

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**BİR FABRİKANIN ENERJİ YATIRIM POLİTİKASININ ÇOK
KRİTERLİ MELEZ KARAR VERME SİSTEMLERİ İLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

BETİM DÖLEK

ANKARA - 2019

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**BİR FABRİKANIN ENERJİ YATIRIM POLİTİKASININ ÇOK
KRİTERLİ MELEZ KARAR VERME SİSTEMLERİ İLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

BETİM DÖLEK

TEZ DANIŞMANI

DR. DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ÖZGÜR EROL

ANKARA - 2019

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Enerji Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Betim DÖLEK tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 16 / 12 / 2019

Tez Adı: BİR FABRİKANIN ENERJİ YATIRIM POLİTİKASININ ÇOK KRİTERLİ MELEZ KARAR VERME SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı- Soyadı, Kurumu)

Prof. Dr. Adem ACIR (Başkan), Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Özgür EROL (Danışman), Başkent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Barış KEÇECİ, Başkent Üniversitesi

İmza







ONAY

Prof. Dr. Ö. Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 25 / 12 / 2019

Öğrencinin Adı, Soyadı : BETİM DÖLEK

Öğrencinin Numarası : 21420202

Anabilim Dalı : Enerji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı : Enerji Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Özgür EROL

Tez Başlığı : Bir Fabrikanın Enerji Yatırım Politikasının Çok Kriterli Melez Karar

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 62 sayfalık kısmına ilişkin, 25 / 12 / 2019 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'dür.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.


Öğrenci İmzası:



Onay

26 / 12 / 2019

Öğrenci Danışmanı Unvan, Adı, Soyadı


Dr. Öğr. Üyesi Özgür EROL

ÖZET

Betim DÖLEK

BİR FABRİKANIN ENERJİ YATIRIM POLİTİKASININ ÇOK KRİTERLİ MELEZ KARAR VERME SİSTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2019

Enerji, sanayileşen ve giderek teknolojik hale gelen yaşantının içinde daha da akıllıca ele alınması gereken bir konu haline gelmektedir. Enerjinin arza ve talebe uygun olarak üretilmesi, tedariki ve kullanılması ulusal ve uluslararası ölçekte enerji yatırım politikaları ile sağlanır. Bu kapsamda, yer altı ve yer üstü kaynakları açısından zengin ve elverişli bir bölge olan Aydın iline kurulabilecek bir fabrikanın enerji ihtiyacının sürekli ve yeterli olarak karşılanabilmesi için gerekli yatırım politikalarının belirlenmesi için farklı çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulmuştur. Çok kriterli karar verme yöntemleri bu çalışmada tek başlarına ve melezlenerek uygulanmıştır. Bu sayede hem Aydın ilindeki fabrika için en uygun enerji yatırım politikası belirlenmesi hem de yöntemlerin teknik olarak uygunluğunun değerlendirilmesi ve karşılaştırmalarının yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada AHP, DEMATEL ve ANP yöntemleri kullanılmıştır. İlk olarak AHP ve ANP tek başlarına uygulanmıştır. AHP ve ANP' den direkt önem derecelerine göre ağırlıklandırılmış sonuçlar alınmıştır. DEMATEL bir sıralama yöntemi olmadığından genişletilerek ağırlıklandırılmış sonuçlara ulaşılmıştır. Sonraki adımda melezlemeler AHP ve DEMATEL ve DEMATEL ve ANP olarak yapılmıştır. Tüm yöntemler için problemin kriterleri arasındaki etkileşimler incelenmiş, yöntemler uyumluluk testine sokulmuş, uygunluk ve çeviklikleri test edilmiştir. Bu çalışma sonucunda enerji yatırım politikası oluşturmak için en uygun yöntemin AHP & DEMATEL olduğu ve melezlemenin farklı yöntemlerden alınan sonuçları birbirine yaklaştırdığı saptanmıştır. Bu yöntemden ve tüm yöntemlerden alınana sonuçlar birlikte değerlendirilerek fabrika yatırımı için en uygun alternatiflerin sırasıyla jeotermal, rüzgâr ve güneş oldukları bulunmuştur. Karar vermede en etkili kriterlerin ise, ekonomik, üretim ve çevre kriterleri oldukları bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Enerji, Yatırım Politikası, Melez ÇKKV Sistemleri, İçsel Bağlılıklar, Gönderici ve Alıcı Gruplar

ABSTRACT

Betim DÖLEK

ASSESSMENT OF THE ENERGY INVESTMENT POLICY OF A FACILITY USING MULTIPLE-CRITERIA DECISION-MAKING SYSTEMS

Başkent University Institute of Science and Engineering Department

Energy Engineering Master Program

2019

Energy is becoming an issue that needs to be addressed more intelligently in an industrialized and increasingly technological life. The production, supply and use of energy in accordance with the supply and demand is ensured by national and international energy investment policies. In this context, multi-criteria decision-making methods have been used in order to meet the energy needs of a factory in Aydın province, which is rich and convenient in terms of underground and surface resources. Multi-criteria decision-making methods were applied in this study alone and by hybridization. In this way, it is aimed to determine the most appropriate energy investment policy for the factory in Aydın and to evaluate and compare the technical suitability of the methods. AHP, DEMATEL and ANP were used as multi-criteria decision-making methods. All methods were applied alone. AHP and ANP were weighted according to their direct significance. Since DEMATEL is not a sorting method, the results are expanded and weighted. In the next step, hybridizations were made as AHP & DEMATEL and DEMATEL & ANP. For all methods, the interactions between the criteria of the problem were examined, the methods were tested for compatibility, and their suitability and agility were tested. As a result of this study, it was found that AHP & DEMATEL is the most suitable method for establishing energy investment policy and hybridization brings the results of different methods closer to each other. The results obtained from this method and all methods were evaluated together and it was found that the most suitable alternatives for factory investment were geothermal, wind and solar respectively. The most effective criteria for decision-making were found to be economic, production and environmental criteria.

KEYWORDS: Energy, Investment Policy, Hybrid MCDM Methods, Interrelationship, Cause and Effect Group

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
3. PROBLEMİN TANIMI	7
3.1. Teknolojik Kriterler	8
3.2. Ekonomik Kriterler	11
3.3. Sosyal Kriterler	12
3.4. Çevresel Kriterler	12
3.5. Üretim Kriterleri	13
3.6. Yer Seçimi ve Doğal Kaynaklar	14
4. YÖNTEMLER.....	17
4.1. Kullanılan yöntemler.....	17
4.1.1. Analitik Hiyerarşi Süreci	17
4.1.2. DEMATEL	25
4.1.3. Analitik Ağ Süreci	31
4.2. Melez yöntemler.....	37
4.2.1. AHP ve DEMATEL.....	38
4.2.2. DEMATEL ve ANP	40
4.3. Uyumluluk Endeksi	42
5. SONUÇLAR.....	44
5.1. AHP.....	44

5.2. DEMATEL	45
5.3. ANP	50
5.4. AHP ve DEMATEL	52
5.5. DEMATEL ve ANP	57
5.6. Tüm Sonuçlar.....	59
5.7. Uyumluluk Testi	60
6. TARTIŞMA.....	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER	
Ek 1: AHP Çıktıları	
Ek 2: DEMATEL Çıktıları	
Ek 3: ANP Çıktıları	
Ek 4: AHP ve DEMATEL Çıktıları	
Ek 5: DEMATEL ve ANP Çıktıları	

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Saaty 1- 9 puan ölçeğinde nitel ve nicel değerlendirmeler	20
Tablo 4.2. Saaty Rastgele Sayılar Endeksi	22
Tablo 4.4. Saaty Rastgele sayılar endeksi (R.I) (Saaty)	34
Tablo 5.1. AHP ile hesaplanan kriter ağırlıkları.....	45
Tablo 5.2. AHP ile hesaplanan alternatiflerin ağırlıkları	45
Tablo 5.3. DEMATEL yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları	46
Tablo 5.4. DEMATEL yöntemi için gönderici ve alıcı gruplar, eşik değerleri.....	47
Tablo 5.5. ANP yöntemi kriter ağırlıkları	51
Tablo 5.6. ANP yöntemi alternatif ağırlıkları	52
Tablo 5.7. AHP ve DEMATEL yöntemi kriter ağırlıkları	53
Tablo 5.8. AHP ve DEMATEL yöntemi için gönderici ve alıcı gruplar, eşik değerleri..	54
Tablo 5.9. AHP ve DEMATEL yöntemi alternatif ağırlıkları.....	57
Tablo 5.10. DEMATEL ve ANP yöntemi kriter ağırlıkları	58
Tablo 5.11. DEMATEL ve ANP yöntemi alternatif ağırlıkları.....	58
Tablo 5.12. Tekli ve melez yöntemlerin kriter ağırlıklar	59
Tablo 5.13. Tekli ve melez yöntemlerin alternatif ağırlıkları.....	60
Tablo 5.14. Yöntemlerden Elde Edilen Normalize Ağırlıklar.....	61
Tablo 5.15. Uyumluluk Testi sonuçları	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Dünya Enerji Tüketimi [1]	1
Şekil 4.1. Analitik Hiyerarşi Uygulama Süreci	19
Şekil 4.2. Hiyerarşik Yapı Gösterimi	19
Şekil 4.3. Problemin hiyerarşik yapıda gösterimi.....	24
Şekil 4.4. DEMATEL uygulama süreci.....	26
Şekil 4.5. DEMATEL önem değerleri dönüşümü	27
Şekil 4.6. Tüm Modelin Etki Diyagramı	30
Şekil 4.7. Ağ Yapısı (Kriterler Arası İlişkiler)	32
Şekil 4.8. Analitik Ağ Sürecinin Tasarımı	33
Şekil 4.9. ANP, Enerji yatırım politikası için ağ yapısı	37
Şekil 4.10. Analitik Hiyerarşi Süreci ve DEMATEL'in Tasarımı	39
Şekil 4.11. DEMATEL ve Analitik Ağ Sürecinin Tasarımı.....	41
Şekil 5.1. Teknolojik kriterler için etki diyagramı	48
Şekil 5.2. Ekonomik kriterler için etki diyagramı	48
Şekil 5.3. Sosyal kriterler için etki diyagramı	49
Şekil 5.4. Çevresel kriterler için etki diyagramı.....	49
Şekil 5.5. Üretim kriterleri için etki diyagramı	50
Şekil 5.6. Teknolojik kriterler için etki diyagramı	54
Şekil 5.7. Ekonomik kriterler için etki diyagramı	55
Şekil 5.8. Sosyal kriterler için etki diyagramı	55
Şekil 5.9. Çevresel kriterler için etki diyagramı.....	56
Şekil 5.10. Üretim kriterleri için etki diyagramı	56

