Köne, A.Ç., Büke, T., “An Analytical Network Process (ANP) Evaluation of Alternative Fuels for Electricity Generation in Turkey”, *Energy Policy*, 35: 5220-5228 (2007).
83. Alanne, K., Salo, A., Saari, A., Gustafsson, S., “Multi-criteria Evaluation of Residential Energy Supply Systems”, *Energy and Buildings*, 39 (12) : 1218-1226 (2007).
84. Önüt, S., Tuzkaya, U.R., Saadet, N., “Multiple Criteria Evaluation Of Current Energy Resources For Turkish Manufacturing Industry”, *Energy Conversion & Management*, 49: 1480-1492 (2008).
85. Chatzimouratidis, A.I., Pilavachi, P.A., “Multi-Criteria Evaluation of Power Plants Impact On The Living Standard Using The Analytic Hierarchy Process”, *Energy Policy*, 36: 1074-1089 (2008).
86. Chatzimouratidis, A.I., Pilavachi, P.A., “Technological, Economic and Sustainability Evaluation of Power Plants Using the Analytic Hierarchy Process”, *Energy Policy*, 37: 778-787 (2009).
87. Kowalski, K., Stagl, S., Madlener, R., Omann, I., “Sustainable Energy Futures: Methodological Challenges in Combining Scenarios and Participatory Multi-criteria Analysis”, *European Journal of Operational Research*, 197 (3) : 1063-1074 (2009).
88. Pilavachi, P.A., Stephanidis, S.D., Pappas, V.A., Afgan, N.H., “Multi-Criteria Evaluation of Hydrogen and Natural Gas Fuelled Power Plant Technologies”, *Applied Thermal Engineering*, 29: 2228-2234 (2009).
89. Kahraman, C., Kaya, İ., Cebi, S., “A Comparative Analysis for Multiattribute Selection Among Renewable Energy Alternatives Using Fuzzy Axiomatic Design and Fuzzy Analytic Hierarchy Process”, *Energy*, 34: 1603-1616 (2009).

90. Liu, C.H., Lin, S.J., Lewis, C., “Evaluation of Thermal Power Plant Operational Performance in Taiwan by Data Envelopment Analysis”, *Energy Policy*, 38 (2) : 1049-1058 (2010).

91. İnternet : Yüksek Denetim Elemanları Derneği, “Enerji Arz Güvenliği”
http://www.ydkder.org.tr/Arastirma_Makaleler/AliOZDER_Enerji_arz_guvenligi.doc (2010).

EKLER

EK-1. Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Çizelge 1.1. Etkinlik katsayısı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,01	1,18	2,03	1,13	6,57
Doğalgaz		1,00	1,16	2,05	1,11	6,50
Nükleer			1,00	2,39	1,04	5,58
Hidroelektrik				1,00	2,29	13,33
Rüzgar					1,00	5,83
Nükleer						1,00

Çizelge 1.2. Sürdürülebilirlik kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,07	1,12	1,71	2,25	1,11
Doğalgaz		1,00	1,05	1,82	2,39	1,04
Nükleer			1,00	1,92	2,53	1,01
Hidroelektrik				1,00	1,32	1,90
Rüzgar					1,00	2,50
Nükleer						1,00

Çizelge 1.3. Kapasite kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	4,27	1,28	2,39	2,21	1,17
Doğalgaz		1,00	5,45	1,78	1,93	4,97
Nükleer			1,00	3,06	2,82	1,10
Hidroelektrik				1,00	1,08	2,79
Rüzgar					1,00	2,57
Nükleer						1,00

Çizelge 1.4. Rezerv/üretim oranı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	2,46	2,34	9,00	9,00	9,00
Doğalgaz		1,00	1,05	9,00	9,00	9,00
Nükleer			1,00	9,00	9,00	9,00
Hidroelektrik				1,00	1,00	1,00
Rüzgar					1,00	1,00
Nükleer						1,00

EK–1. (Devam) Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Çizelge 1.5. Yatırım maliyeti kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,59	1,63	2,48	1,28	2,21
Doğalgaz		1,00	2,60	3,95	2,04	3,53
Nükleer			1,00	1,52	1,27	1,36
Hidroelektrik				1,00	1,93	1,12
Rüzgar					1,00	1,73
Nükleer						1,00

Çizelge 1.6. Sabit maliyetler kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,75	1,58	3,82	1,32	4,39
Doğalgaz		1,00	2,77	6,69	2,31	7,69
Nükleer			1,00	2,42	1,20	2,78
Hidroelektrik				1,00	2,90	1,15
Rüzgar					1,00	3,33
Nükleer						1,00

Çizelge 1.7. Değişken maliyetler kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,48	5,55	2,66	2,28	7,32
Doğalgaz		1,00	8,18	1,80	1,54	10,80
Nükleer			1,00	14,73	12,64	1,32
Hidroelektrik				1,00	1,17	19,44
Rüzgar					1,00	16,68
Nükleer						1,00

Çizelge 1.8. Yakıt maliyeti kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,79	4,85	9,00	9,00	9,00
Doğalgaz		1,00	8,67	9,00	9,00	9,00
Nükleer			1,00	4,00	4,00	4,00
Hidroelektrik				1,00	1,00	1,00
Rüzgar					1,00	1,00
Nükleer						1,00

EK-1. (Devam) Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

Çizelge 1.9. Dış maliyetler kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	4,20	17,14	15,00	52,50	42,00
Doğalgaz		1,00	4,08	3,57	12,50	10,00
Nükleer			1,00	1,14	3,06	2,45
Hidroelektrik				1,00	3,50	2,80
Rüzgar					1,00	1,25
Nükleer						1,00

Çizelge 1.10. Kaza oranı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	4,02	42,75	2,58	3,32	99,00
Doğalgaz		1,00	10,63	10,39	1,21	99,00
Nükleer			1,00	110,38	12,88	3,00
Hidroelektrik				1,00	8,57	99,00
Rüzgar					1,00	99,00
Nükleer						1,00

Çizelge 1.11. Radyoaktivite kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
Doğalgaz		1,00	1,20	1,00	1,00	1,00
Nükleer			1,00	1,20	1,20	1,20
Hidroelektrik				1,00	1,00	1,00
Rüzgar					1,00	1,00
Nükleer						1,00

Çizelge 1.12. Alan ihtiyacı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,00	1,00	300,00	40,00	7,20
Doğalgaz		1,00	1,00	300,00	40,00	7,20
Nükleer			1,00	300,00	40,00	7,20
Hidroelektrik				1,00	7,50	41,67
Rüzgar					1,00	5,56
Nükleer						1,00

EK-1. (Devam) Alternatifler bazında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması

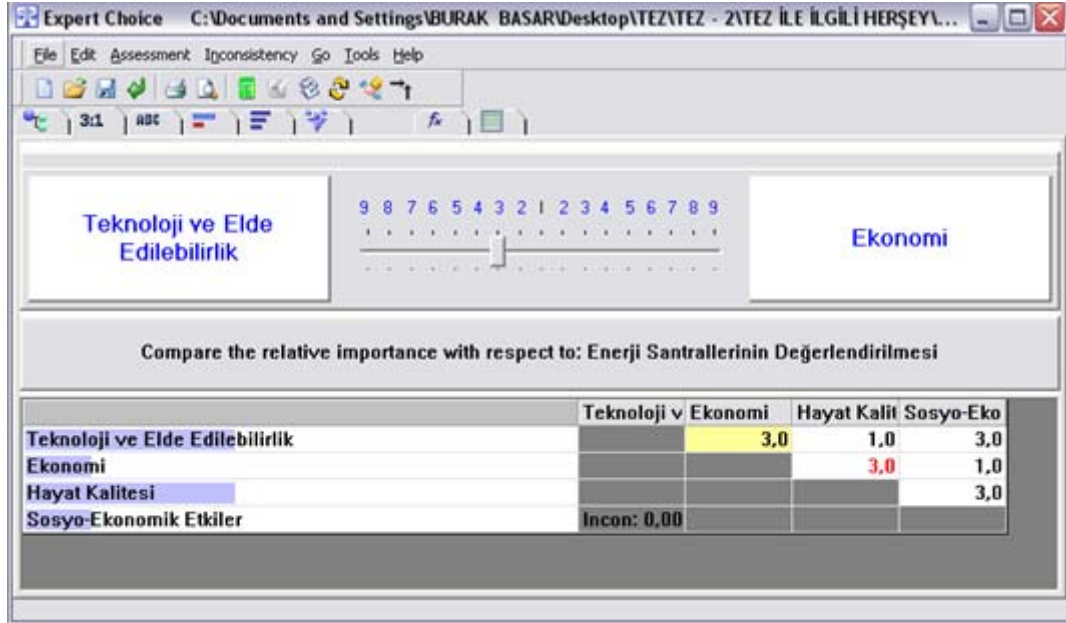
Çizelge 1.13. Sosyal kabullenme kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	1,02	1,00	1,00	2,25	10,82
Doğalgaz		1,00	1,02	1,02	2,29	11,00
Nükleer			1,00	1,00	2,25	10,82
Hidroelektrik				1,00	2,25	10,82
Rüzgar					1,00	4,80
Nükleer						1,00

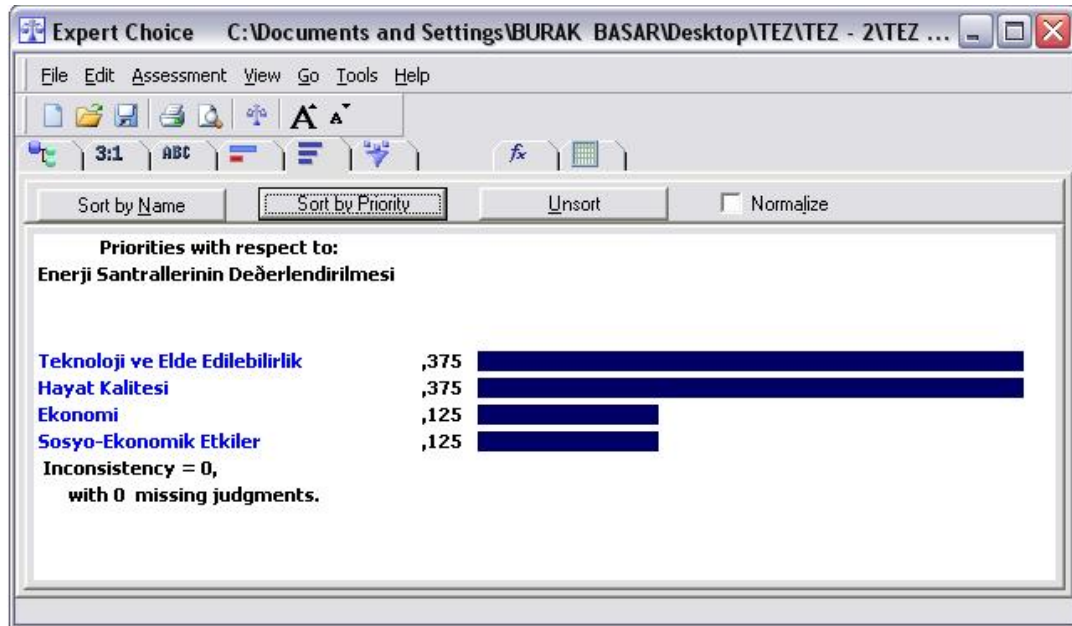
Çizelge 1.14. İş oluşturma kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisi

	Kömür/Linyit	Doğalgaz	Nükleer	Hidroelektrik	Rüzgar	Jeotermal
Kömür/Linyit	1,00	4,20	17,14	15,00	52,50	42,00
Doğalgaz		1,00	4,08	3,57	12,50	10,00
Nükleer			1,00	1,14	3,06	2,45
Hidroelektrik				1,00	3,50	2,80
Rüzgar					1,00	1,25
Nükleer						1,00

EK-2. Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünüşleri ve göreceli önem değerleri