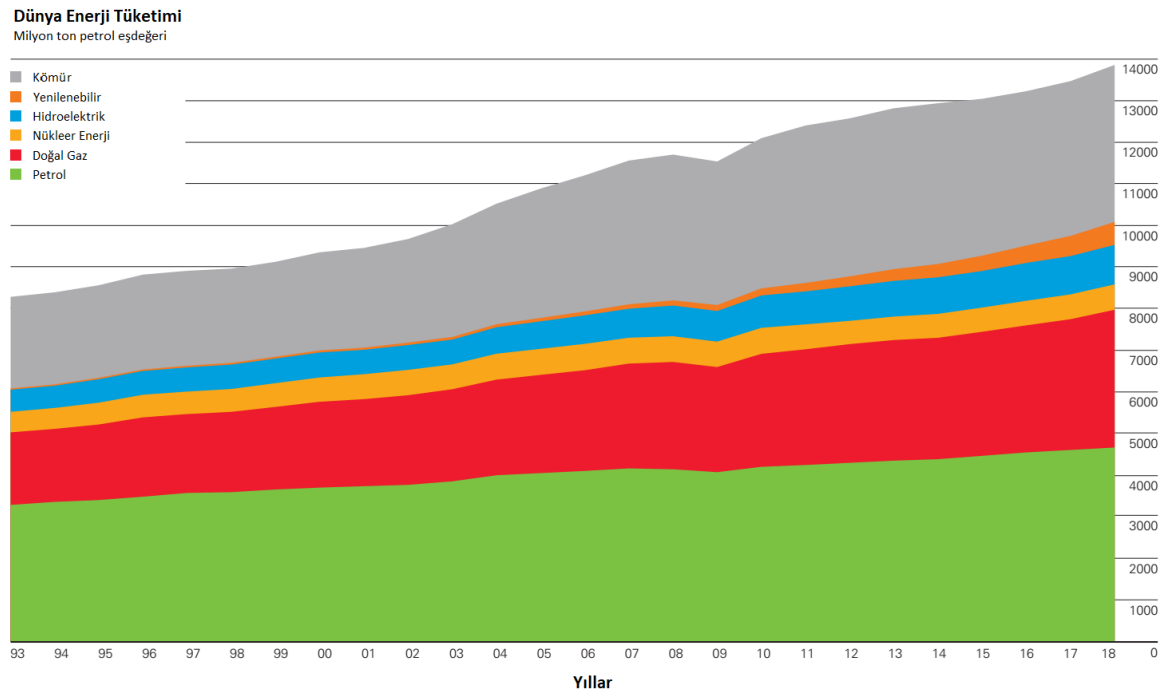
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analitik Ağ Süreci
DEMATEL	Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme Sistemleri
EYP	Enerji Yatırım Politikası
ALT	Alternatifler
DG	Doğal gaz
KÖ	Kömür
GÜ	Güneş
RÜ	Rüzgâr
JEO	Jeotermal
AI	Atık Isı
TEK	Teknolojik
EKO	Ekonomik
SOS	Sosyal
ÇEV	Çevresel
ÜRE	Üretim
AKI	Akılcılık
TO	Teknolojik Olgunluk
DB	Dışa Bağımlılık
AD, MO	Adaptasyon ve Modifikasyon
GE, EK ve CO ₂	Gömülü Enerji, Ekserji ve CO ₂
GD, GK	Geri Dönüşüm ve Geri Kullanım
AMO	Amortisman
TEŞ	Teşvikler
İY	İstihdam Yaratma
SKD	Sosyal Katma Değer
CU	Coğrafi Uygunluk
AK	Alan Kullanımı
ÇE	Çevresel Etkiler
KS	Kaynak Sürekliliği
ÜİK	Üretim için İlave Kaynak

1. GİRİŞ

Farklı şekillerde de olsa tarih boyunca enerji insanlığın en büyük sorunlarından birisi olagelmıştır. Eski çağlarda gerek nüfusun azlığı ve gerekse teknolojinin seviyesinden dolayı enerji kaynakları, gelişigüzel ve düşünmeden kullanılabilmiştir. Günümüzde, teknolojinin gelişmesi ile gerek rüzgâr, güneş gibi eski çağlardan beri farklı şekillerde kullanılmakta olan ve gerekse nükleer enerji gibi yeni keşfedilen kaynaklarda insanlığın enerji ihtiyacının giderilmesi için aktif olarak kullanıma sokulmuştur. Tüm bunlara rağmen günümüzdeki sanayileşme hamleleri, nüfusun ve insanların hayat standardının ve isteklerinin artmasından dolayı enerji kaynakları sürdürülebilir olmaktan çıkmaktadır. Şekil 1.1.'de yıllara bağlı olarak bu artışın enerji kaynaklarına göre dağılımı görülmektedir.

Enerji kaynaklarına bağlı enerji tüketimleri incelendiğinde tüketimin büyük kısmının fosil yakıtlar olarak tanımladığımız petrol, doğalgaz ve kömür olduğu görülmektedir. Fosil yakıtların birincil enerji arzındaki payının büyük olması sebebiyle artan hava kirliliği ve karbon salımları, dünya üzerindeki tüm yaşamları tehdit etmeye başlamıştır. Geleceğimizi etkileyecek olan bu tehdidin ise bir yandan enerji ihtiyaçlarımızın aksatılmadan karşılanması gerekirken bir diğer yandan da ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu sebeple de karbonsuzlaşma yönünde adımlar atılmaktadır.



Şekil 1.1. Dünya Enerji Tüketimi [1]

Paris Barış Konferansı'nda düşük karbon seviyesinden karbonsuzlaşmaya doğru evrilecek endüstrilerin ve ekonomilerin önemi vurgulanmıştır. Enerji arzının da kademeli olarak Dünya için ortak bu hedefler yönünde değişmesi kaçınılmazdır [1].

Fosil yakıtlar nedeniyle artan karbon salımının etkisiyle sıcaklık artış değerinin rekor değerine ulaşarak en sıcak yılın yaşanması, küresel ölçekte devletleri ve firmaları fosil yakıtlardan uzaklaşarak ulaşım, ısınma, ısıtma teknolojileri için daha çok yenilenebilir kaynaklara yönelimi arttırmaktadır [2]. Bu yatırımları teşvik etmek için oluşturulan Kyoto Protokolü ve Karbon Borsası ile ülkeler için farklı bir yatırım ortamı oluşturulmuş ve ülkelerin yenilenebilir enerjiye yöneliminin artırılması planlanmıştır.

Çevresel nedenlerin yanında yenilenebilir enerji kullanımına yönelmenin bir diğer sebebi de enerji kaynakları konusunda ülkelerin başka ülkelerin kaynaklarına bağlı kalmasıdır. Bu nedenle ülkelerin sanayilerinin gelişiminin anahtarı enerji kaynaklarını ellerinde tutan ülkelere bağlı kalmaktadır. Yine de yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli olarak ihtiyacı karşılayamaması (Örneğin rüzgârın bir gün esip ertesi gün esmemesi veya güneşin sabah olup akşam olmaması gibi) belli oranlarda fosil yakıtların hükümlüğünün devam edeceğini göstermektedir.

Yukarıda sayılan nedenler ne olursa olsun zamanla artan enerji ihtiyacı düzenli olarak yeni yatırımları gerektirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre dünyadaki enerji yatırımları son üç senedir azalma gösterse de 2018 senesinde sabit kalmış ve 1,8 trilyon Amerikan doları seviyesinde olmuştur [3]. Bu seviyedeki büyük yatırımlar planlanırken özenli bir enerji yatırım politikası oluşturulmalıdır.

Enerji yatırım politikası, genel tanımıyla, mevcut kaynakların en uygun şekilde değerlendirilmesi ve onlardan faydalanılabilmesi için ulusal ve uluslararası kısa ve uzun vadeli eylem planlarına uygun olarak karar verme işidir. Enerji yatırım politikaları teknoloji, ekonomi, politik, yasal, beşerî, çevresel ve üretim imkanları dahilinde belirlenir.

Ülkemizdeki enerji yatırım politikaları Enerji Bakanlığı'nın son yayımladığı raporda, enerji kaynak çeşitliliğini arttırarak, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin kurulu güç payının arttırılması yönündedir. Bu çalışmalar yerli teknoloji ve ekipman geliştirilmesi, yenilenebilir ve çevreye uyumlu enerji üretimlerinin teşvik edilmesi, verimliliğin arttırılması, alt yapının güçlendirilmesi, kaynak ve güzergahların çeşitlendirilmesi yönündedir [4].

Enerji yatırım politikaları belirlenirken olabildiğince duygusallıktan uzak olunması ve ortamdaki tüm parametreleri içerisine alan bir sistem uygulanması gerekmektedir. Bu sayede tarafsız bir şekilde yatırımların planlanması yapılabilecektir. Bahsedilen tarafsızlığı

sağlayabilecek en etkin mekanizmalardan birisi de Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) sistemleridir. ÇKKV sistemleri kullanılarak tüm kısıtlar değerlendirilmenin içerisine sokulur ve bir konunun tek başına politikanın belirlenmesinde kullanılmasının önüne geçilebilir.

Literatürde birçok ÇKKV sistemi bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), Karar Vermede Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) sayılabilir. Bu metotlar sayesinde oluşturulan anketler cevaplanarak daha objektif bir karar verme süreci elde edilerek insan duygularının karar verme konusunda tek bir kritere göre karar vermesi engellenebilmektedir.

Bu çalışmada Aydın İlinde kurulacağı düşünülen bir fabrikanın kendi kendine yetebilmesi için yapabileceği enerji yatırım stratejisinin belirlenmesi farklı karar verme metotları kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada Aydın yöresinin seçilme nedeni pek çok enerji kaynağının ya bölgede bulunması (jeotermal, güneş, vb.) ya da bölgeye başka yerlerden ulaştırılabilmesi (doğalgaz gibi) nedeniyle seçeneklerin çok olmasıdır.

Enerji yatırım politikası oluşturulması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden üç tanesi seçilmiştir. Bunlar AHP, DEMATEL ve ANP'dir. Anketlerden elde edilen veriler bu metotların tek başlarına ve birbirleri ile melezlenerek oluşturulan metotların girdisi olacaktır. Uygulamanın kolaylığı, yöntemin probleme uygunluğu, bulunan sonuçların tutarlılığı ve uygunluğu değerlendirilecektir. Tek başlarına ve melezlenerek uygulanan problemlerin karşılaştırmaları yapılacak ve probleme en uygun enerji yatırım politikasının seçimi ve yöntemin seçimi sonucunda farklı metotlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada enerji yatırım politikaları, ÇKKV sistemleri, melez sistemler ve bulanık mantıkla birleştirilen ÇKKV yöntemleri üzerine yapılan araştırmaların yer aldığı diğer çalışmalar özetlenmektedir.

Enerji yatırım politikaları oluşturmak üzerine çok kriterleri karar verme sistemlerinin kullanılmasını araştıran Kaya ve arkadaşları [5] enerji politikası oluşturma sürecinde bulanık mantık kullanılan çalışmaları karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında ÇKKV süreçlerinde en çok tercih edilen kriterleri, alternatifleri ve varılan ortak sonuçları değerlendirmişlerdir. Catherine vd. [6] enerji yönetimi konusunda yatırımlardaki enerji verimliliğini etkileyen temel etkenleri incelemişlerdir. Büyük ölçekli tüketicilerin enerji verimlilik kararlarını nasıl aldıklarını teorik ve pratik olarak incelemiş, enerjiyi daha iyi yönetmenin daha iyi verimlilik stratejilerine götürdüğü sonucuna varmışlardır.