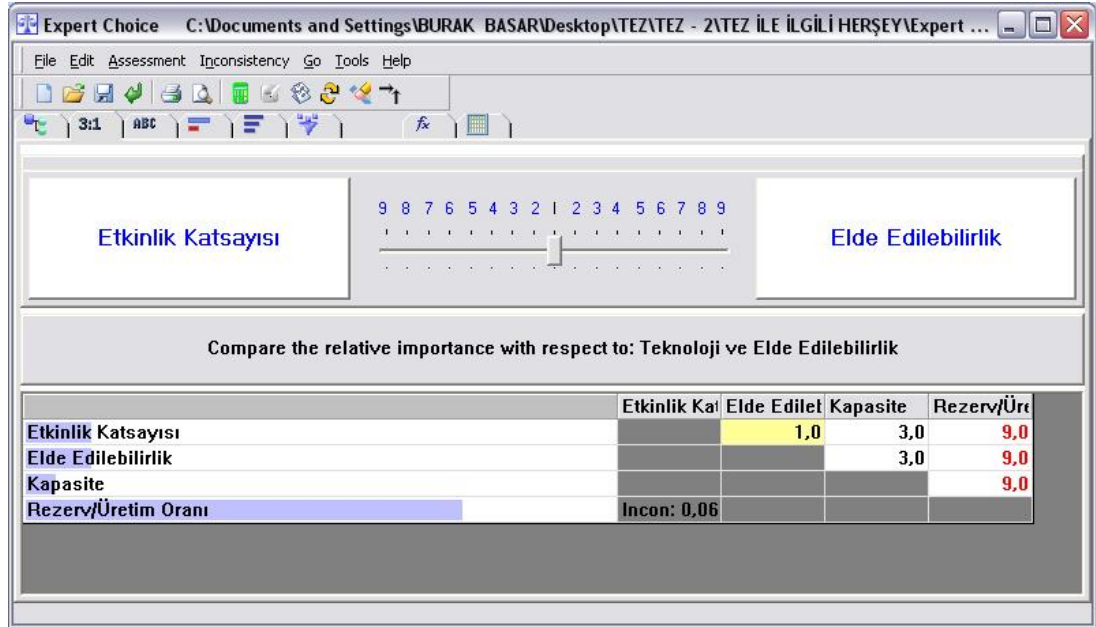


Şekil 2.1. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

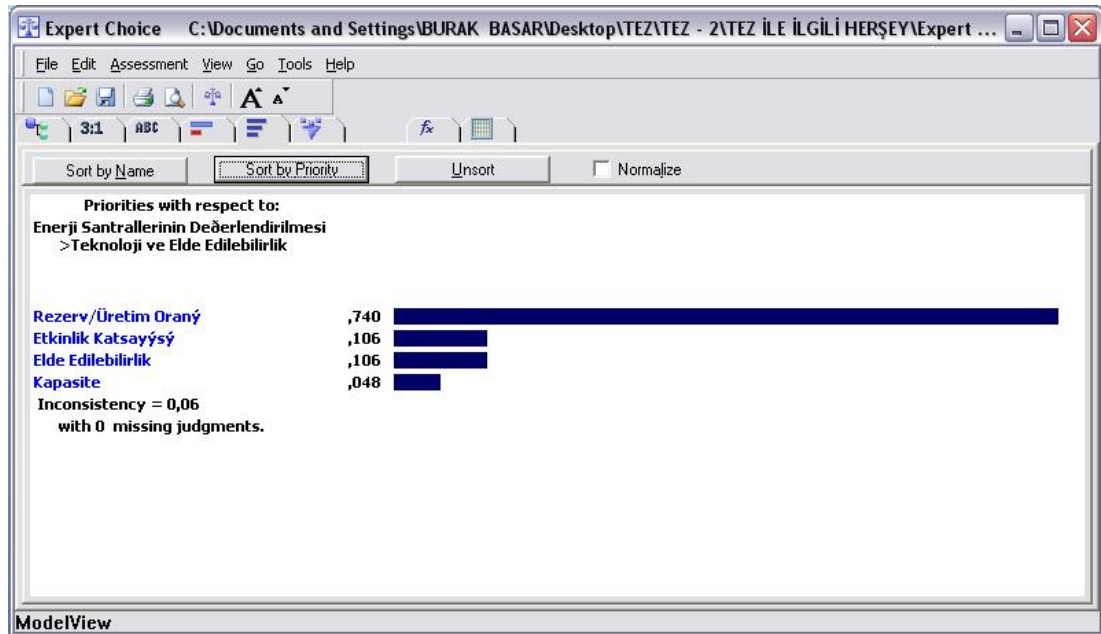


Şekil 2.2. Ana kriterlerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

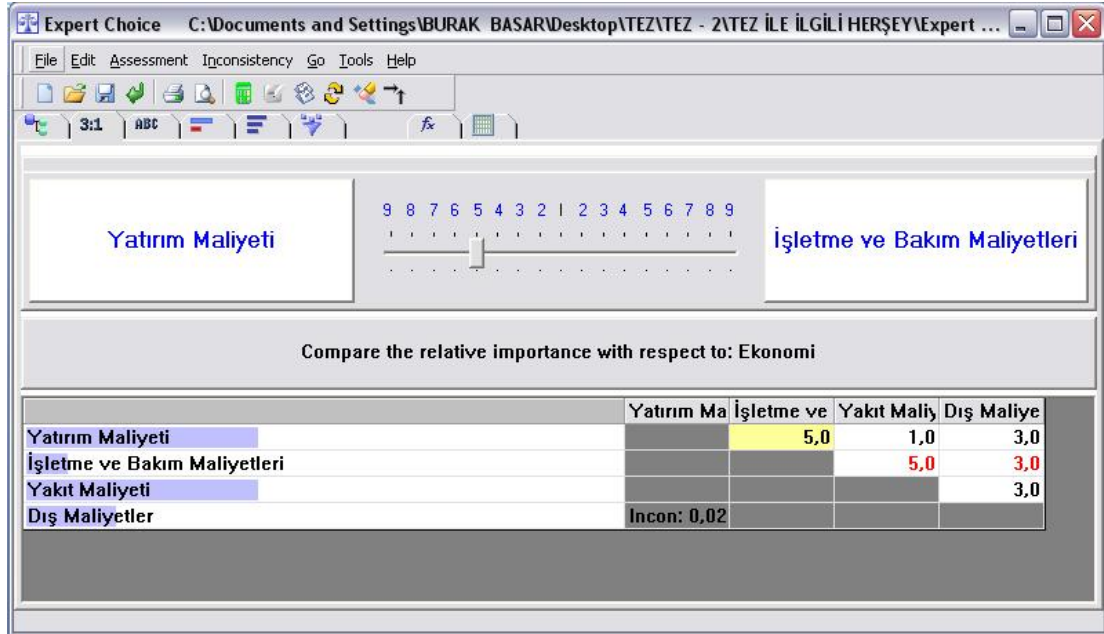


Şekil 2.3. Teknoloji ve elde edilebilirlik alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

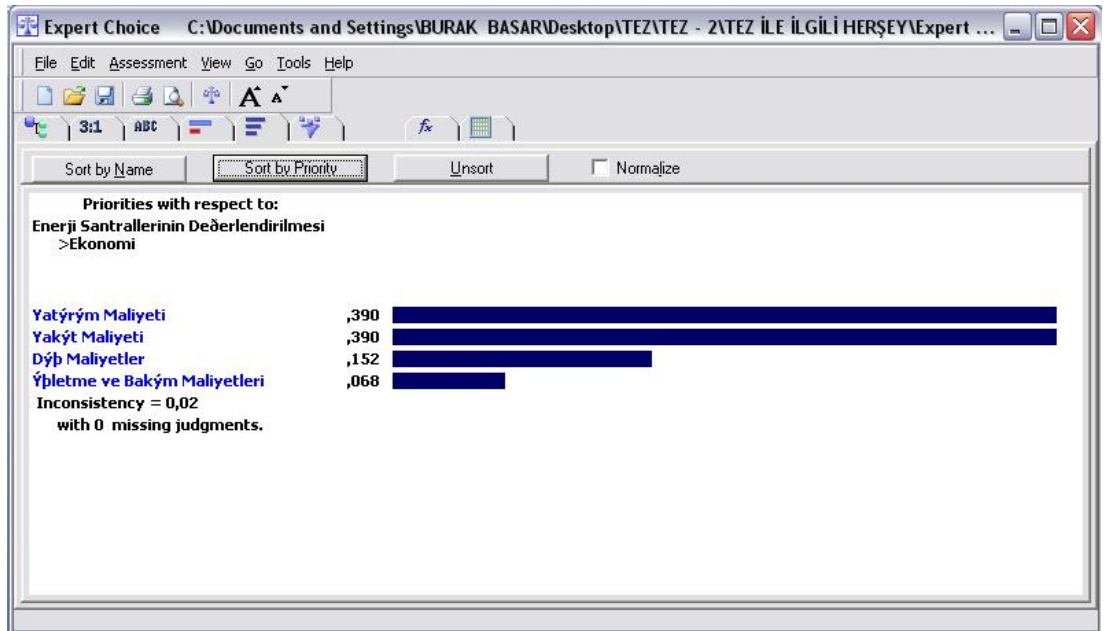


Şekil 2.4. Teknoloji ve elde edilebilirlik alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

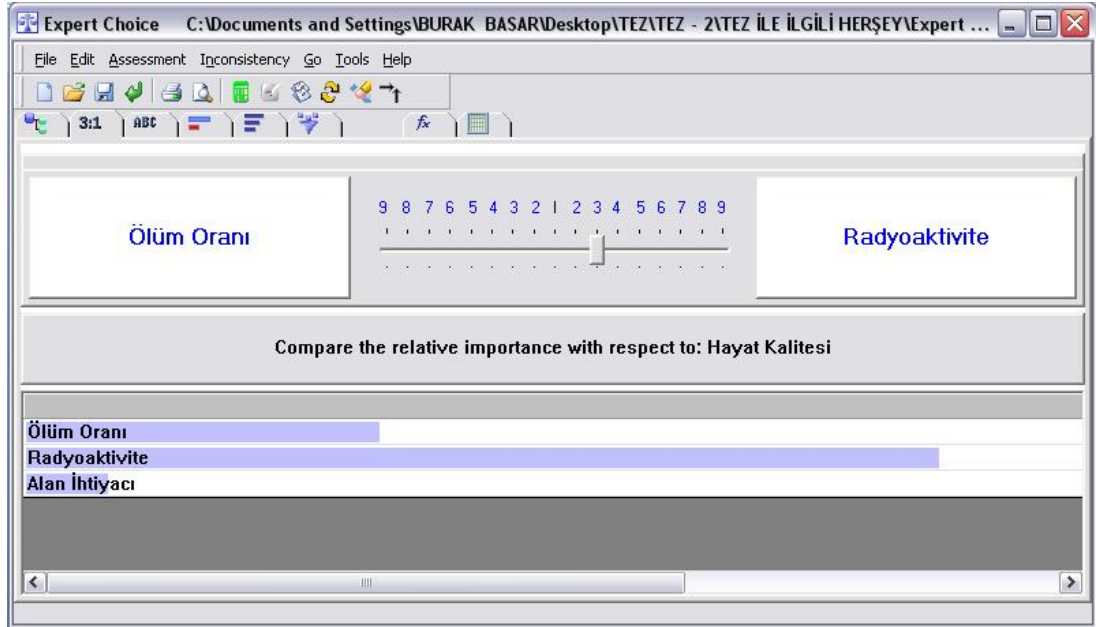


Şekil 2.5. Ekonomi alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

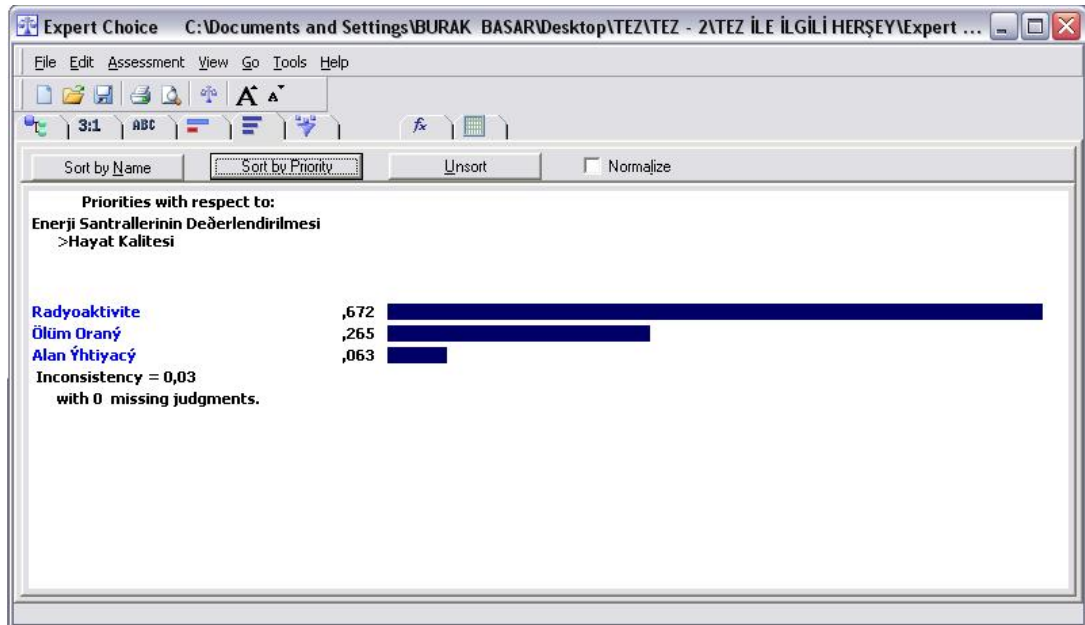


Şekil 2.6. Ekonomi alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünüşleri ve göreceli önem değerleri

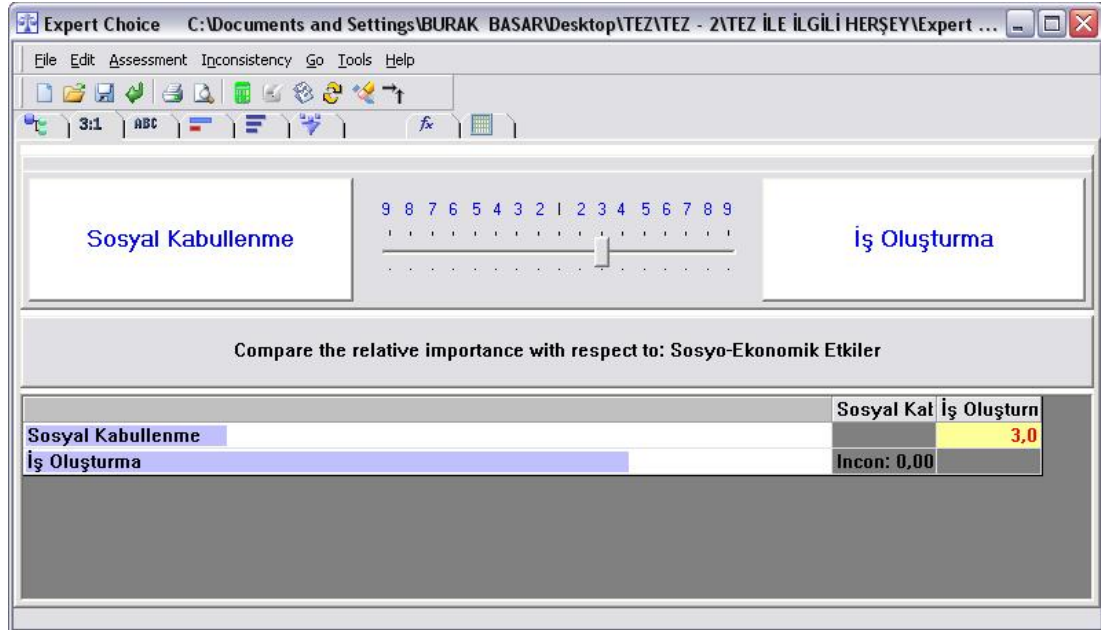


Şekil 2.7. Yaşam kalitesi alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

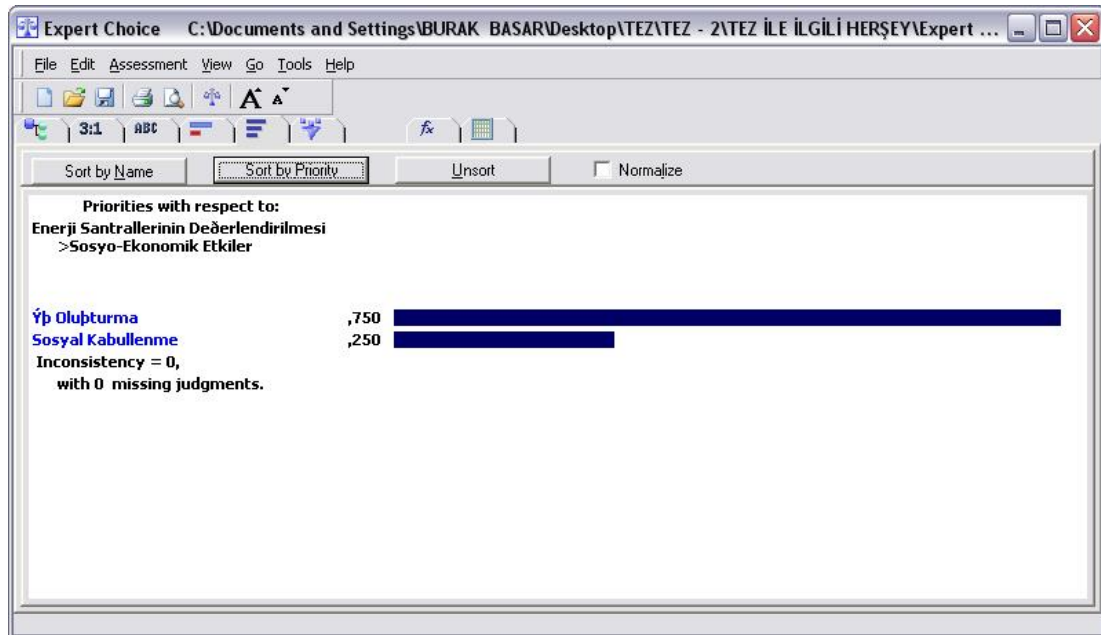


Şekil 2.8. Yaşam kalitesi alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

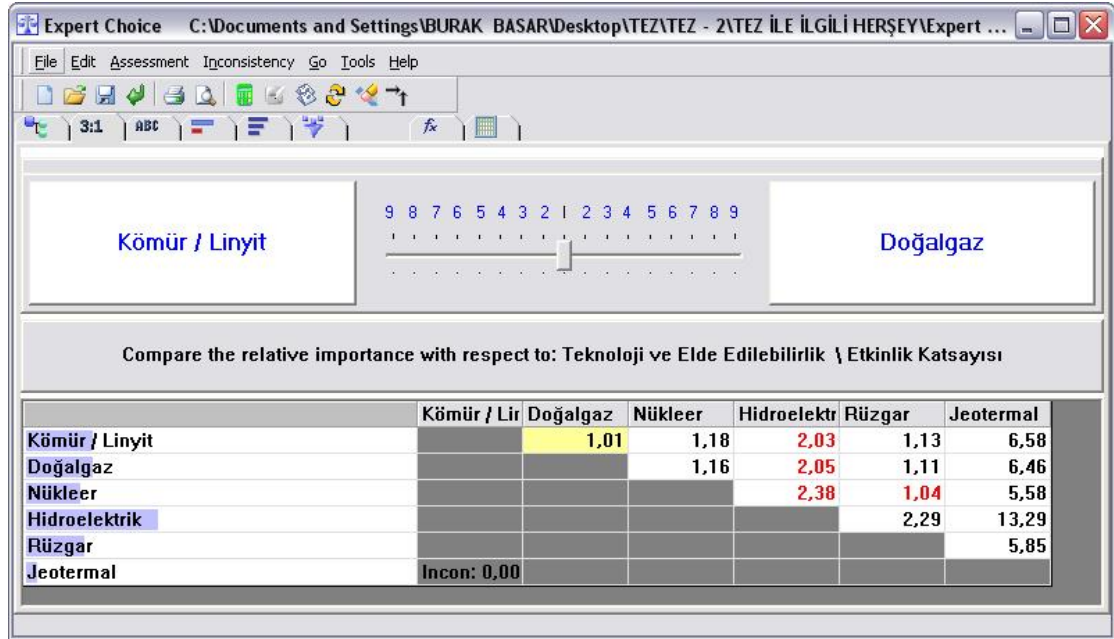


Şekil 2.9. Sosyo-ekonomik etkiler alt kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

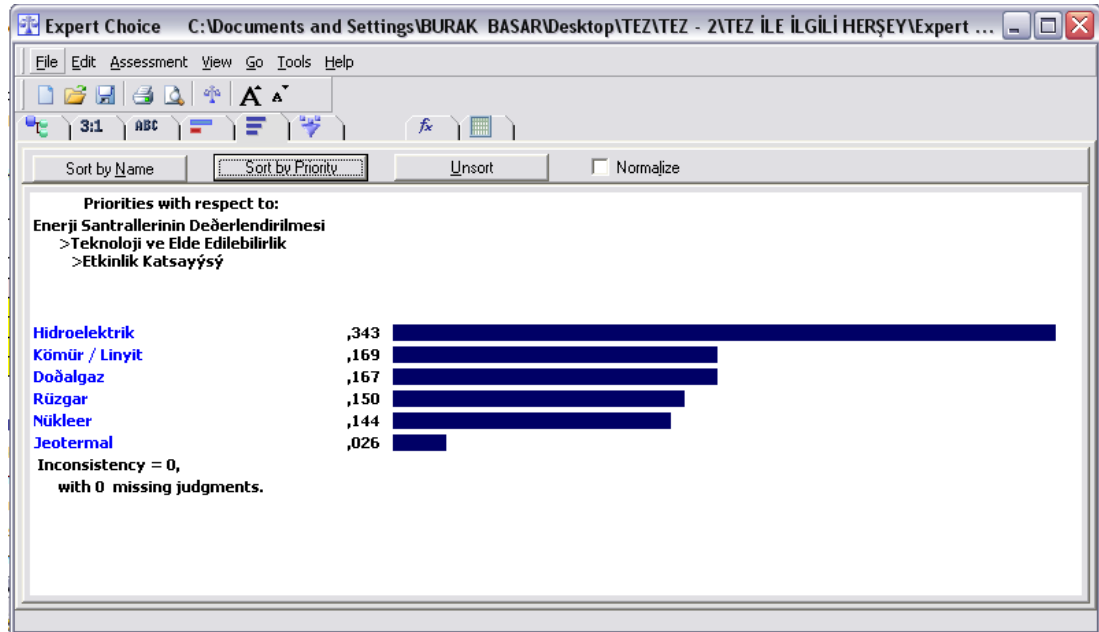


Şekil 2.10 Sosyo-ekonomik etkiler alt kriterlerinin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünüşleri ve göreceli önem değerleri

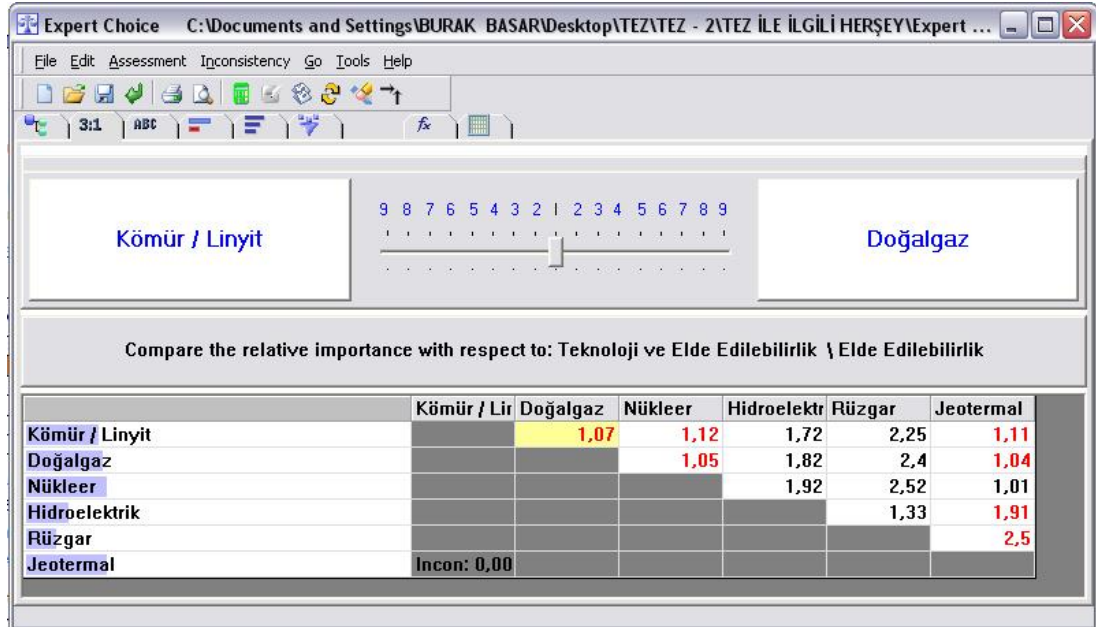


Şekil 2.11. Etkinlik katsayısı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

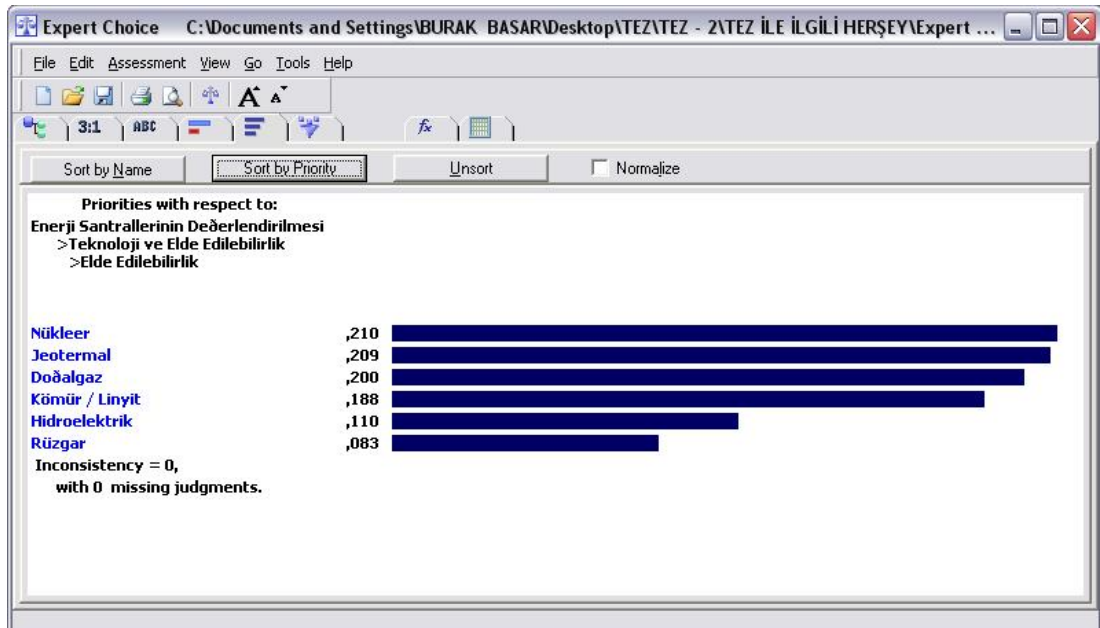


Şekil 2.12. Etkinlik katsayısı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünüşleri ve göreceli önem değerleri

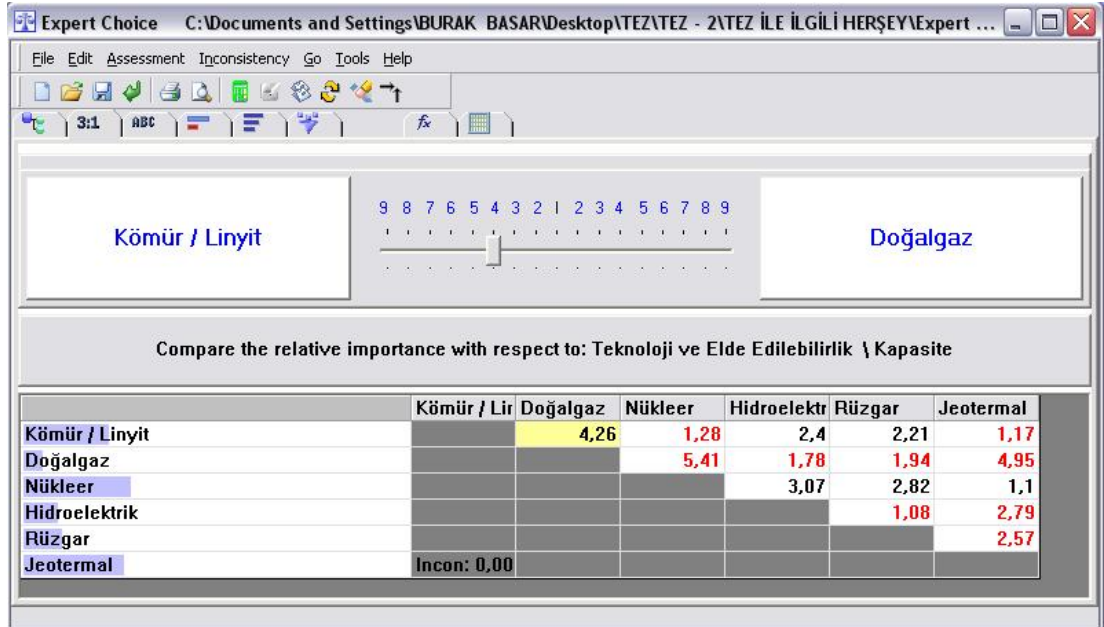


Şekil 2.12. Elde edilebilirlik kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