Fadly [7], çalışmasında gelişmekte olan ülkelerin düşük karbon dönüşümü sırasında özel sektör yatırımlarını incelemiştir. Yenilebilir enerji politikalarının ve enerji güvenlik endişelerinin yenilebilir kaynaklara yatırım yapmayı teşvik ettiğini belirtmiştir. Bununla beraber, fosil yakıtların tüketiminin ve bunlara bağımlılığın etkilerinin yüksek derecede olumsuz olduğu ve yatırımlarda tercih edilmediği sonucuna ulaşmıştır. Tré vd. [8] verilerin kalitesinin değerlendirilmesi ve ÇKKV yöntemlerinde kullanılmasını üzerine çalışmışlardır. Verilerin doğruluk, tamlık, güncellik ve itibarlı gibi boyutlarda karakterize edilerek karar vericileri yanlış yönlendirmesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

Shahba, Arjmandi v.d. [9] çok kriterli karar verme yöntemlerini SWOT analizi ile birleştirerek demir madenlerinde atık yönetimi için stratejik öneme sahip alternatiflerin daha iyi karar verilmesi üzerine çalışmışlardır. ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS' i bulanık mantığa göre SWOT analizi ile birleştirerek karar verme sürecini iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Büyüközkan [10] yatırımcı bakış açısıyla Türkiye' deki en uygun yenilebilir enerji kaynaklarının seçilmesi için ÇKKV yöntemlerinden DEMATEL ve ANP'yi birleştirerek kullanmıştır. Mathiyazhagan vd. [11] yeşil tedarik zinciri yönetiminin uygulanması için karşılaşılan zorlukların analizi için AHP sürecini kullanmıştır. Bu sayede, zorlukların derecelendirilerek hükümet düzenlemeleri ve daha fazla finansal fayda sağlanması için Hintli yöneticilere yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Sağlık sektöründeki uygulanan bir vaka çalışmasında altı sigma projesi seçimi için DEMATEL-ANP ve ANP yöntemleri Ortiz vd. [12] tarafından karşılaştırılmıştır. Sağlık sektöründeki organizasyonlara daha fazla fayda sağlanması için DEMATEL-ANP yönteminin daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur. Groselj ve Stirn [13] Slovenya’ da bir bölge için çevre yönetim problemini üç-fazlı ANP ve SWOT analizine dayandırarak çözmeye çalışmışlardır. Üç-fazlı yaklaşım stratejik hedeflerin, SWOT analizinin ve alternatiflerin ANP yöntemi çerçevesinde incelemesini sağlamaktadır ve sürdürülebilir gelişimin bölge için en uygun ve istenilen alternatif olduğu bulunmuştur. Diğer bir ANP-SWOT çalışması İran’ daki çelik endüstrisi atıklarının içsel bağlılıklar analizinin yapılması ve önceliklendirilmesi için kullanılmıştır. AHP ve ANP yöntemleri ayrı ayrı uygulanmış ve ANP’ nin sonuçları önemli ölçüde değiştirdiği bulunmuştur. Shahabi ve arkadaşları [14] çelik endüstrisinin iyileşmesi için hükümetin daha etkili stratejiler yürütmesi ve etkili politikaların uygulamaya konmasını önermişlerdir.

Sumrit ve Anuntavoranich [15] Tay teknoloji firmaları için girişimlerin teknolojik yenilik yetenekleri değerlendirme faktörlerini DEMATEL kullanarak analiz etmişlerdir. Kriterler arasındaki ilişkileri ayrıntılı olarak analiz etmişler ve etki diyagramını tanımlanmışlardır. Bu firmaların teknolojik yenilik yeteneklerini geliştirebilmeleri için odaklanmaları gereken temel bakış açılarına ve stratejik yönetim yeteneklerine, emme kapasitesine, araştırma ve geliştirme yeteneklerine vurgu yapmışlardır. Organ [16], tekstil firmasının makine seçimi için DEMATEL ve bulanık DEMATEL yöntemlerini kullanmıştır. Bulanık DEMATEL’ in çalışmaya daha fazla esneklik kazandırıldığı tespit edilmiş ve makine seçimini en çok makinenin teknik özellikleri ve performansı etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Sadehnezhad vd. [17] iş zekâsı performansını değerlendirmek için bulanık yaklaşımla DEMATEL ve ANP birleşimini kullanmışlardır. Bulanık sayıları dilsel terimlerin karşılıkları olarak değiştirerek üç kademeli ağ yapısı ile sistemdeki maliyetleri ve kayıpları azaltmayı hedeflemişlerdir. Elomda ve arkadaşları [18] klasik bulanık karar haritaları yöntemi ile dilsel bulanık karar ağlarını karşılaştırmışlardır. Örnek bir vaka çalışmasından elde edilen bulgulara göre gerçek hayat ÇKKV yöntemlerinde dilsel bulanık karar ağlarının belirsizliği yönetmede daha başarılı olduğu ve karar vericilere daha fazla esneklik kazandırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Enerji konusunda kullanılan ÇKKV yöntemlerinden diğer ikisi de Ertuğrul ve Özçil [19] in çalışmasında yer alan TOPSIS ve VIKOR yöntemleridir. Klima seçimi için her iki yöntemde kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. TOPSIS yönteminin VIKOR yöntemine göre daha tutarlı sonuçlar elde ettiği sonucuna varmışlardır. Yıldız ve Deveci [20] personel

seçim sürecinde bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Personel seçim kriterlerinin nitel değer içermesinden dolayı bu yöntemi seçmişler ve algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu yöntemin personel seçim sürecine yardımcı olması ve örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir. Erol ve Kılıkş [21] enerji kaynaklarının planlanması için AHP yöntemini kullanmışlardır. Enerji yatırım politikaları için planlama çalışmalarına katkıda bulunması amacıyla Aydın bölgesi için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar yerel halkın ve hükümetin en yüksek önceliğe sahip güneş enerjisi yatırımlarının hayat geçirilmesini sağlayabileceği ve bu sırada endüstrinin ve hükümetin jeotermal güç sistemlerine ve merkezsizleşmiş linyit santrallerine yatırım yapabileceği sonucuna varmışlardır.

3. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada Aydın bölgesinde kurulabilecek bir fabrikanın enerji ihtiyacının, başta elektrik olmak üzere, kesintisiz olarak temin edilmesi için farklı ÇKKV yöntemleri kullanarak enerji yatırım politikasının oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma, belirlenen bir dizi kritere göre bölgede bulunan enerji kaynaklarının arasında yatırım önceliği sıralaması yapmayı matematiksel yöntemlere dayandırır. Bu kapsamda kullanılan yöntemlerin ve melezlenmiş sürümlerinin probleme uygunlukları incelenir. Yöntemlerin sağlamlığı ve uygulanabilirliği değerlendirilir. Elde edilen sonuçlarının her biri için oluşturulan enerji yatırım politikalarının arasındaki farklar değerlendirilir.

Enerji yatırım politikası oluşturmak, belirlilik altında uzun vadede uygulanacak kararlar vermektir. Bu kararlar, doğal kaynakların rasyonel kullanımı, enerji arz güvenliliğinin sağlanmasına destek veren, riskleri azaltan, enerji üretiminin çeşitliliğini arttıran, ithalatı azaltan, teknolojilerin verimliliğini arttıran, daha verimli üretilen ve kullanılan enerji, çevre ile uyumlu ve sürdürülebilir nitelikte ulusal enerji politikasına uygun olmalıdır [4].

Ulusal enerji politikalarına uyumlu olarak belirlenen kriterler beş ana başlık altında toplanmıştır. Bu başlıklar teknolojik, ekonomik, sosyal, çevresel ve üretimdir. Problemin gerçek hayatı daha iyi yansıtabilmesi ve çalışmanın kapsamlı olarak ele alınabilmesi için, algoritma kısıtları da dikkate alınarak, ana kriterler on beş alt kritere kadar genişletilmiştir. Değerlendirmeler yapılırken her bir alt kriter ve bunların teknik özellikleri dikkate alınmıştır.

Çalışmada yer alan anketleri yanıtlayan değerlendiriciler farklı meslek gruplarından seçilmiş kişilerdir. Bu kişilerin çalışma alanları çevre ve sürdürülebilirlik, risk analizi, enerji yatırımları denetimi, enerji ticareti, akademi olup bunların yanı sıra enerji sektöründe çalışmayan insanlarda bu çalışmada yer almaktadır. Değerlendirmelerin tümü anketler vasıtasıyla yapılmıştır. Anketlerde soruların cevaplandırılması için verilen değerlendirme ölçeğinde rakamların yanında sözlü açıklamaları da yer alır. Bu sayede değerlendiriciler karşılaştırma yapmak için sözlü açıklamaları üzerinden düşünerek uygun değeri yazabilirler. Biraz, biraz daha veya az, daha az gibi sözle daha rahat ifade edilebilen yargıların matematiksel olarak ifadesi kolaylaşır.

Anketler tüm yöntemler için ayrı ayrı hazırlanmış karşılaştırma çifti sorularından oluşur. Karşılaştırma çiftleri, ikili karşılaştırması yapılacak olan problem bileşenlerini (kriter

ve alternatifleri) ifade eder. Anketlerden alınan tüm veriler yazılan bir algoritma yardımıyla okunur, birleştirilir ve başlangıç matrislerine yerleştirilir.