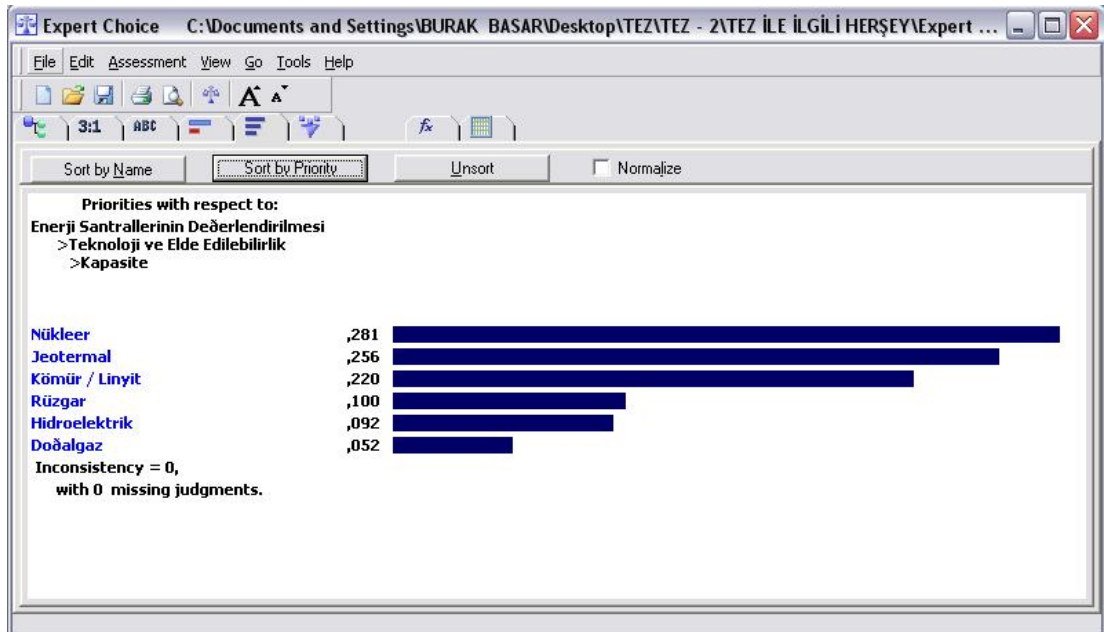


Şekil 2.13. Elde edilebilirlik kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

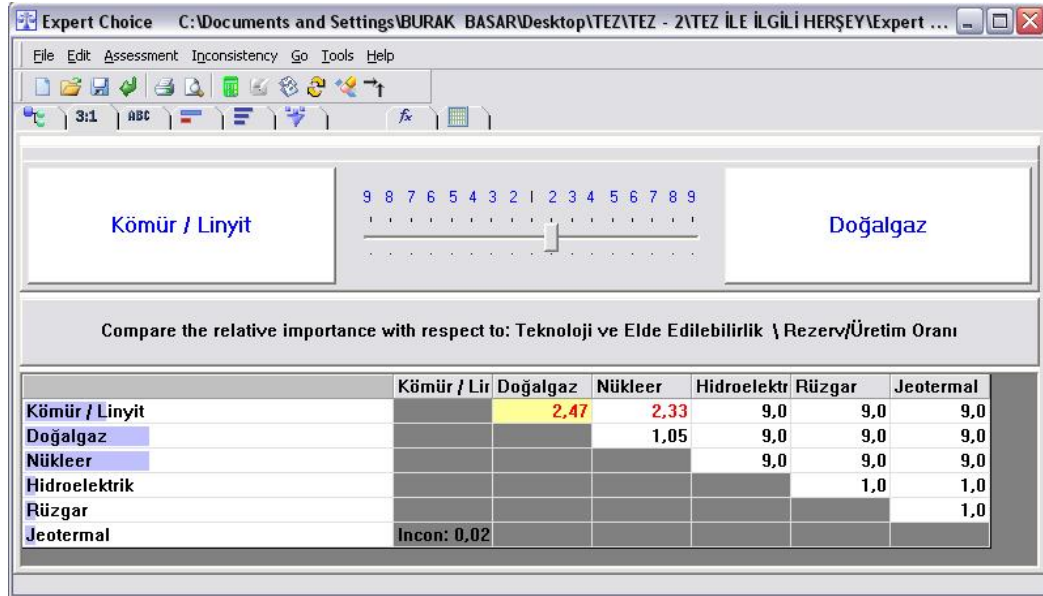


Şekil 2.14. Kapasite kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

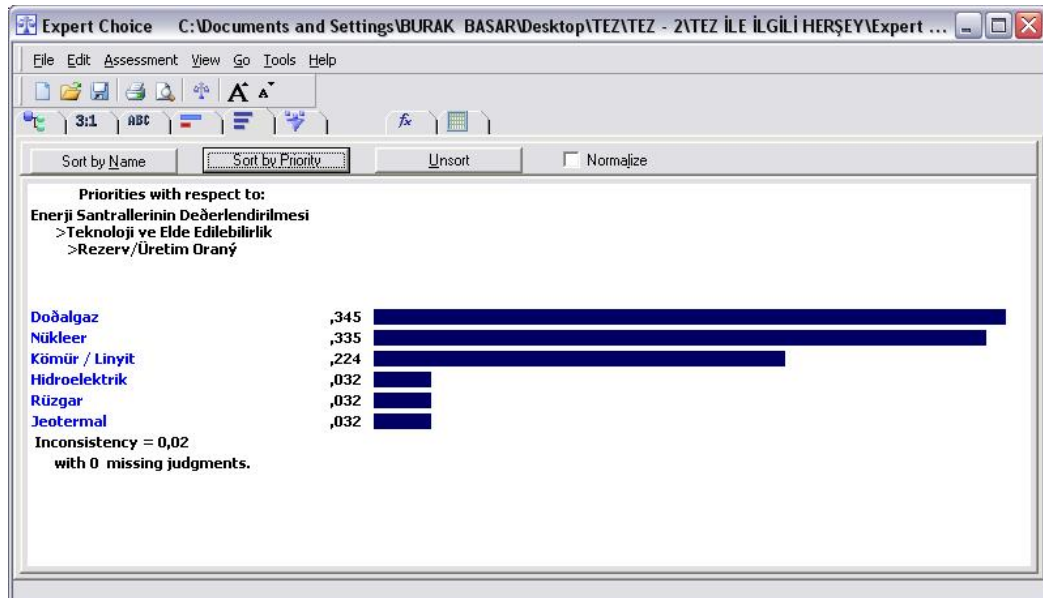


Şekil 2.15. Kapasite kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

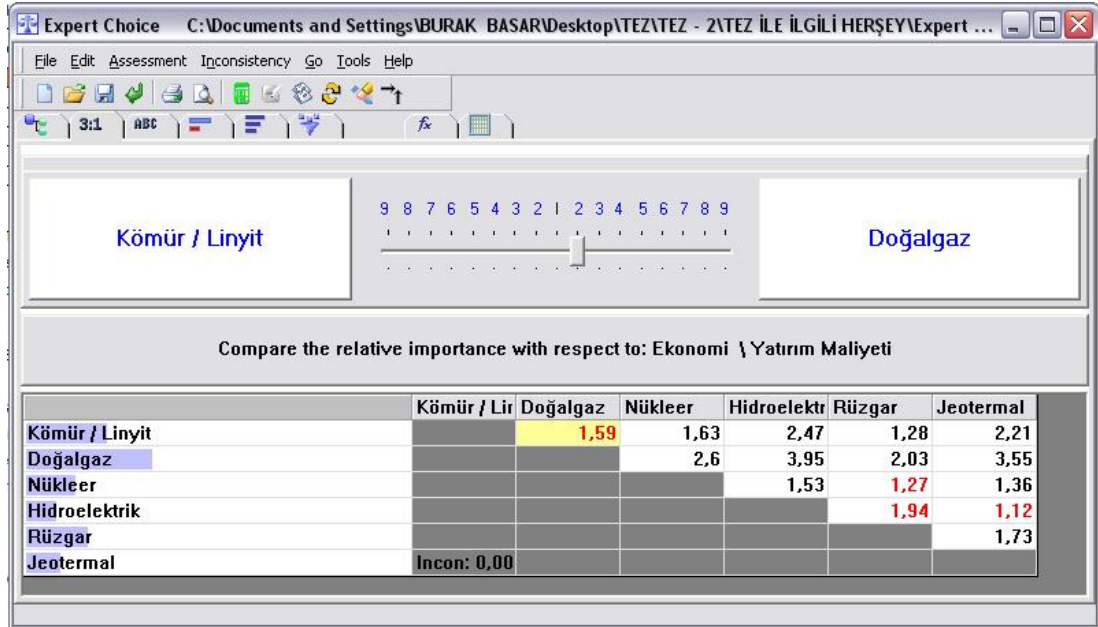


Şekil 2.16. Rezerv/üretim oranı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

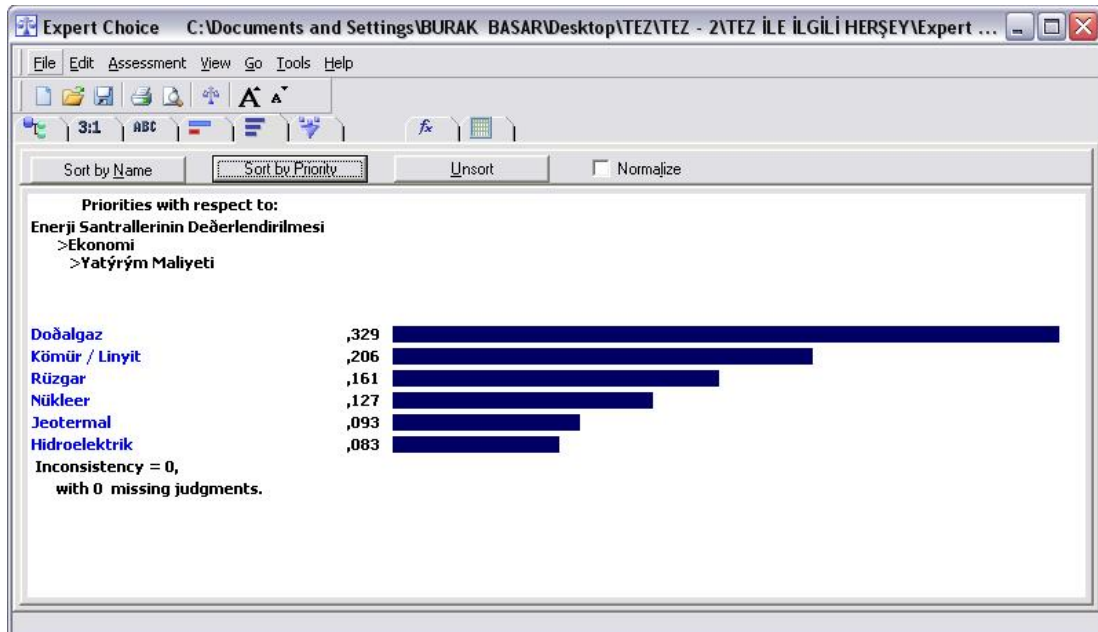


Şekil 2.17. Rezerv/üretim oranı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

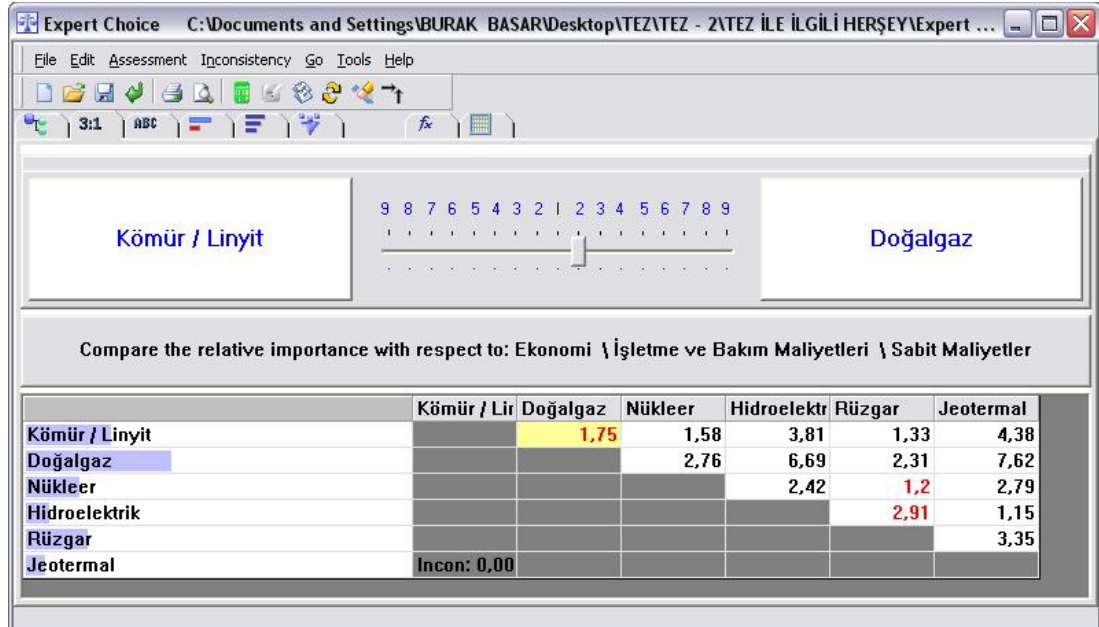


Şekil 2.18. Yatırım maliyeti kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

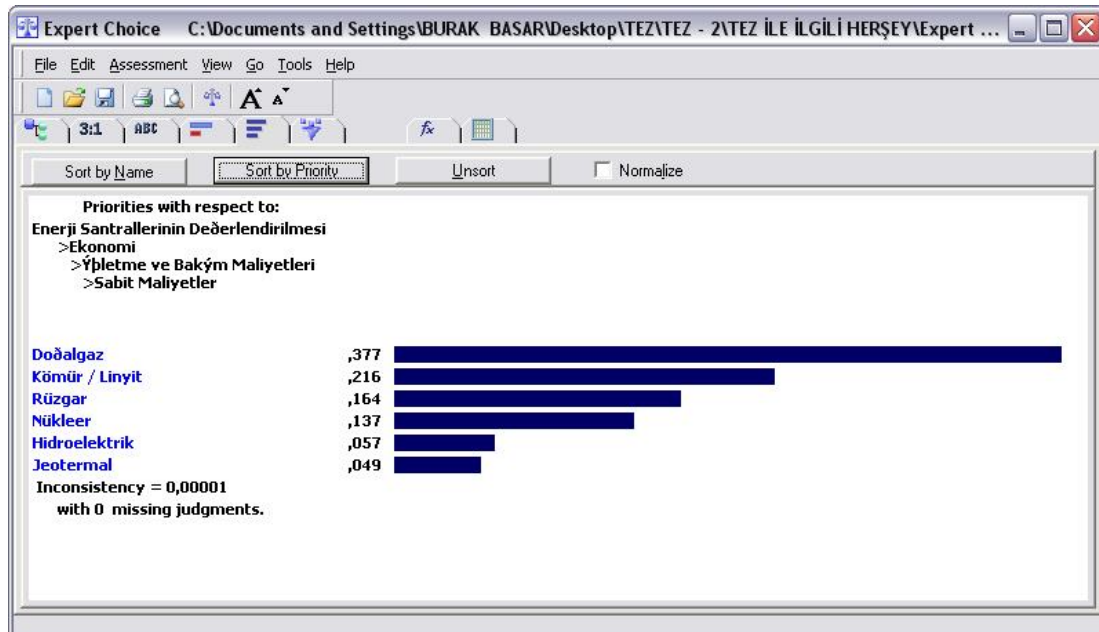


Şekil 2.19. Yatırım maliyeti kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünimleri ve göreceli önem değerleri

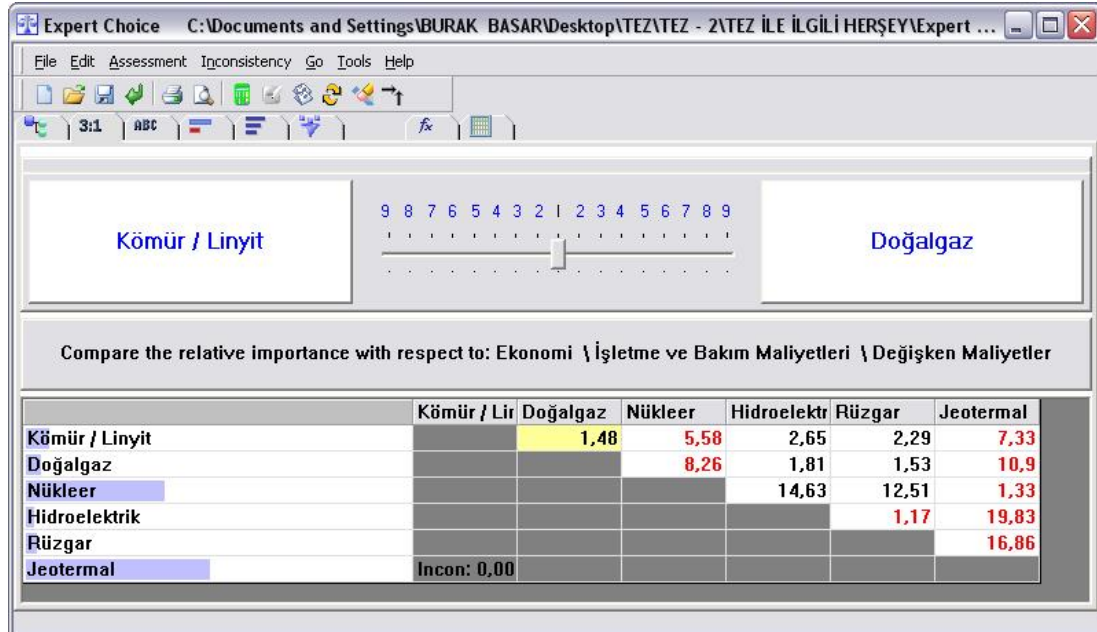


Şekil 2.20. Sabit maliyetler kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

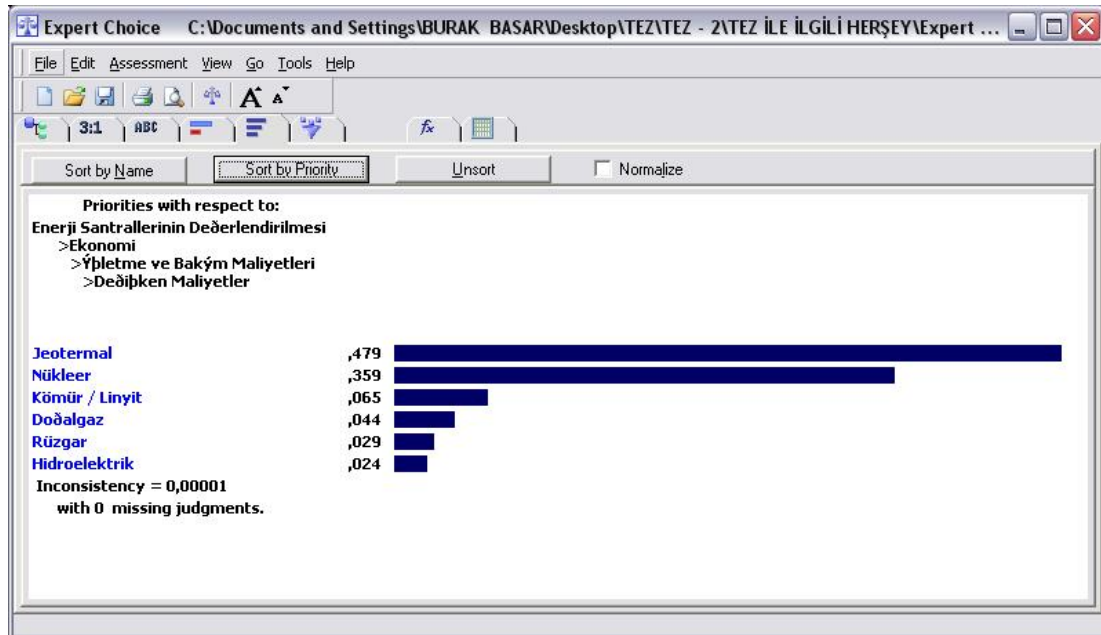


Şekil 2.21. Sabit maliyetler kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

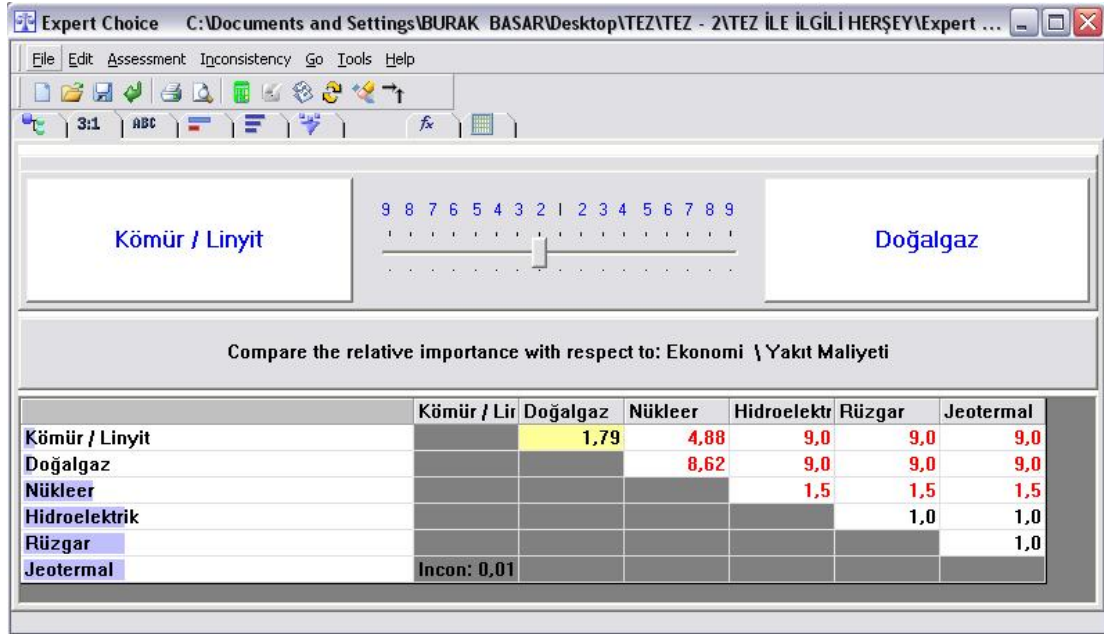


Şekil 2.22. Değişken maliyetler kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

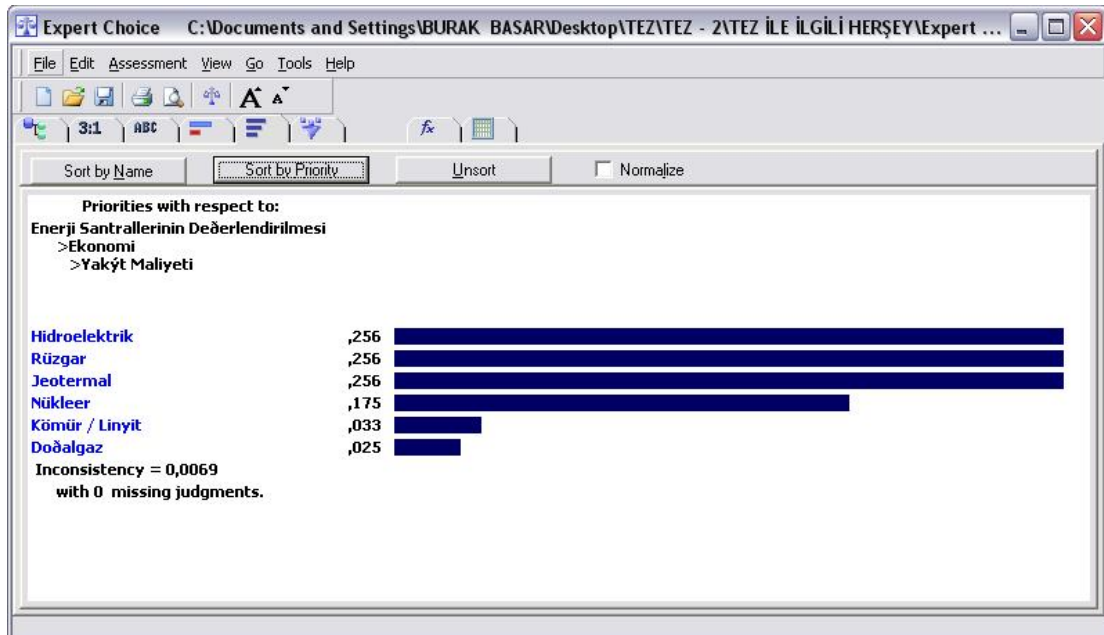


Şekil 2.23. Değişken maliyetler kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

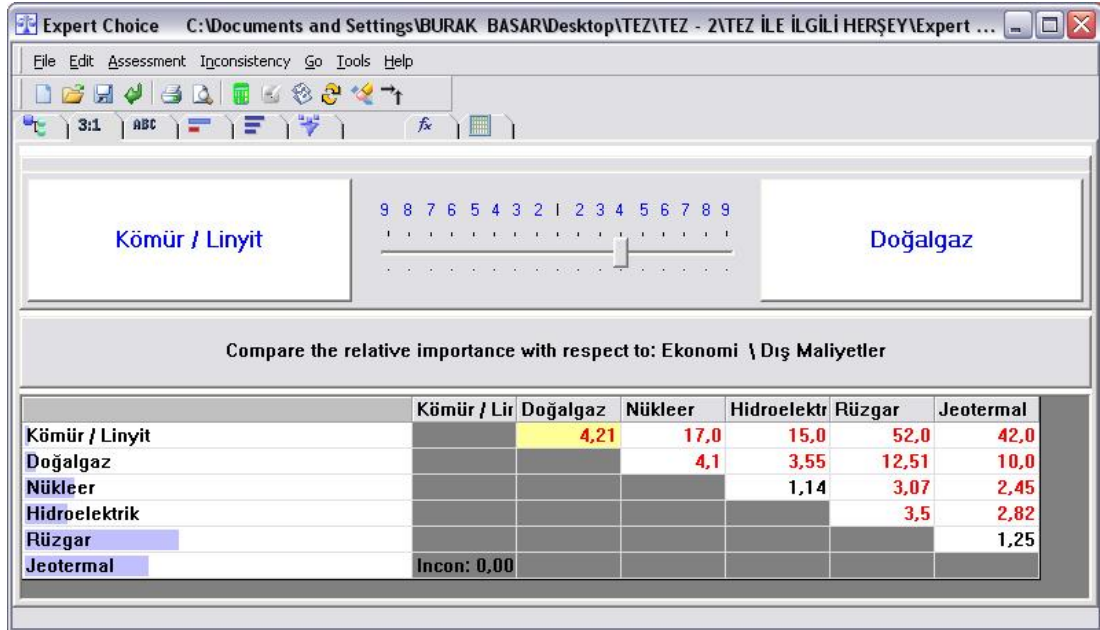


Şekil 2.24. Yakıt maliyeti kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