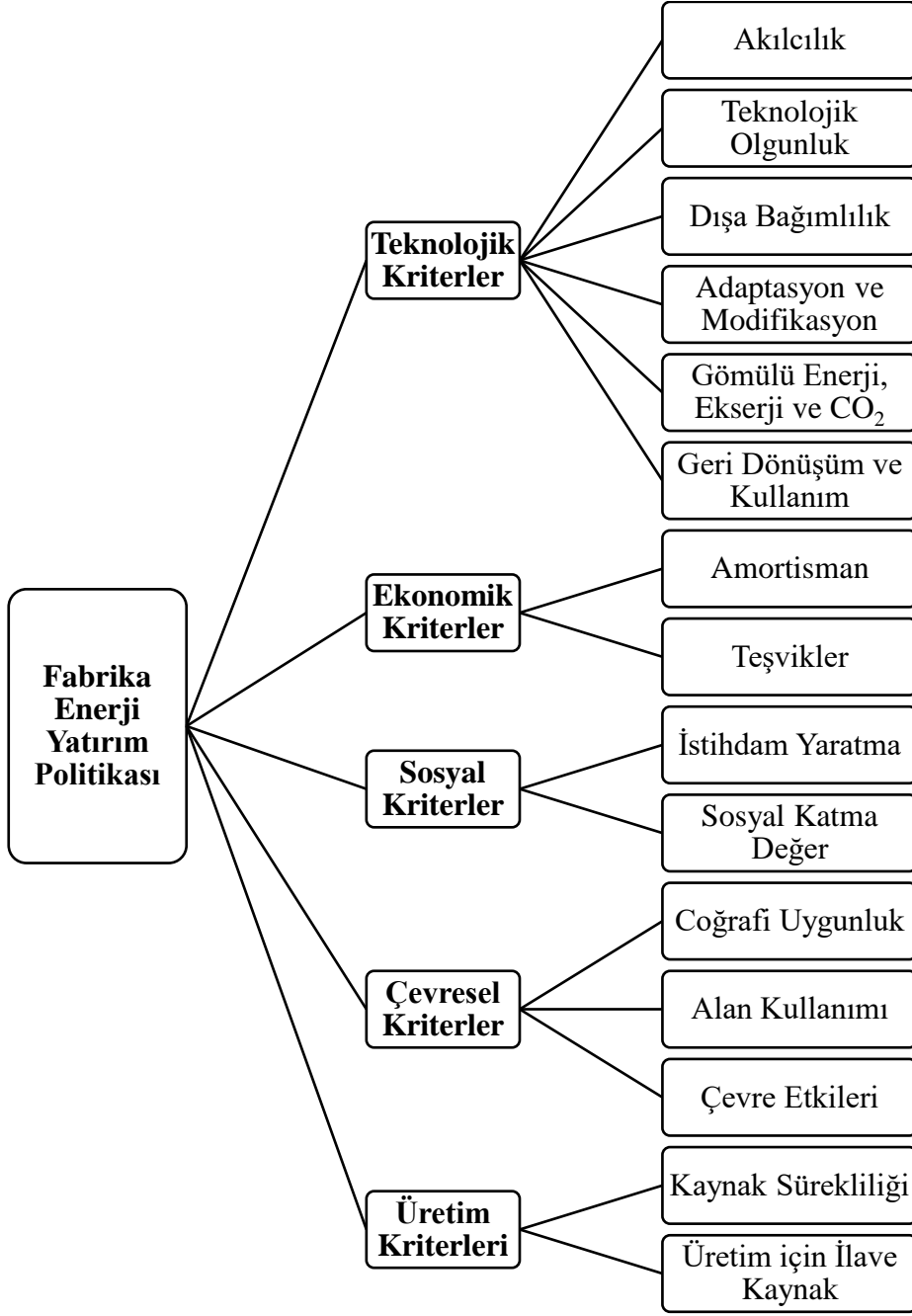
Bir fabrikanın enerji yatırım politikası, kurulacağı bölgenin doğal kaynaklarına, bu kaynaklara olan mesafesine ve yatırım ile işletme maliyetleri gibi bir dizi kritere bağlıdır. Aydın bölgesi coğrafi özellikleri, yer altı kaynakları, güneşlenme süresinin uzun ve ışıyım değerlerinin orta-yüksek oluşu, rüzgâr hızının olurlu seviye ve üzerine çıkması gibi sebeplerden ötürü enerji kaynakları açısından zengindir. Bölgede kömür yatakları bulunmakta ve kömür çıkarılmaktadır [22]. Yer altı sıcak suyun ve buharın yüzeye yakın oluşu ve ısıl dereceleri elektrik üretmek için elverişlidir. Güney Ege Bölgesinde doğal gaz rezervi bulunmadığından doğal gaz bölgeye botu hatlarıyla taşınmaktadır. Bahsi geçen birincil enerji kaynaklarına ek olarak atık ısı santralinin kurulmasının ve enerji üretimine destek vermesinin fabrikaya olumlu etkileri bulunmaktadır.

Fabrikanın enerji ihtiyacının karşılanması için bölgede bulunan enerji kaynaklarının akılcı, verimli, teşviklerden faydalanmaya imkân veren, çevresel etkileri gözetilen şekilde seçilebilmesi için belirlenen kriterler Şekil 3.1.'de gösterilmektedir. Her alt kriter değerlendirmeler esnasında kendi özellik ve olumluluğu esasına göre değerlendirilmiştir. Yatırım politikasında kullanılacak olan enerji kaynakları buradan sonra alternatifler olarak anılacaktır.

3.1. Teknolojik Kriterler

Enerji yatırım politikası kararının belirlenmesinde kullanılan en önemli kıstaslardan biri teknolojik kriterdir. Alternatif için mevcut teknolojinin boyutları altı alt kriterle irdelenir. Değerlendirmesi yapılan alternatif için seçilen teknolojinin akılcı olması, belirli bir uygunluk ve bu sayede güvenlik seviyesine erişmesi, teknolojik dışa bağımlılığın düşük olması veya hiç olmaması, ihtiyaç ve özgün durumlara göre uyarlanabilmesi veya modifiye edilebilmesi gerekmektedir. Bunların yanı sıra, gömülü enerji, ekserji ve CO₂ salım oranı ile geri dönüşüm ve geri kullanım oranları da teknolojik kriter altında değerlendirilir.

Akılcılık, değerlendirilecek teknoloji için enerjinin akılcı kullanımı anlamına gelmektedir. “Enerji kaynağının doğru uygulamada, doğru sıralamada, doğru yerde, doğru zamanda ve doğru enerji arz, talep ve kalite dengesinde kullanılması” demektir [23]. Bu anlamda niceliksel ve niteliksel bakımdan birim kaynak girdisinden elde edilebilecek faydalı enerji miktarı en yüksek olmalıdır. Bu kriter incelenirken elde edilen enerjiye ve yararlı iş potansiyeline bakılır. Bunların yüksek olması beklenir.



Şekil 3.1. Modelin hiyerarşik gösterimi

Değerlendirmesi yapılan enerji kaynağı için kullanılacak teknolojinin enerji verimliliği ve ekserji verimlilikleri de değerlendirilir.

Teknolojik Olgunluk, seçilen teknolojik yöntemin güvenilirliği, gelişmişliği ve denenmişliğidir. Yöntemin tasarımsal ve deneysel aşamalarını tamamlayarak diğer enerji sistemleriyle birlikte veya tek başına yaygınlaşarak ticari kullanıma uygun olduğu seviyedir. Olgunluğa erişmiş bir yöntem için büyük geliştirmeler ve iyileştirmeler yapılamaz; ancak bu durumdaki bir kaynak gerek yatırım maliyeti gerekse güvenilirlik ve işletme konusundaki iş

gücünün bulunması açısından avantajlara sahiptir. Alternatifler için kullanılan teknolojik yöntemin teknolojik olgunluğa erişmiş olması önemlidir.

Dışa Bağımlılık, enerji üretmek için ihtiyaç duyulan kaynaklar ve hammaddeler haricinde donanımın, bilgi birikiminin ve teknolojinin de ithal edilmesidir. İlgili alternatiften enerji elde etmek için gerekli tüm bileşenlerin ithal edilmesi maliyet artışına, bakım ve onarım sorunlarına ve enerji arz güvenliğinin tehlikeye girmesine, dolayısıyla ulusal stratejilere enerji ve istihdam sorunlarına yol açabilmektedir. Dışa bağımlılığın azaltılması veya en düşük seviyede tutulabilmesi için seçilen alternatiften enerji elde eden yöntemlerin azami oranda yerli teknolojiyle geliştirilmiş ve üretilmiş olması önceliklidir.

Adaptasyon ve Modifikasyon, teknolojinin öğrenilmesi, tesise özgü değişikliklerin yapılması ve ticarileşmesidir. Kalıcı ve sistemin yeniden tasarlanması için yapılan değişiklikleri modifikasyon, mevcut sistemin değiştirilmeden yapılan uyum çalışmaları ise adaptasyon olarak tanımlanır. Dışa bağımlılığı azaltan, yerli teknoloji ve donanımın kullanımına bağlı teşviklerden faydalanabilmek için yapılan teknolojinin kolay adaptasyonu önemlidir. Sistemin adaptasyona ve modifikasyona yatkın olması ve bu konuda bilgi birikiminin olması alternatifi daha öncelikli kılar.

Gömülü Enerji, Ekserji ve CO₂, kavramları birleriyle etkileşimde olduklarından bir arada değerlendirilir. Gömülü enerji bir ürünün üretilmesi için harcanan enerji miktarıdır. Bir kilogram malzeme üretmek için gerekli olan megajoule cinsinden enerjidir. Aynı zamanda bir kilogram malzeme üretmek için gerekli olan enerjinin açığa çıkardığı ton karbondioksit olarak da tanımlanır. Özetle, bir malzemenin üretimi için harcanan enerji miktarı arttıkça orantılı olarak artan karbondioksit salımına yol açmaktadır.

Ekserji, tersinir bir süreçte, sistemde oluşan entropi çıkartıldıktan sonra kalan yararlı iş yapma potansiyeline denir. Diğer bir deyişle, enerjinin kalitesidir. Enerji verimine göre hesaplanan karbondioksit salım miktarı, ekserji verimine göre hesaplanan karbondioksit miktarından düşüktür [23]. Yararlı iş yapma potansiyeline göre enerji kaynaklarının elektrik üretmek için dönüştürülmesi sırasında ele alınacak başlıca kıstas ekserji verimi olması gerektiğinden salınan karbondioksit miktarının en düşük seviyede tutulması istenir.

Geri dönüşüm ve geri kullanım, ilk enerji kaynağının üretime girdikten sonra oluşan atıkların değerlendirilerek üretim sürecine dahil edilebilmesi geri dönüşüm olarak tanımlanır. Fiziksel ve kimyasal işlemler sonrası üretime dahil edilen atıktan enerji elde edilmesi geri kazanımı ve herhangi bir işleme gerek duyulmadan üretime doğrudan katılması geri kullanımı ifade eder. Değerlendirilen alternatifin ürettiği atık miktarının en düşük düzeyde olması önceliklidir. Oluşan bu atıkların ise, geri dönüşüm oranının yüksek olması

tercih edilir. Geri dönüşüm oranı yüksek süreçlerde emisyon seviyesi ve depolamadan kaynaklanan çevresel zararın miktarı düşmektedir.

3.2. Ekonomik Kriterler

Alternatiflerin seçimi için belirleyici kriterlerden bir tanesi ekonomik göstergelerdir. Seçilen alternatifin veya alternatiflerin ilk yatırım maliyeti, bu maliyetlerin geri dönüş süreleri ve bu alternatifi seçmenin yaratacağı ek faydanın derecesi değerlendirilir. Ekonomik kriterler, fabrikanın kurulum aşamasından başlayarak üretim yaptığı durumu da kapsar. Bunları amortisman ve teşvikler olarak iki ana grup altında incelenir.

Amortisman alt kriteri değerlendirilirken geri dönüş süresine etkisi olan maliyetlere ve fiyatlara bakılır. İlk yatırım, bakım ve onarım ile üretim maliyetlerinin de biri veya birkaçının yüksek olması amortisman süresini uzatacaktır. Amortisman süresinin kısa olması alternatifi öncelikli kılar.