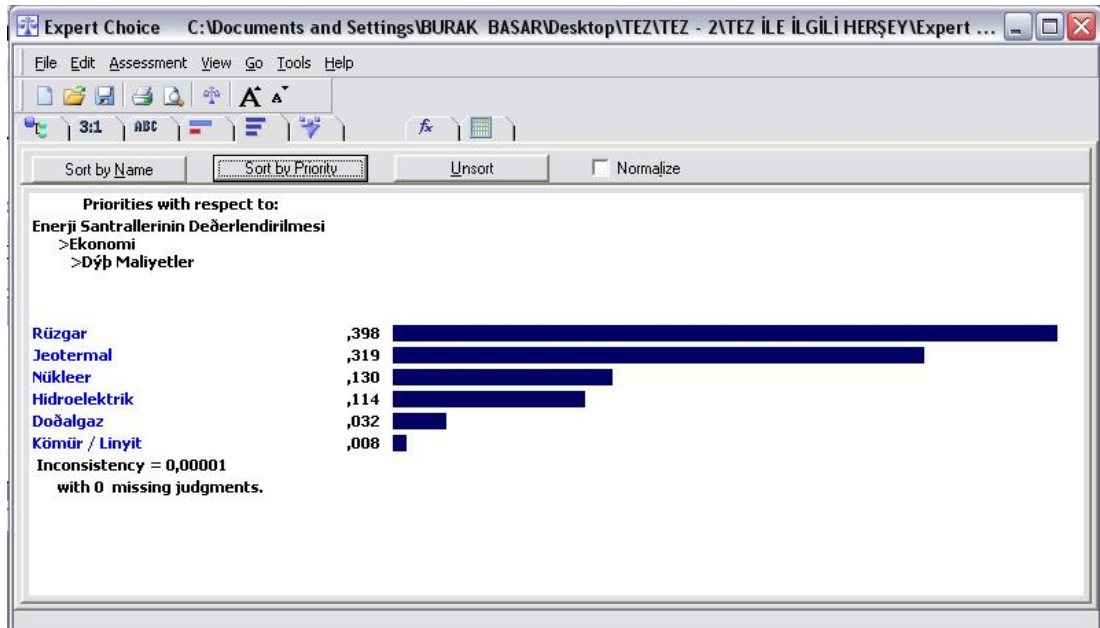


Şekil 2.25. Yakıt maliyeti kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünüşleri ve göreceli önem değerleri

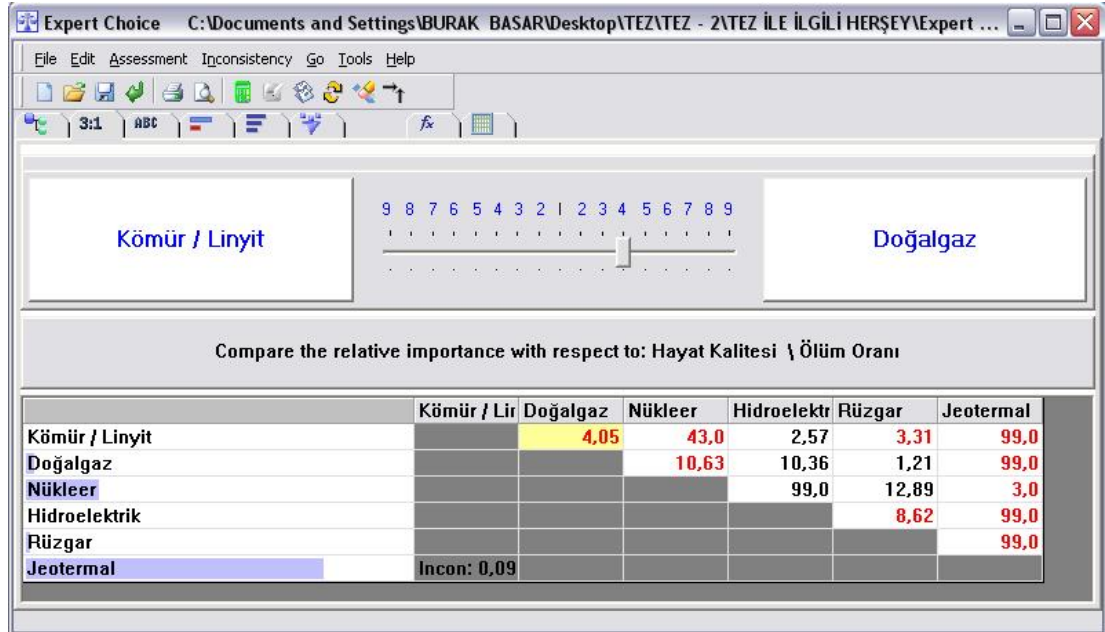


Şekil 2.26. Dış maliyetler kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

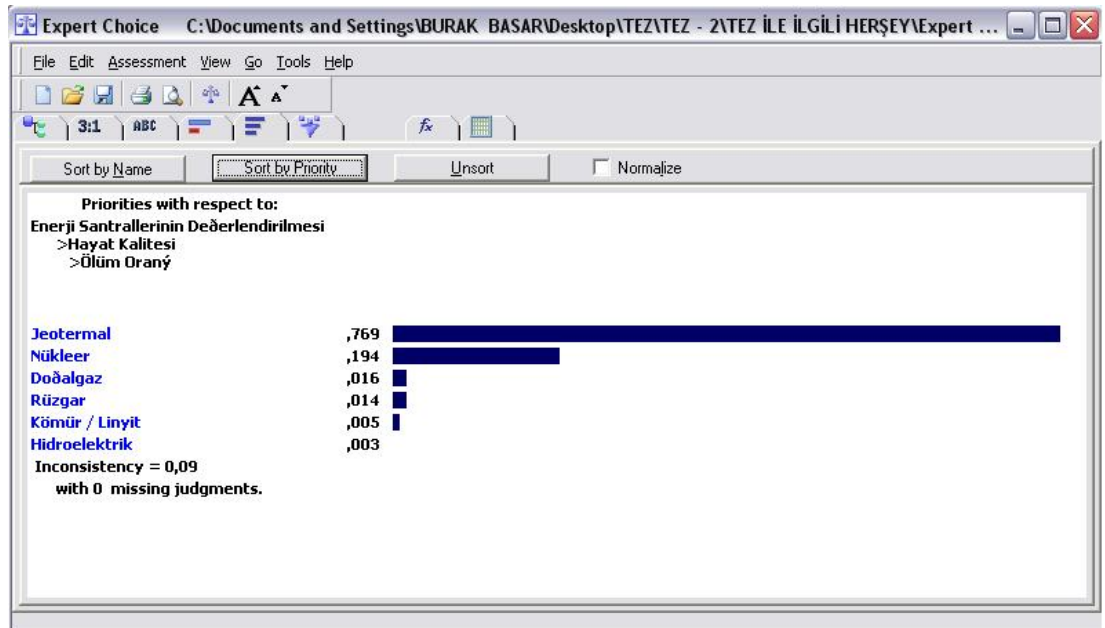


Şekil 2.27. Dış maliyetler kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünimleri ve göreceli önem değerleri

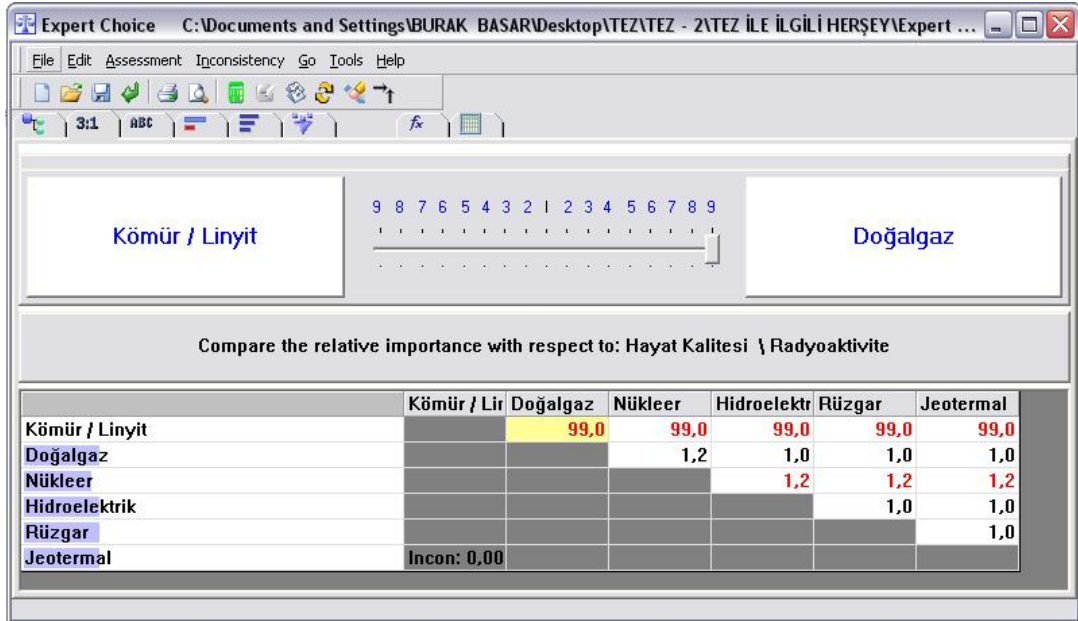


Şekil 2.28. Kaza oranı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

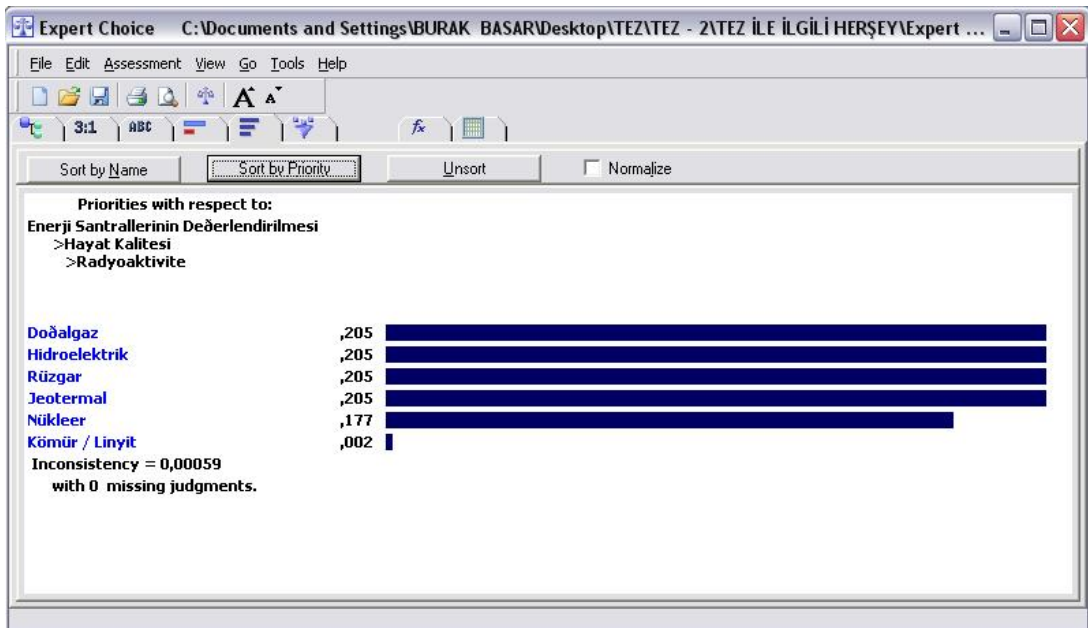


Şekil 2.29. Kaza oranı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünimleri ve göreceli önem değerleri

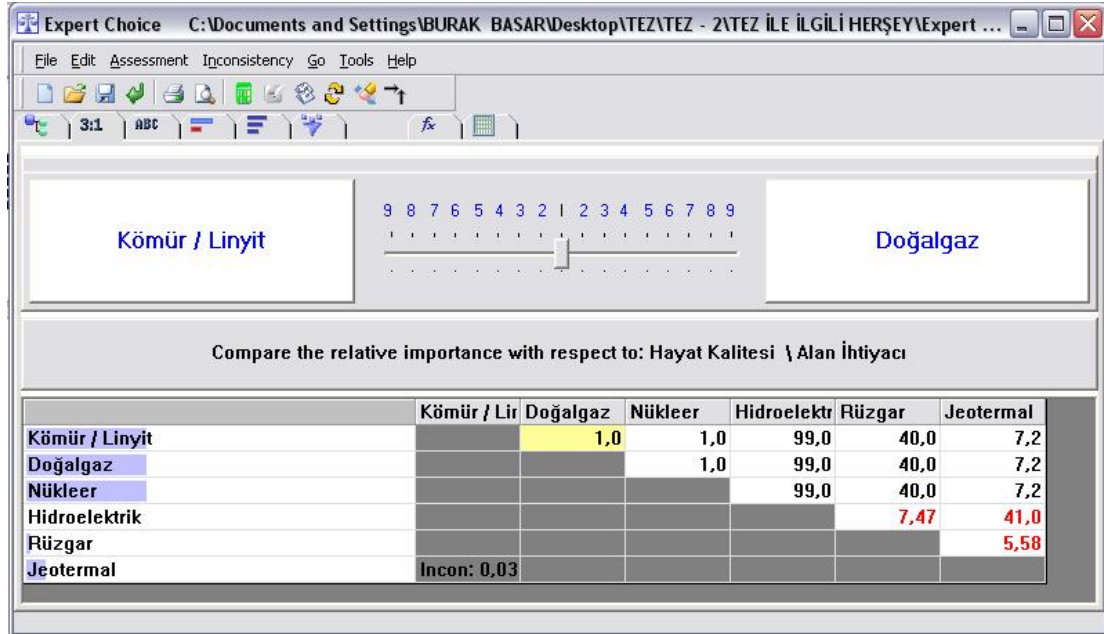


Şekil 2.30. Radyoaktivite kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

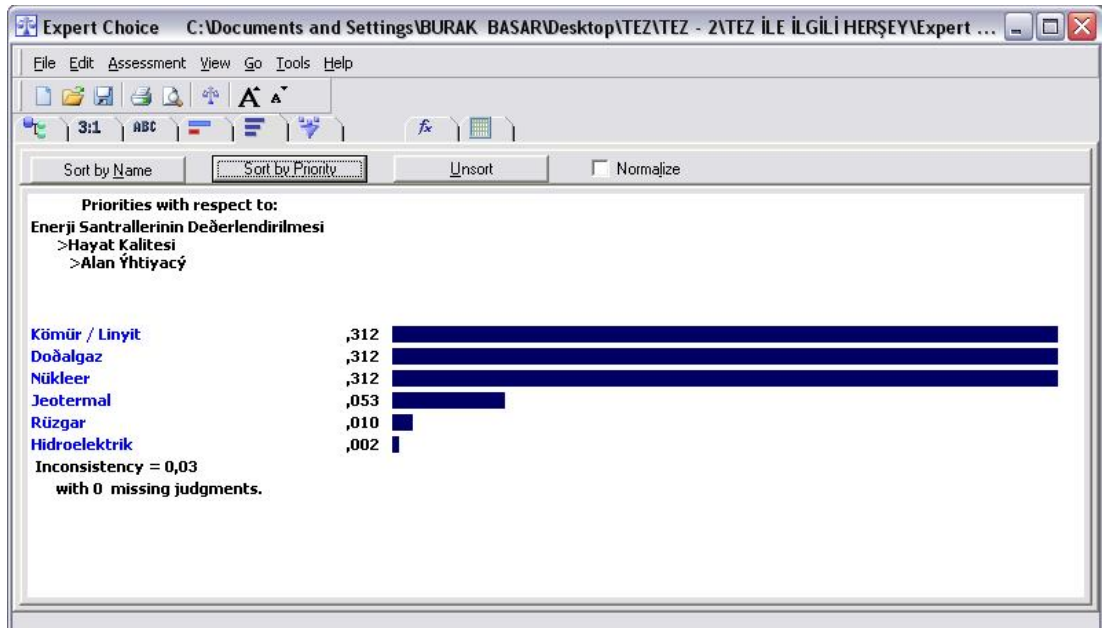


Şekil 2.31. Radyoaktivite kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

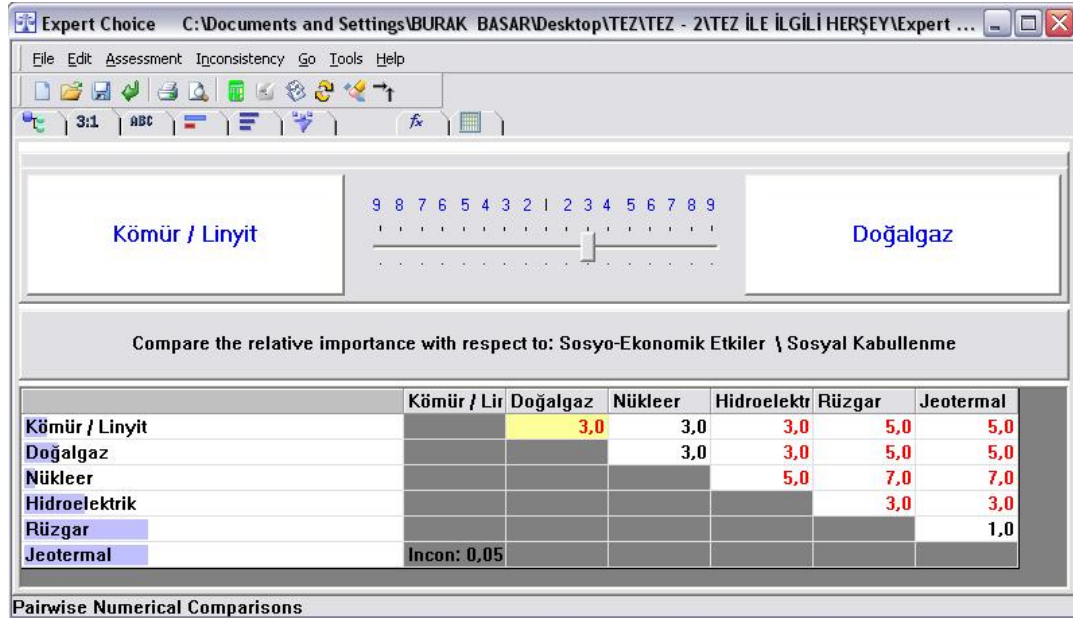


Şekil 2.32. Alan ihtiyacı kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü

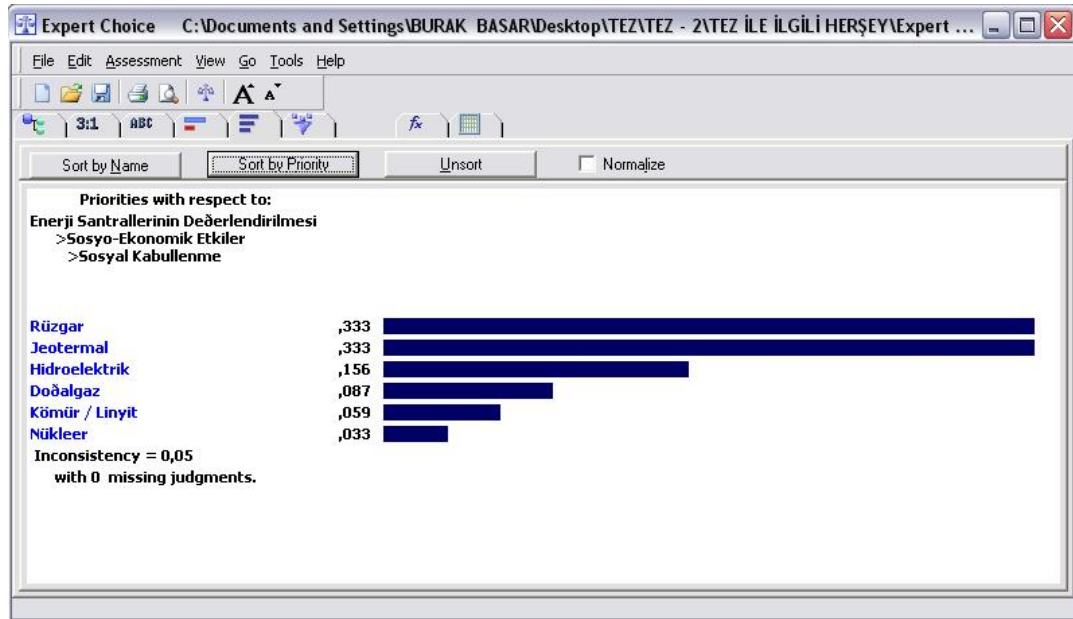


Şekil 2.33. Alan ihtiyacı kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri

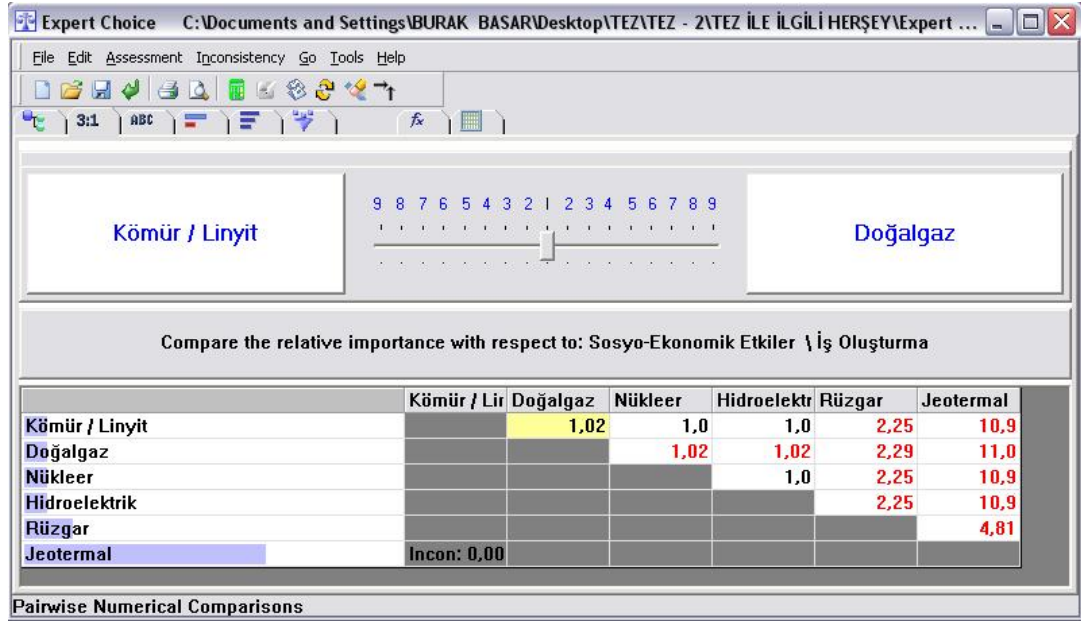


Şekil 2.34. Sosyal kabullenme kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin Expert Choice programındaki görünümü

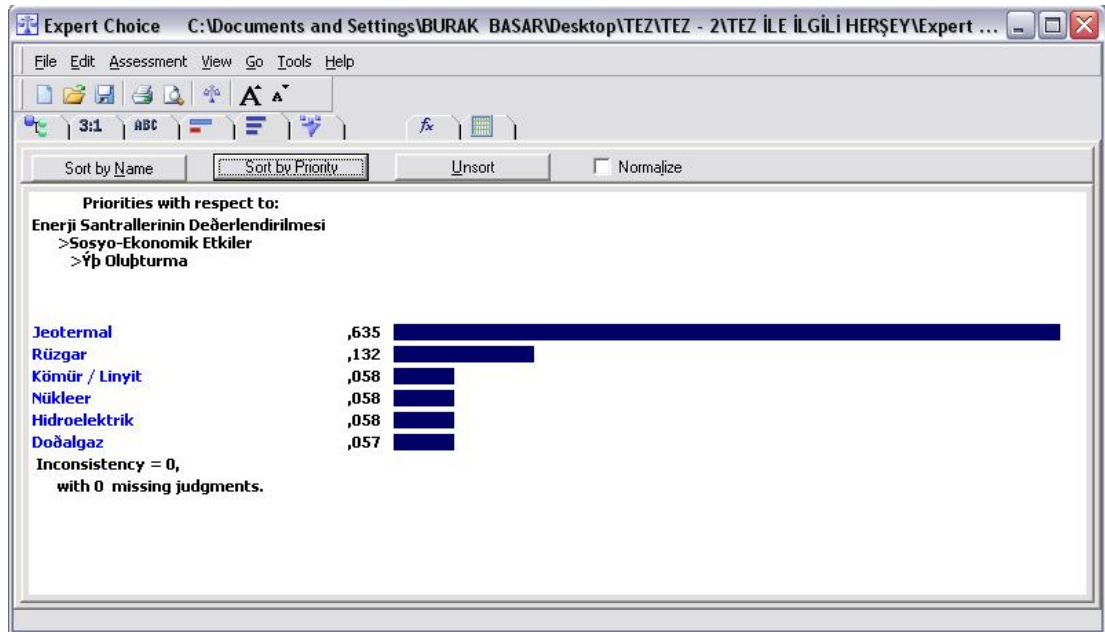


Şekil 2.35. Sosyal kabullenme kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-2. (Devam) Ana kriter ve alt kriterin ikili karşılaştırma matrislerinin Expert Choice programındaki görünümü ve göreceli önem değerleri



Şekil 2.36. İş oluşturma kriteri açısından alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisinin expert choice programındaki görünümü