Yatırım maliyeti, seçilen alternatiften enerji elde edilebilmesi için gerekli kurulum, donanım ve gerekliyse altyapı gibi sabit maliyetleri içerir. Üretim maliyeti, tesisin işletilmesine bağlı maliyetlerdir. Üretimin gerçekleştirilmesi için gerekli iş gücü maliyetini, ilk girdi olan enerji kaynağının temini için harcanan parayı, kaynaktan enerji elde edebilmek için gerekli ek kaynak maliyetlerini kapsar. Üretim maliyetinin düşük olması o kaynağın tercih edilirliliğini artırır. Bakım ve onarım maliyeti, sistemin ve donanım bakım masraflarını, bakım için alınan hizmet bedelini, bu faaliyete ilişkin iş gücü maliyetini, bakım yapılmasına bağlı enerji üretememenin sonucu açığa çıkan zararı ve sistemi kesikli çalıştırmaya bağlı artan arızaları kapsar. Fiyat oynaklıkları altında döviz fiyatları ve piyasa enerji alış ve satış fiyatları yer alır. Yatırımın dövizle yapılmış olması, bakım ve onarım faaliyetlerinin dövizle karşılanması, üretim için girdi olan iş gücü, kaynak ve ilave kaynakların döviz ile fiyatlandırması fiyat oynaklıklarına olan hassasiyeti artırır. Döviz kurunda meydana gelecek dalgalanmalar ile maliyetlerde büyük oranda artabilir. Enerji alış satış fiyatlarında kısa sürelerde büyük dalgalanmalar olması güvensiz bir ortam yaratır. Fiyat oynaklıklarından en az etkilenecek ve maliyetlerin görece düşük olduğu alternatif diğerlerine göre öncelikli olacaktır.

Teşvikler, yatırım aşamasından başlayarak üretim yapılmaya devam edilen süre boyunca elde edilecek ekonomik faydalar olarak değerlendirilir. Yatırım yapılmasını arttırmak amacıyla ve gönüllük esasına bağlı verilen hibeler, yerli kaynak kullanımını ve imalatını arttırıcı ödemeler, yenilebilir kaynaklardan üretim yapılmasını destekleyici

olumluluklar, alım garantileri, verimlilik arttırıcı çalışmaların getirilen destekler bu alt kriter altında incelenir. Bunlara ek olarak, çevre dostu olunması, verimliliğin arttırılıp enerji yoğunluğunun azaltılması için yapılan ARGE çalışmaları için de teşvikler verilmektedir. Alternatifler değerlendirilirken, alternatifin teşvikler kapsamında olması önceliğini arttırır. Alternatifin en az bir veya daha fazla teşvikten yararlanabiliyor olması ise onu daha önemli ve öncelikli yapar.

3.3. Sosyal Kriterler

Fabrikanın seçilen enerji kaynaklarında kullanılacak enerji teknolojilerinin faaliyete geçmesi, bulunduğu bölgedeki sosyal hayatı etkileyecektir. Yaratılan istihdam ile bölge veya yakın civardaki nüfus bu bölgede toplanmaya başlayarak sosyal hayat canlanacaktır. Böylelikle, ilgili bölge ve civarı için istihdam ve sosyal katma değer yaratılmış olacaktır.

İstihdam Yaratma, ilgili alternatifin kullanılmasına bağlı olarak sağlanacak istihdamın seviyesi ölçülür. Bu seviye yaratılan yeni iş alanları ve arttırılan işgücü olarak değerlendirilir. Değerlendirmesi yapılan alternatifin seçilmesi halinde farklı iş kollarının sayıca artışı ve doğrudan ve dolaylı olarak bu işlerde çalışacak kişilerin çoğalması önemlidir.

Sosyal Katma Değer, bölgenin gelişmesi, ilgili alternatifin kullanılması karşısında sosyal kabullenilirliğin oluşturulması ve iş ve işçi güvenliğinin sağlanması olarak değerlendirilir. Artan istihdam ile bölgede ekonomik ve sosyal alanlarında gelişmeler yaşanması beklenir. Değerlendirmesi yapılan alternatife bölge halkı tarafından karşı çıkılmaması, yatırımın yapılmasının bu kişiler için endişe yaratmaması değerlendirilir. Çalışma koşullarının iyileştirip belirli bir standarda oturtulması sayesinde işin ve işçinin güvenliğinin sağlanması önemlidir.

3.4. Çevresel Kriterler

Bölgenin doğal özellikleri ve fabrikanın faaliyete geçmesi sonucunda çevreye olan etkisi bu kriter altında değerlendirilir. Bölgede bulunan enerji kaynaklardan faydalanabilmenin, coğrafi koşulların elverişliliğinin, ihtiyaç duyulan alanın ve çevreye verebileceği zararlar incelenir.

Coğrafi Uygunluk, en genel tanımıyla incelenen alternatifin bulunduğu konumun fabrikanın enerji ihtiyaçlarını karşılamaya uygun olmasıdır. Alternatifleri oluşturan birincil enerji çeşitleri ve yenilebilir kaynakların ilgili bölgede bulunup bulunmadığı veya bu bölgeye yakınlığı değerlendirilir. Alternatifin doğal olarak bölgede bulunması önceliklidir.

Alternatifin nakledilerek bölgeye ulaştırılması halinde nakledilen yerin fabrikaya yakın olması da önemlidir. Bunların yanında topografyanın elverişliliği de değerlendirilmelidir. Lojistik faaliyetlerin yürütülebilmesi açısından ulaşımın, enerjinin taşınmasının da uygun koşullara gerçekleşebilmesi gereklidir. Alternatiflerin üretim noktasına taşınması ve üretilen enerjinin fabrikaya ulaştırılabilmesi için enerji nakil hatlarının bulunması önemlidir. Coğrafi uygunluğun son alt basamağı ise alt yapı yatırımlarının varlığıdır. İlgili bölgede değerlendirmesi yapılan alternatiften üretim yapılabilmesi için gerekli alt yapının varlığı ek bir yatırım yapılma ihtiyacına göre daha önemlidir.

Alan Kullanımı, ilgili alternatiften üretim yapmak için gereken alanın büyüklüğü ve bu alan başına ne kadar enerji üretildiği değerlendirilir. Santral alanının küçük olup üretilen enerjinin ise fazla olması istenir. Üretim gerçekleşikten sonra enerjinin tüketim noktasına ulaşması kat edeceği mesafe de değerlendirilir. Üretim ile tüketim noktalarının birbirine yakın olmaları daha önemlidir.

Çevresel Etkiler, değerlendirmesi yapılan alternatifin seçilmesi halinde çevreye verilebilecek zararlar değerlendirilir. Bu zararların en az olması önemlidir. Bunlar, ekosisteme etkileri, karbon ayak izi ve üretim sonrası atıklar olarak tanımlanabilir. Üretim sürecinde ortaya çıkan ürünün dışında yan ürünlerin, sıvı, gaz ve katı atıkların canlı yaşamına zararlı bir etkisinin olmaması önemlidir. Havanın, suyun ve toprağın bu zararlı etkilerden dolayı hiç kirlenmemesi veya en az düzeyde kirlenmesi önemlidir. Asıl ürün, elektrik enerjisi dışında ortaya çıkan ve kullanılmayan ürünlerin yani atıkların zararsız ve asgari seviyede önceliklidir. Zararlı atık oluşması halinde ise bunların güvenli ve kolayca bertaraf edilebilir olması önceliklidir. Çevresel etkiler altında değerlendirilen diğer bir alt kriter ise karbon ayak izidir. Karbon ayak izi “üretilen sera gazı miktarı açısından insan faaliyetlerinin çevreye verdiği zararı bir ölçüsüdür. Karbon salımı yapmayan alternatif düşük salım yapana göre önceliklidir. Benzer olarak düşük salım yapan alternatif ise daha fazla salım yapana göre önceliklidir.

3.5. Üretim Kriterleri

Üretiminin yeterli ve kesintisiz düzeyde gerçekleştirilebilmesi fabrikanın ana çalışma prensibidir. Bunun sağlanabilmesi için ilk olarak kaynak sürekliliği incelenir. Alternatifler değerlendirildiğinde birincil enerji çeşitlerinden elektrik üretmek için ilave kaynaklara ihtiyaç olabilmektedir. Bu iki alt kriterle değerlendirilen alternatifin fabrikanın üretim ihtiyaçlarını nasıl karşılayacağı değerlendirilir.

Kaynak Sürekliliği, üretim yapmak için ana enerji kaynağının daimî olarak erişilebilir/tedarik edilebilir olması anlamını taşır. Kaynak sürekliliği, enerji arz güvenliğini sağlanması için önemlidir. Gün, saat ve mevsim farkı olmaksızın fabrikanın enerji ihtiyacı karşılanmalıdır. Bunun için ilgili alternatifin üretim noktasına nasıl ulaştığı değerlendirilmelidir. Nakil hatlarının kullanılmasına ve lojistik faaliyetlerin gerçekleştirilmesine gerek olan alternatifin bunlara gerek duymayan alternatifine göre önceliği düşük olacaktır. Öte yandan, yenilenebilir kaynaklar doğal şartlara bağlı olduğundan tek başlarına arz güvenliğini sağlamadan düşük öneme sahiptirler. Ancak, bu tür alternatifler için enerji nakil hatlarına ve lojistik faaliyetlerine gerek bulunmaz. Bu noktada kaynak çeşitlendirmesine gidilerek bu sorun ortadan kalkabilir. Benzer şekilde, birincil enerji kaynaklarında dışa bağımlı olduğundan fabrikanın tüm enerji ihtiyacı için tek bir alternatif seçilmesi yerine bir sıralama yapılarak kaynak çeşitlendirmesine gidilebilir.

Üretim İçin İlave Kaynak, değerlendirmesi yapılan alternatiften elektrik üretmek için gerekli olan ek kaynaklardır. Bunlar doğal olarak bulunabilen, yerli veya ithal malzemeler olabileceği gibi başka bir enerji çeşidi de olabilir. Yanma sistemleri, motor ve türbinler için ısı, elektrik, buhar vb. enerjilere ihtiyaç duyulabilir. Fosil yakıtlı kaynaklar için besi suyu, soğutma suyu ve atık ısı sistemlerine ihtiyaç duyulabilir. Üretim için ilave kaynağa ihtiyaç duyulamaması, ihtiyaç duyulan alternatiflere göre önceliklidir.

3.6. Yer Seçimi ve Doğal Kaynaklar

Aydın ili doğal kaynaklar bakımından oldukça zengindir. Yer altı ve yer üstü kaynakları enerji yatırımı yapılarak santral kurmaya uygun değerlerdedir. Bölgenin coğrafi ve jeolojik özellikleri gereği birincil enerji kaynaklarından rüzgâr, güneş, kömür ve jeotermal üretim yapmaya elverişlidir. Boru hatlarıyla bölgeye taşınan doğal gaz ve ilaveten atık ısı ile de üretim yapılması seçilen il için uygundur.

Güneş enerjisi, Güneş' te meydana gelen füzyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan enerjinin yeryüzüne ulaşması ile elde edilir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir. Aydın ilinin yıl geneli ortalama güneşlenme süresi 8,25 saattir. Günde metrekareye düşen ışınlardan ortalama olarak 4,27 kWh elektrik üretilebilir. Gelen ışınlam değerleri Türkiye değerlerinin ortalaması olup 1550-1700 kWh/m²-yıl' dır [24].

Rüzgâr, yer yüzeyinin farklı ısınması, dünyanın dönüş hareketi, yüzey sürtünmeleri, yeryüzünün topoğrafik yapısı gibi olaylarla meydana gelen yüksek basınçtan alçak basınca doğru atmosferik hava hareketidir. Rüzgâr değerleri incelendiğinde ekonomik rüzgâr enerjisi santrali yatırımı için gerekli rüzgâr hızının 7 m/s ve üzerinde olduğu topoğrafyalar için 2523,76 MW kurulu güç potansiyeli bulunmaktadır [25].