Şekil 2.37. İş oluşturma kriterine göre alternatiflerin göreceli önem değerleri

EK-3. Süpermatris

	DOĞALGAZ	HİDROELEKTRİK	JEOTERMAL	KÖMÜR/LİNYİT	NÜKLEER	RÜZGAR	DIŞ MALİYETLER	İ&B MALİYETLERİ	YAKIT MALİYETLERİ
DOĞALGAZ	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.044674	0.155878	0.023368
HİDROELEKTRİK	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.130731	0.145423	0.280025
JEOTERMAL	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.303053	0.163675	0.280021
KÖMÜR/LİNYİT	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.021639	0.123298	0.030003
NÜKLEER	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.144877	0.337347	0.106563
RÜZGAR	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.355025	0.074379	0.280021
DIŞ MALİYETLER	0.293275	0.293275	0.293275	0.293275	0.293275	0.293275	1.000000	0.000000	0.000000
İŞLETME VE BAKIM MALİYETLERİ	0.064248	0.064248	0.064248	0.064248	0.064248	0.064248	0.000000	1.000000	0.000000
YAKIT MALİYETLERİ	0.407711	0.407711	0.407711	0.407711	0.407711	0.407711	0.000000	0.000000	1.000000
YATIRIM MALİYETİ	0.234767	0.234767	0.234767	0.234767	0.234767	0.234767	0.000000	0.000000	0.000000
İŞ OLUŞTURMA	0.249981	0.249981	0.249981	0.249981	0.249981	0.249981	0.000000	0.000000	0.000000
SOSYAL KABULLENİME	0.750019	0.750019	0.750019	0.750019	0.750019	0.750019	0.000000	0.000000	0.000000
ELDE EDİLEBİLİRLİK	0.105569	0.105569	0.105569	0.105569	0.105569	0.105569	0.000000	0.000000	0.000000
ETKİNLİK KATSAYISI	0.105569	0.105569	0.105569	0.105569	0.105569	0.105569	0.000000	0.000000	0.000000
KAPASİTE	0.048390	0.048390	0.048390	0.048390	0.048390	0.048390	0.000000	0.000000	0.000000
REZERV/ÜRETİM ORANI	0.740472	0.740472	0.740472	0.740472	0.740472	0.740472	0.000000	0.000000	0.000000
ALAN İHTİYACI	0.062938	0.062938	0.062941	0.062941	0.062941	0.062938	0.000000	0.000000	0.000000
RADYOAKTİVİTE	0.671634	0.671634	0.671626	0.671626	0.671626	0.671634	0.000000	0.000000	0.000000
KAZA ORANI	0.265428	0.265428	0.265433	0.265433	0.265433	0.265428	0.000000	0.000000	0.000000

EK-3. (Devam) Süpermatris

	YATIRIM MALİYETİ	İŞ OLUŞTURMA	SOSYAL KABULLENME	ELDE EDİLEBİLİRLİK	ETKİNLİK KATSAYISI	KAPASİTE	REZERV/ÜRETİM ORANI	ALAN İHTİYACI	RADYOAKTİVİTE	KAZA ORANI
DOĞALGAZ	0.329003	0.059543	0.087061	0.200177	0.170330	0.051555	0.344772	0.372604	0.201278	0.079639
HİDROELEKTRİK	0.083341	0.060680	0.155770	0.109829	0.329566	0.091905	0.032077	0.016702	0.201278	0.019746
JEOTERMAL	0.093264	0.618050	0.332538	0.208415	0.028214	0.256199	0.032077	0.082563	0.201278	0.469345
KÖMÜR/LINYİT	0.206512	0.062602	0.059082	0.187651	0.172484	0.219668	0.224022	0.248943	0.021723	0.030362
NUKLEER	0.126728	0.062603	0.033011	0.210539	0.146554	0.281163	0.334977	0.248943	0.173158	0.329677
RÜZGAR	0.161151	0.136522	0.332538	0.083389	0.152852	0.099509	0.032077	0.030245	0.201283	0.071232
DIŞ MALİYETLER	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
İŞLETME VE BAKIM MALİYETLERİ	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
YAKIT MALİYETLERİ	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
YATIRIM MALİYETİ	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
İŞ OLUŞTURMA	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
SOSYAL KABULLENME	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ELDE EDİLEBİLİRLİK	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ETKİNLİK KATSAYISI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
KAPASİTE	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
REZERV/ÜRETİM ORANI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ALAN İHTİYACI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000
RADYOAKTİVİTE	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000
KAZA ORANI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000

EK-4. Ağırlıklandırılmış süpermatris

	DOĞALGAZ	HİDROELEKTRİK	JEOTERMAL	KÖMÜR/LINYİT	NÜKLEER	RÜZGAR	DIŞ MALİYETLER	İ&B MALİYETLERİ	YAKIT MALİYETLERİ
DOĞALGAZ	0.157891	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.022337	0.077939	0.011684
HİDROELEKTRİK	0.000000	0.157891	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.065366	0.072711	0.140012
JEOTERMAL	0.000000	0.000000	0.157891	0.000000	0.000000	0.000000	0.151527	0.081838	0.140011
KÖMÜR/LINYİT	0.000000	0.000000	0.000000	0.157891	0.000000	0.000000	0.010819	0.061649	0.015001
NÜKLEER	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.157891	0.000000	0.072439	0.168674	0.053281
RÜZGAR	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.157891	0.177513	0.037189	0.140011
DIŞ MALİYETLER	0.030870	0.030870	0.030870	0.030870	0.030870	0.030870	0.500000	0.000000	0.000000
İŞLETME VE BAKIM MALİYETLERİ	0.006763	0.006763	0.006763	0.006763	0.006763	0.006763	0.000000	0.500000	0.000000
YAKIT MALİYETLERİ	0.042916	0.042916	0.042916	0.042916	0.042916	0.042916	0.000000	0.000000	0.500000
YATIRIM MALİYETİ	0.024712	0.024712	0.024712	0.024712	0.024712	0.024712	0.000000	0.000000	0.000000
İŞ OLUŞTURMA	0.026313	0.026313	0.026313	0.026313	0.026313	0.026313	0.000000	0.000000	0.000000
SOSYAL KABULLENİME	0.078947	0.078947	0.078947	0.078947	0.078947	0.078947	0.000000	0.000000	0.000000
ELDE EDİLEBİLİRLİK	0.033338	0.033338	0.033338	0.033338	0.033338	0.033338	0.000000	0.000000	0.000000
ETKİNLİK KATSAYISI	0.033338	0.033338	0.033338	0.033338	0.033338	0.033338	0.000000	0.000000	0.000000
KAPASİTE	0.015281	0.015281	0.015281	0.015281	0.015281	0.015281	0.000000	0.000000	0.000000
REZERV/ÜRETİM ORANI	0.233837	0.233837	0.233837	0.233837	0.233837	0.233837	0.000000	0.000000	0.000000
ALAN İHTİYACI	0.019875	0.019875	0.019875	0.019875	0.019875	0.019875	0.000000	0.000000	0.000000
RADYOAKTİVİTE	0.212098	0.212098	0.212098	0.212098	0.212098	0.212098	0.000000	0.000000	0.000000
KAZA ORANI	0.083821	0.083821	0.083822	0.083822	0.083822	0.083821	0.000000	0.000000	0.000000

EK-4. (Devam) Ağırlıklandırılmış süpermatris

	YATIRIM MALİYETİ	İŞ OLUŞTURMA	ŞİŞYAL KABULLENME	ELDE EDİLEBİLİRLİK	ETKİNLİK KATSAYISI	KAPASİTE	REZERV/ÜRETİM ORANI	ALAN İHTİYACI	RADYOAKTİVİTE	KAZA ORANI
DOĞALGAZ	0.109668	0.029771	0.029030	0.100088	0.085165	0.017185	0.172386	0.186302	0.100639	0.039819
HIDROELEKTRİK	0.027780	0.030340	0.051923	0.054914	0.164783	0.030635	0.016038	0.008351	0.100639	0.009873
JEO TERMAL	0.031088	0.309025	0.110846	0.104208	0.014107	0.085400	0.016038	0.041281	0.100639	0.234672
KÖMÜR/LINYİT	0.058837	0.031301	0.019694	0.093825	0.086242	0.073223	0.112011	0.124472	0.010861	0.015181
NÜKLEER	0.042243	0.031302	0.011004	0.105270	0.073277	0.093721	0.167488	0.124472	0.086579	0.164839
RÜZGAR	0.053717	0.068261	0.110846	0.041694	0.076426	0.033170	0.016038	0.015123	0.100642	0.035616
DIŞ MALİYETLER	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
İŞLETME VE BAKIM MALİYETLERİ	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
YAKIT MALİYETLERİ	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
YATIRIM MALİYETİ	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
İŞ OLUŞTURMA	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ŞİŞYAL KABULLENME	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ELDE EDİLEBİLİRLİK	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
ETKİNLİK KATSAYISI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
KAPASİTE	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
REZERV/ÜRETİM ORANI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000	0.000000
ALAN İHTİYACI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000	0.000000
RADYOAKTİVİTE	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.000000
KAZA ORANI	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000

EK-5. Limitmatris

	DOĞALGAZ	HİDROELEKTRİK	JEOTERMAL	KÖMÜR/LİNYİT	NÜKLEER	RÜZGAR	DIŞ MALİYETLER	İS.B MALİYETLERİ	YAKIT MALİYETLERİ
DOĞALGAZ	0.074839	0.074839	0.074839	0.074839	0.074839	0.074839	0.074839	0.074839	0.074839
HİDROELEKTRİK	0.044276	0.044276	0.044276	0.044276	0.044276	0.044276	0.044276	0.044276	0.044276
JEOTERMAL	0.071158	0.071158	0.071158	0.071158	0.071158	0.071158	0.071158	0.071158	0.071158
KÖMÜR/LİNYİT	0.039796	0.039796	0.039796	0.039796	0.039796	0.039796	0.039796	0.039796	0.039796
NÜKLEER	0.081024	0.081024	0.081024	0.081024	0.081024	0.081024	0.081024	0.081024	0.081024
RÜZGAR	0.050742	0.050742	0.050742	0.050742	0.050742	0.050742	0.050742	0.050742	0.050742
DIŞ MALİYETLER	0.022340	0.022340	0.022340	0.022340	0.022340	0.022340	0.022340	0.022340	0.022340
İŞLETME VE BAKIM MALİYETLERİ	0.004894	0.004894	0.004894	0.004894	0.004894	0.004894	0.004894	0.004894	0.004894
YAKIT MALİYETLERİ	0.031057	0.031057	0.031057	0.031057	0.031057	0.031057	0.031057	0.031057	0.031057
YATIRIM MALİYETİ	0.023412	0.023412	0.023412	0.023412	0.023412	0.023412	0.023412	0.023412	0.023412
İŞ OLUŞTURMA	0.019042	0.019042	0.019042	0.019042	0.019042	0.019042	0.019042	0.019042	0.019042
SOSYAL KABULLENME	0.042849	0.042849	0.042849	0.042849	0.042849	0.042849	0.042849	0.042849	0.042849
ELDE EDİLEBİLİRLİK	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126
ETKİNLİK KATSAYISI	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126	0.024126
KAPASİTE	0.020000	0.020000	0.020000	0.020000	0.020000	0.020000	0.020000	0.020000	0.020000
REZERV/ÜRETİM ORANI	0.169221	0.169221	0.169221	0.169221	0.169221	0.169221	0.169221	0.169221	0.169221
ALAN İHTİYACI	0.014384	0.014384	0.014384	0.014384	0.014384	0.014384	0.014384	0.014384	0.014384
RADYOAKTİVİTE	0.182054	0.182054	0.182054	0.182054	0.182054	0.182054	0.182054	0.182054	0.182054
KAZA ORANI	0.060659	0.060659	0.060659	0.060659	0.060659	0.060659	0.060659	0.060659	0.060659

EK-6. Kriter ve alt kriterlerin local ve global ağırlıkları

Çizelge 6.1. Kriter ve alt kriterlerin lokal ağırlıkları

Enerji Santrallerinin Çok Kriterli Değerlendirilmesi (100%)									
Teknoloji ve Sürdürülebilirlik (37.5%)				Ekonomi (12.5%)			Yaşam Kalitesi (37.5%)		
Etkinlik Katsayısı (10.6%)	Elde Edilebilirlik (10.6%)	Kapasite (4.8%)	R/U Oranı (74%)	Yatırım Maliyetleri (39%)	I&B Maliyetleri (6.8%)	Yakıt Mal. (39%)	Dış Maliyet (15.2%)	Kaza Oranı (26.5%)	Radyoaktivite Alan Gereksinimi (6.3%)
					Fixed Costs (16.7%)	Variable Costs (83.3%)			
								Sosyal Kabullenme (75%)	Sosyoekonomik Etkiler (12.5%)
									İş Oluşturma (25%)

Çizelge 6.2. Kriter ve alt kriterlerin global ağırlıkları

Enerji Santrallerinin Çok Kriterli Değerlendirilmesi (100%)									
Teknoloji ve Sürdürülebilirlik (37.5%)				Ekonomi (12.5%)			Yaşam Kalitesi (37.5%)		
Etkinlik Katsayısı (4%)	Elde Edilebilirlik (4%)	Kapasite (1.8%)	R/U Oranı (27.8%)	Yatırım Maliyetleri (4.9%)	I&B Maliyetleri (0.8%)	Yakıt Mal. (4.9%)	Dış Maliyet (1.9%)	Kaza Oranı (10%)	Radyoaktivite Alan Gereksinimi (2.4%)
					Fixed Costs (0.1%)	Variable Costs (0.7%)			
								Sosyal Kabullenme (9.4%)	Sosyoekonomik Etkiler (12.5%)
									İş Oluşturma (3.1%)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BASAR, Hasan Burak
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.04.1982 Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 286 09 75 / 0 (505) 364 27 78
 e-mail : hasanburakbasar@yahoo.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi/Makina Mühendisliği	2006
Lise	Çankırı Fen Lisesi	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
01/2006 – 06/2006	Bileşim Yayıncılık	Ürün Sorumlusu
03/2007 – 07/2007	Technovision Mühendislik	Proje Mühendisi
07/2007 – 04/2008	Gama Power System Inc.	Makina Mühendisi
04/2008 – 04/2009	Lotus Enerji	Kontrol Mühendisi
03/2010 – Devam	Türkiye Petrolleri A.O.	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca

Yayınlar

1. Basar, H.B., “Gelişmenin Anahtarı İnovasyon”, MakinaTek, 111:155-160, 2007.
2. Basar, H.B., Atmaca, E., “Multi-Criteria Evaluation of Power Plants”, 2nd International Conference on Nuclear & Renewable Energy Resources, July 4-7, Ankara, Turkey, 2010

Hobiler

Resim, Tiyatro, Basketbol