Kömür, karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkileriyle birleşerek oluşumunu milyarlarca yılda tamamlayan organik kökenli bir kayadır. Kömür yapısına göre katı ve koyu renkli olup ve yanıcı gazlar içerir. “Dünya genelinde kömür rezervlerinin 323,6 milyar tonu (%31,3) Avrupa-Avrasya ülkelerinde, 424,2 milyar tonu (%41,0) Asya-Pasifik ülkelerinde, 258,7 milyar tonu (%25,0) Kuzey Amerika ülkelerinde, 14,4 milyar ton (%1,4) Afrika-Doğu Akdeniz ülkelerinde ve 14,0 milyar ton (%1,4) Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır” [26]. Aydın ilinde yaklaşık 1000 ton değerinde linyit yatakları olduğu tahmin edilmektedir ve üretim yapılabilmektedir.

Jeotermal, yer kabuğunun alt tabaklarında bulunan kimyasal maddeler içeren gazlar, sıcak su ve buhardır. Yer kabuğunda biriken bu kaynaklardan ve bu kaynakların ortaya çıkarttığı enerjiden faydalanmayı jeotermal enerji sağlar. Ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksek olup potansiyel oluşturan alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için, %10' u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur [27]. Aydın ili, Türkiye' nin %80' lik jeotermal enerji potansiyelini barındırmaktadır. Son değerlere göre 1000 MW' lık üretim kapasitesi olduğu düşünülmektedir [22].

Doğal gaz, bir petrol türevi olan doğal gaz: yanıcı, havadan hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Başta metan (CH_4) ve etan (C_2H_6) olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşur. Yer altında, genellikle petrol ile birlikte veya gaz rezervuarlarında bulunur. Kaynağından çıkarıldığı haliyle herhangi bir işlemde geçirilmeksizin kullanılabilen doğal gaz, boru hatları ile veya sıvılaştırılarak tankerlerle taşınır. Doğal gaz rezervlerinin 75,5 trilyon metreküpü (%38,4) Orta Doğu ülkelerinde, 66,7 trilyon metreküpü (%33,9) Avrupa ve Avrasya ülkelerinde, 32,5 trilyon metreküpü (%16,5) Afrika/Asya Pasifik ülkelerinde bulunmaktadır [28]. Bölgeye boru hatları ile taşınmaktadır.

Atık ısı, enerjiye dönüşümü sırasında çığa çıkan düşük enerjili ısıdır. Tüm makine ve enerji kullanan sistemlerde açığa çıkan yan üründür. Açığa çıkan bu yan ürünün tekrar

kullanılarak sisteme verilmesi enerji verimliliğini arttırmaya katkı sağlar. İhtiyaç duyulan her noktada diğer enerji santralleri birlikte kullanılabilir.

4. YÖNTEMLER

4.1. Kullanılan yöntemler

Çok kriterli karar verme süreçlerinde yapılan karşılaştırmalar için anketler hazırlanır. Bu anketler her yöntemin matris formları için ayrı ayrı oluşturulurlar. İkili karşılaştırmaların sözel ifadelerle sorulup rakamlarla cevaplanması istenir. Böylelikle, niteliksel ve niceliksel değerlendirme aynı anda yapılır. Cevaplandırma puanları arasından seçilebileceği gibi tanımlardan da seçilebilir. Bu sayede değerlendiricinin daha önce zihninde yer alan bilgilere göre yapacağı sübjektif karşılaştırmalar ölçülebilir ve tutarlılıkları hesaplanabilir bir düzeye getirilir.

Üç farklı yöntem için hazırlanan anketler aynı değerlendirme ölçeğini kullanırlar. Tüm sorular aynı düzende hazırlanmıştır. Bu sayede, anketin daha kolay ve hızlı cevaplandırılması amaçlanmıştır. Analitik Hiyerarşi Sürecinde ve Analitik Ağ Sürecinde ikili karşılaştırma soruları oluşturulacak matrisler için 1-9 puan ölçeğinde doldurulur ve hesaplanır. Bunlardan farklı olarak, DEMATEL değerlendirmeleri için 1-4 puan ölçeği kullanılmaktadır. Anketlerden alınan 1-9 aralığındaki puanlar DEMATEL için 1-4 aralığına getirilerek daha sonra matris yerleşimleri için hesaplanmıştır. Farklı değerlendiricilerden alınan karşılaştırmaların, ortak bir grup yargısı oluşturması ve matris hesaplama adımlarının süre ve işlem sayısı olarak kısaltılması için önce geometrik ortalamaları hesaplanmış ve bu değerler matrislere yerleştirilmiştir.

4.1.1. Analitik Hiyerarşi Süreci

Karşılaştırmalar yaparak karar verme sürecinin gelişimi Myers ve Alpert' in 1968 [29] yılındaki "Determinant Alış Davranışları" çalışmaları ile başlar. İdeal ürünün müşteri tarafından seçilebilmesi için, kriterlerin belirlenmesi ve tek soru sorulması ideal ürünün seçimini zorlaştırdığı için ikili sorular sorulur. Bu sorularla, bir ürünün diğerine göre ne derecede önemli olduğunu bu çalışmada araştırılır. Dual sorular için 1- 4 aralığındaki karşılaştırma ölçeği kullanılır. Bu çalışmaya benzer bir çalışma daha sonra Saaty tarafından yapılarak ikili karşılaştırmaların 1 – 9 aralığında yapılmasının insanın karar verme davranışı üzerinde daha etkili olduğu savunulmuştur. İdeal ürün seçiminden başlayarak öncelik sıralaması yapmaya evirilen karar verme süreci temel hiyerarşik yapısını almıştır ve geliştirilmeye devam edilmektedir.

Analitik Hiyerarşi Süreci'nde en iyi cevabın bulunması için problemin parçalarını oluşturan alternatifler ve değerlendirme kriterleri üzerinde durulur. Bu kriterler değerlendiricilerin fikirleri alınarak da belirlenebilir. Hiyerarşik yapıda en iyi cevabın bulunması için bu parçalar hakkında çok fazla veya az bilgiye sahip olmak değil, bunları doğru analiz edebilmek gereklidir. En iyi alternatif belirlenirken kriterler belirlenir ve tanımlanırlar. Kriterlerin değerlendirilmesi karar vericilerin yargılarına dayanır. Bu yargılar karşılaştırmalı olarak mevcut olan iki değer arasında yapılır. Buradan yola çıkılarak kriterlerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırmaları matematiksel olarak ifade edilir. Analitik olarak tanımlanan bu süreç için hiyerarşik yapıda en iyi çözüm aranır [30]. Yöntemin uygulama süreci Şekil 4.1.' deki gibi gösterilebilir.

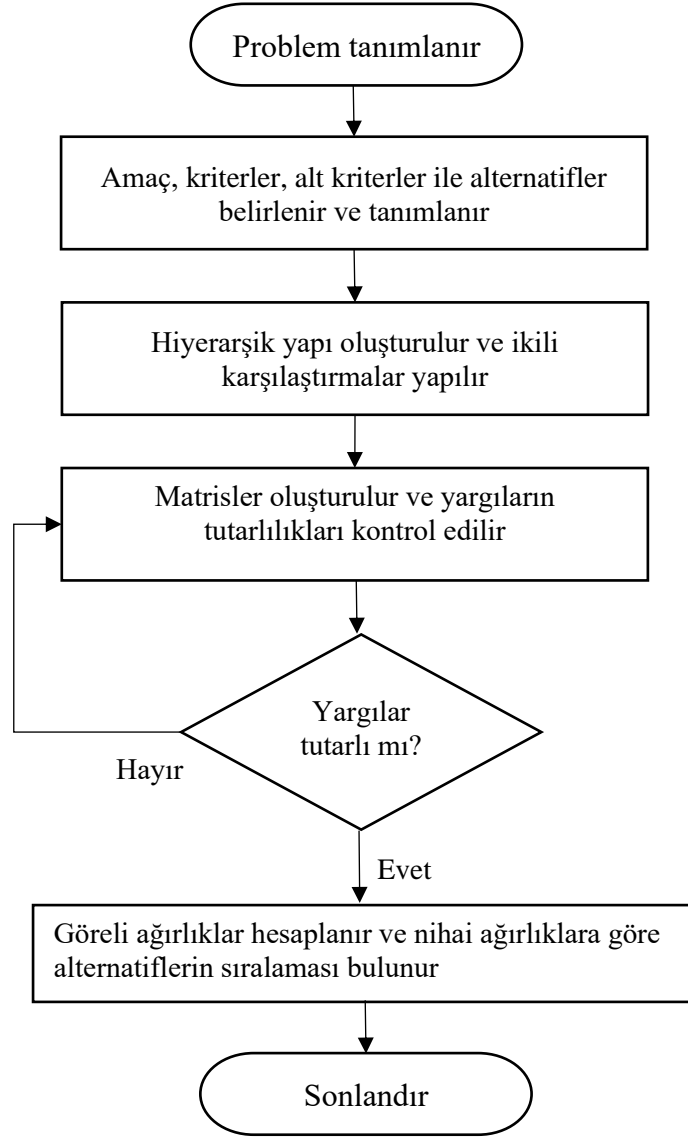
Problem modellenirken hiyerarşik yapıdan faydalanılır. Hiyerarşik yapı sistematik olarak, bu amacın elde edilmesi için hangi değerlendirmelerin yapılmasını gerektiğinin, bu değerlendirmelerin hangi alternatifler için olduğunun gösterimidir. Hiyerarşik gösterim ile değerlendirmeler neden sonuç ilişkilerine bağlanarak ardışık olarak ilerler. Bu gösterim şekli karmaşık yapıdaki problemleri daha anlaşılır hale getirilerek çözümü kolaylaştırır. Analitik Hiyerarşi Sürecinin yapısı Şekil 4.2.' deki gösterilmiştir.

Hiyerarşik yapının ilk basamağı problemin amacıdır. Bu amaca ulaşmayı sağlayacak kriterler ikinci basamakta yer alır. Gerekli görülmesi halinde kriterleri irdelemeye yardımcı alt kriterler takip eden basamağa eklenebilir. Son basamakta ise problemin amacına çözüm getirecek alternatifler yer alır [31].

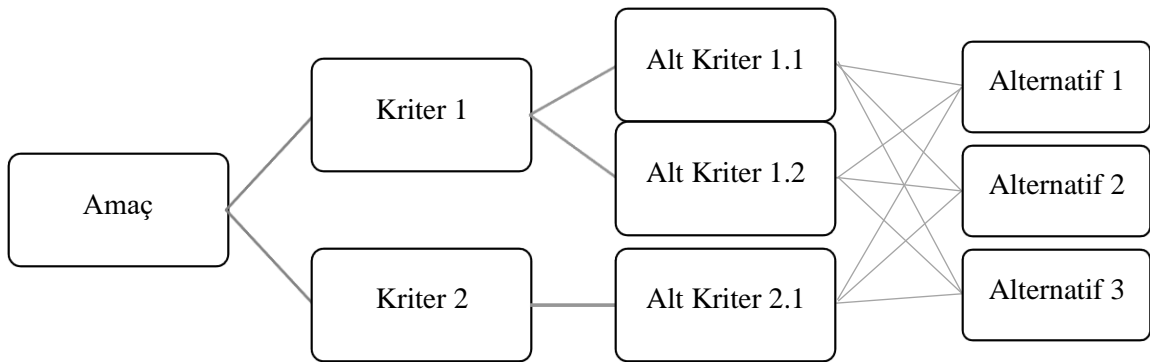
Yöntemin gösterim şeklinin yalınlığı ve hesaplamaların diğer çok kriterli karar verme yöntemlerine göre daha kolay olması sebebiyle bir problemin ilk değerlendirmesi için kullanılabilir. Elde edilen veriler AHP yöntemi ile aşağıdaki gibi işlenmektedir.

Belirlenen n tane kriterin elamanları (k_1, k_2, \dots, k_n) olarak tanımlanır. İkili karşılaştırma çifti i, j ile belirtilir. k_i ve k_j kriterlerinin için yapılan ikili karşılaştırmalar a_{ij} ile gösterilir. Anketlerle toplanan ikili karşılaştırmalar Kriterler Arası Karşılaştırma Matrisi eşitlik (4.1)' de verilmiştir.

$$A = a_{ij} \quad \forall_{ij} \in (1, n) \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Analitik Hiyerarşi Uygulama Süreci



Şekil 4.2. Hiyerarşik Yapı Gösterimi

Karşılaştırmalar yapılırken ilk olarak bir kriter belirlenir ve bu kriter için karşılaştırma çiftinin hangisinin daha baskın olduğunun değerlendirilmesi istenir. Örneğin, kriterlerden bir tanesi için k_i 'nin k_j ' ye oranla ne kadar daha önemli olduğu sorulur. k_i 'nin k_j ' ye baskınlığı aynı zamanda k_j 'nin k_i ' ye oranla ne kadar daha az önemli/ baskın olduğunu belirtir. Hiyerarşik yapıdaki bu sistematik içinde k_i 'nin k_j ' ye göre aldığı puan (4.2)' deki denklemle ile gösterilir.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (4.2)$$

Puanlar verilirken Saaty' nin belirlediği temel ölçü değerleri esas alınır. Önem değerleri 1 ile 9 arasındadır. 1 karşılaştırılanların eşit önemde veya kayda değer önemi olmadığını belirtmek için kullanılırken. 9 puan birinin diğerine nazaran aşırı güçlü öneme sahip olduğunu gösterir. Arada kalan önem değerleri sözlü olarak artan sırayla az önemli durumdan çok daha güçlü önem derecesine doğru tanımlanır. Tablo 4.1.'de önem değerleri ve açıklamaları verilmiştir.

$i \neq j$ Karşılaştırma çiftleri yapıldıktan sonra $i = j$ olduğu durumlar için matrisin diyagonalindeki puanlar aşağıdaki eşitlikte gösterildiği üzere her zaman birdir.

$$a_{ii} = 1 \quad (4.3)$$

Tablo 4.1. Saaty 1- 9 puan ölçeğinde nitel ve nicel değerlendirmeler

Önem Değeri	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemde	Karşılaştırılanlar eşit derecede öneme sahip
2	Az ve zayıf önemde	
3	Orta derecede önemli	Karşılaştırılanlardan biri diğerine göre daha önemli
4	Ortadan biraz daha önemli	
5	Güçlü önemde	Karşılaştırılanlardan biri diğerine göre güçlü derecede önemli
6	Daha güçlü önemde	
7	Çok güçlü önemde veya fark edilebilir önemde	Karşılaştırılanlardan biri baskın olarak diğerinden daha önemli
8	Çok daha güçlü önemde	
9	Aşırı güçlü önemde	Karşılaştırılanlardan biri diğerine göre bariz şekilde yüksek derecede önemli

Kriterler Arası Karşılaştırma Matrisi her bir anket için tamamlanır. Anketler farklı bakış açılarını temsil eden değerlendiriciler tarafından doldurulduğu için ortak bir grup yargısı oluşturmak gerekmektedir. Matrisler doldurulmadan önce alınan anket verileri ortak grup yargısına ulaşmak için işlenir. Sentezlenmiş grup yargılarını oluşturmanın en iyi yolu geometrik ortalamayı kullanmaktır.

“Saaty [30]’nin bahsettiği gibi farklı değerlendiricilerin oluşturduğu grup kararlarının birleştirilmesi gerekmektedir. Gerçekte bireysel kararlardan oluşan değerlendirmeler ortak kararlar verilmediler. Birbirlerinden bağımsız olarak yapılan değerlendirmeler hem bireysel değerlendirmeleri içermeli hem de bunlarla bir grup kararı verilebilmelidir. İkili karşılaştırmalar bu bağımsız değerlendirmeleri birleştirmek için önemli bir rol oynar. Değerlendirmeler birleştirildiğinde yargıların karşılıklarının birleştirilmiş halleri birleştirilmiş yargıların karşılıklarına eşit olur. Bu sebeple, geometrik ortalama bunu başarmanın eşsiz bir yoludur.”

Saaty [30]’nin önerdiği gibi farklı matrisler oluşturularak sonrasında nihai sonuçların geometrik ortalamasının alınması yerine, hesaplama adımlarının kısaltılması, oluşturulacak matris sayısının azaltılması ve tüm hesaplamaların yapılabilmesi için ve yazılan algoritmaların daha kısa sürede çözülebilmesi amacıyla anketlerden alınan verilerin geometrik ortalaması alınmıştır. Hesaplanan her bir geometrik ortalama ikili karşılaştırma matrislerine yerleştirilmiştir. Bu sayede kullanılan tüm yöntemler içinde bağımsız grup değerlendirmeleri tek bir birleşik değere indirgenmiş ve işlem kolaylığı sağlanmıştır.

Anketleri cevaplayan n tane değerlendiricinin ($n = 1, 2, \dots, n$) her bir karşılaştırma çifti için verdikleri puanlar a_{ij}^n ile gösterilir. Buradan ulaşılabilecek grup yargısı (4.4) numaralı denklemle hesaplanır.

$$G = \sqrt[n]{a_{ij}^1 a_{ij}^2 \dots a_{ij}^n} = [g_{ij}] \quad (4.4)$$

İndirgenen A matrisinden sonra ağırlıklar W_i bulunur. Ağırlıkları bulmak için (4.5) numaralı denklem çözülür.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{g_{ij}}{\sum_{i=1}^n g_{ij}} \right)}{n}, \forall ij \in 1, \dots, n \quad (4.5)$$

Her bir Kriterler Arası Karşılaştırma Matrisinin (A) tutarlı sonuçları olup olmadığı kontrol edilmelidir. Matrislerin tutarlılıklarının hesaplanması için ilgili matrisin özdeğeri

hesaplanmalıdır. Özdeğer ve özvektör birlikte hesaplanır. Bu kavramlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

“Bazı vektörler bir A matrisi ile çarpıldıkları zaman yön değiştirir, bazıları ise değiştirmezler. Bazı özel x vektörleri, AW vektörü ile aynı yönde kalmaktadır. İşte bu vektörlere “özvektörler” denir. Bir özvektörün A matrisi ile çarpımı olan AW vektörü, orijinal W vektörün $\lambda \in \mathbb{R}$ olmak üzere λ katıdır. Sonuç olarak temel denklem $AW = \lambda W$ şeklindedir. Burada λ skaleri A matrisinin bir özdeğeridir” [32].

Özdeğer hesaplama yönteminden yola çıkarak tutarlılık denkleminde kullanılacak eşitlikler (4.6) ve (4.7) ile gösterilmektedir.

$$AW = \lambda W \quad (4.6)$$

$$\lambda_{büyük} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (4.7)$$

Özdeğer bulunduktan sonra ikili karşılaştırmaların tutarlılığı kontrol edilir. Tutarlılık oranı ($C.R$) için ilk olarak tutarlılık endeksi ($C.I$) (4.8) ve (4.9) numaralı eşitlikler yardımıyla bulunur.

$$C.I = \frac{\lambda_{büyük} - n}{n-1} \quad (4.8)$$

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (4.9)$$

N tane kriter için rastgele yaratılan sayıların ortalama endeks değeri ($R.I$) Tablo 4.2.’den okunur.

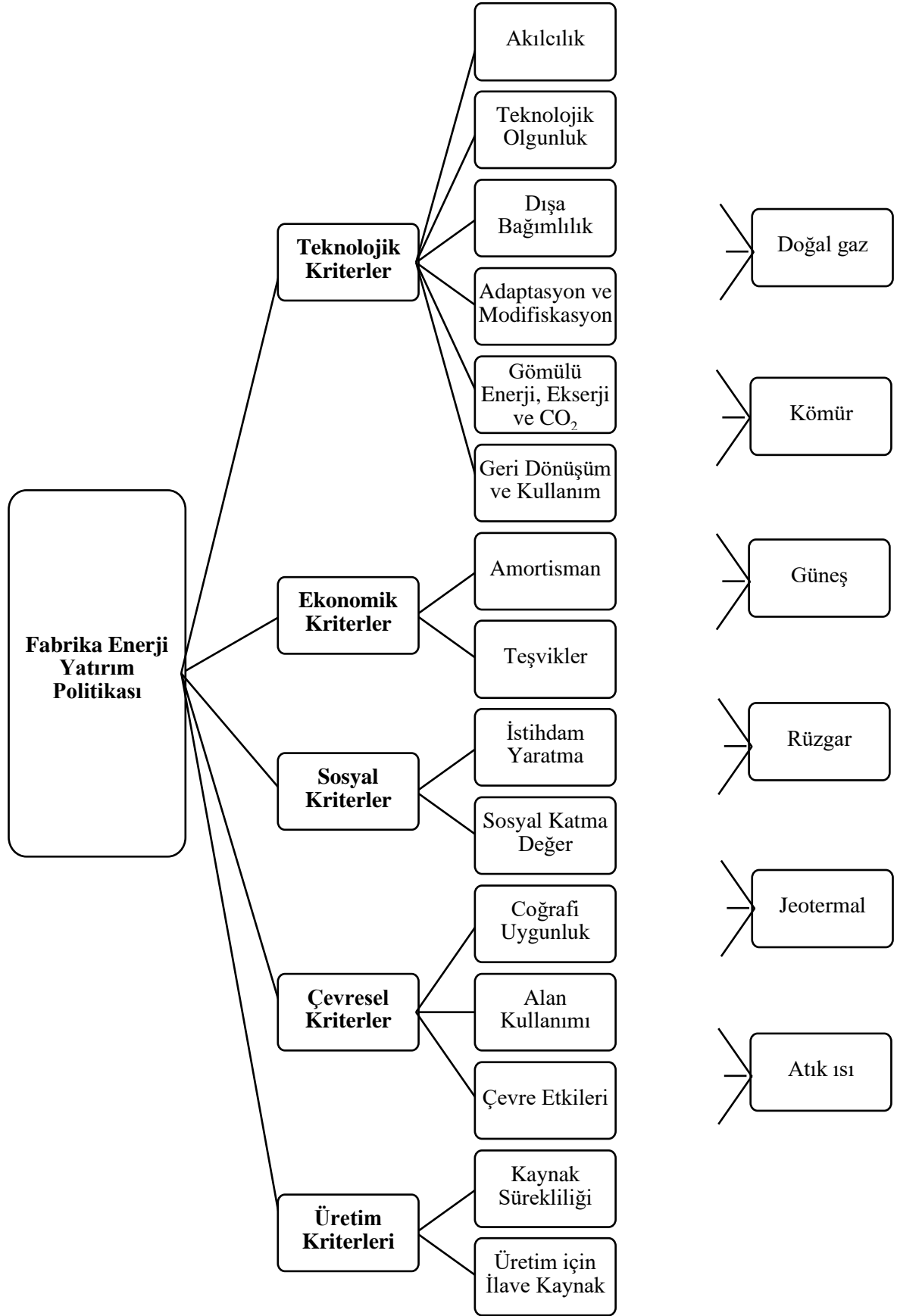
Tablo 4.2. Saaty Rastgele Sayılar Endeksi

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R.I$	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

$C.R < 0,1$ ise ikili karşılaştırmalar için verilen cevapların tutarlı olduğu kabul edilebilir. $C.R \geq 0,1$ olması durumunda ise matris tutarsızdır, bir diğer deyişle verilen cevaplar arasında tutarsızlık bulunmaktadır. İkili karşılaştırma değerleri gözden geçirilmelidir. Tutarlı bir matris bulunmalıdır. “Tutarlı bir matris bulunması için Saaty’ nin önerdiği üç adım takip edilebilir. İlk olarak, matriste yer alan en tutarsız değerlendirme bulunur. İkinci olarak, tutarsızlığı iyileştirebilecek değerlendirmelerin aralığına karar verilir ve değerlendiriciden bu değerlendirmeyi makul bir değere getirmesi istenir. Eğer en tutarsız

değerlendirme değerlendirici tarafından değiştirilmezse, yukarıdaki adımlara en tutarsız ikinci yargı ile devam edilir” [30]. Bu adımlar uygulanarak matrislerin tutarlılık oranlarının %10 sınırları altında kalmasına çalışılır.

AHP yöntemine uygun olarak problem hiyerarşik yapıya Şekil 4.3. ile gösterilmektedir. Hedef fabrikanın enerji yatırım politikasını oluşturmaktır. Hedeften sonra ilk basamakta ana kriterler yer almaktadır. Her ana kriterin içerdiği genişletilmiş değerlendirme kriterleri hiyerarşinin ikinci basamağında yer alır. Hiyerarşinin üçüncü basamağında ise alternatifler yer alır. Alternatifler arasında yapılacak önem sıralamaya göre hedefe ulaşılacaktır. Tüm alternatifler alt kriterlerin tamamıyla bağlantılıdır. Görsel sadeliği korumak için tüm bağlantılar gösterilmemiştir.



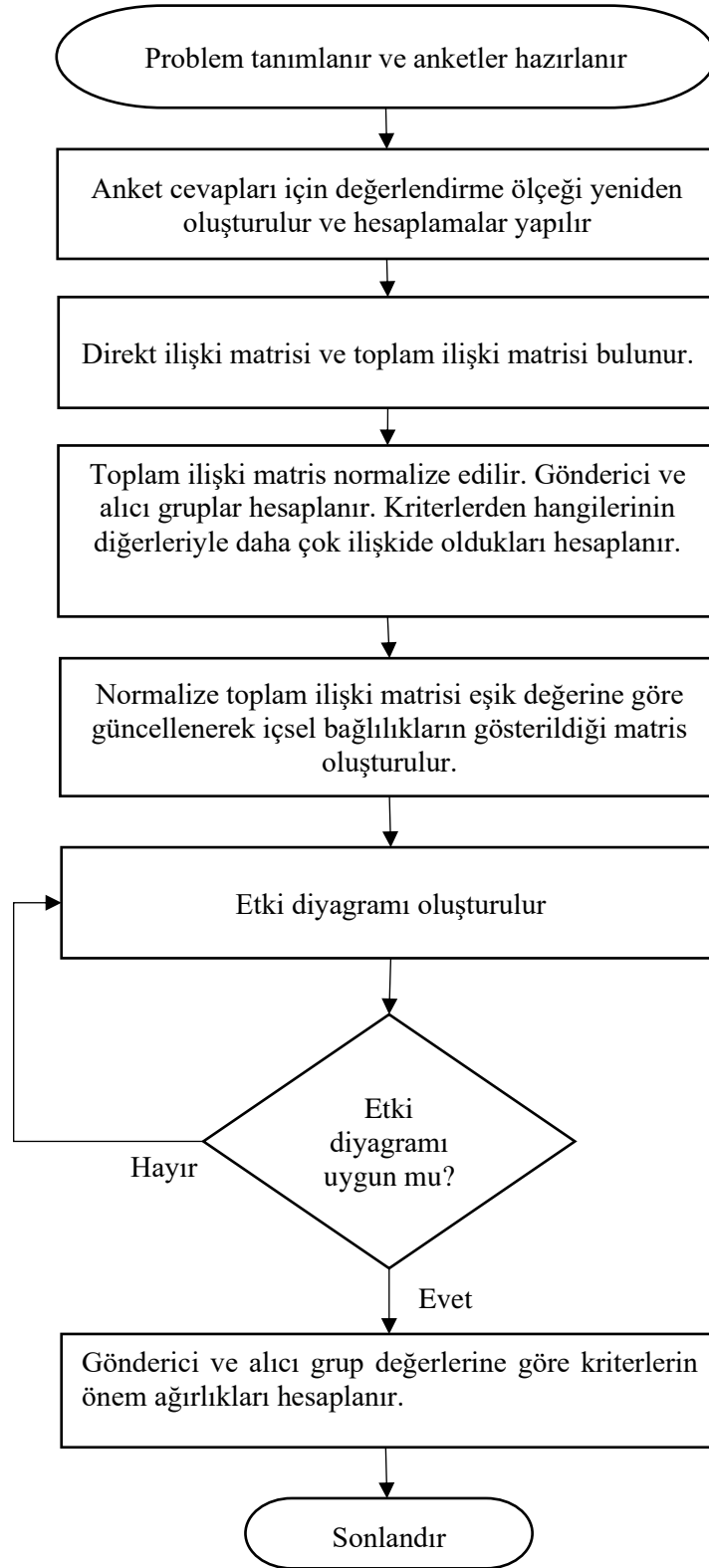
Şekil 4.3. Problemin hiyerarşik yapıda gösterimi

4.1.2. DEMATEL

DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemi, Battelle Memorial Enstitüsü (BMI) tarafından 1972 ile 1976 yılları arasında geliştirilmiş çok kriterli karar verme metodudur [33]. Enerji, sağlık, yaşam bilimleri, ulusal güvenlik ve savunma vb. konularda bilim ve teknoloji geliştiren bir şirket olan BMI tarafından ortaya atılan bu yöntem uzmanların görüşleri alınarak uluslararası konulardaki karmaşık problemlerin çözümü amaçlamıştır. Bu yöntem, karmaşık yapıdaki nedensel ilişkileri matrisler ve diyagramlar halinde görselleştirmektedir. Bu sayede DEMATEL, kriterlerin gönderici ve alıcı gruplar olarak ayrıştırarak sistemin daha anlaşılabilir olmasını sağlar [34].

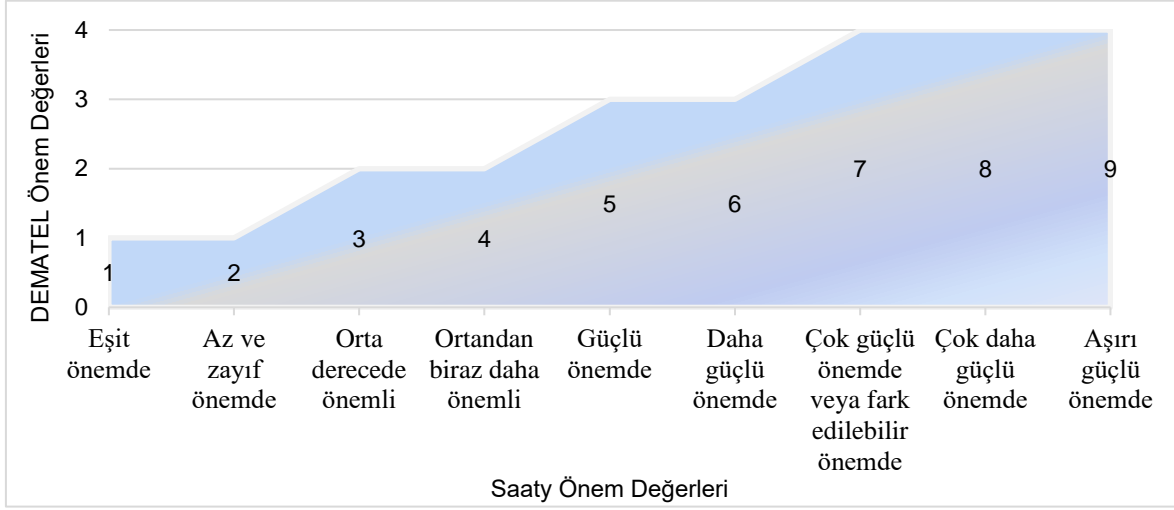
Gerçek hayatta kriterler arasındaki içsel bağılıkların ve geri bildirimlerin birbirleriyle ve alternatifler etkileşim derecelerini inceler [35]. İncelenen etkileşimler, kriterlerin birbirlerine göre farklı önem dereceleri almalarını sağlar. Bu sayede alternatifler için sıralama yaparken tüm kriterler eşit puan almazlar ve içsel bağılıkların oluşturulması subjektif bir karara dayandırılmaz. Aşağıda DEMATEL yönteminin uygulama adımları paylaşılmıştır.

DEMATEL yöntemi için bir başlangıç matrisine ihtiyaç vardır. Analitik Hiyerarşi Sürecinde hesaplanan kriterler arası karşılaştırma matrisi başlangıç matrisi olarak seçilebilir. Ancak bu matrisin DEMATEL için uyarlanması gerekmektedir. AHP' den farklı olarak başlangıç matrisinin diyagonalindeki değerler sıfır değerini alırlar. AHP için yapılan bir tane karşılaştırma, karşılaştırma çiftlerinin değerlendirilmesi için yeterlidir. Ancak DEMATEL' de diyagonal köşedeki değerlerin birbirlerine göre tersi olma durumu yoktur. Bu sebeple, başlangıç matrisi için soruların anket sorularının sayısı iki katına çıkartılır. AHP' de karşılaştırma çiftlerinin değerlendirilmesi 1-9 ölçeği ile yapılırken; bu yöntemde değerlendirmeler 1-4 aralığındadır. Bu dönüşüm için aşağıdaki değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.4. DEMATEL uygulama süreci

Şekil 4.5. DEMATEL önem değerleri dönüşümü



Anketlerden alınan veriler ile puanlar dönüştürülür. Farklı değerlendiricilerin ortak yargısı geometrik ortalama ile hesaplanır ve başlangıç matrisi olan direkt ilişki matrisi $A_{n \times n}$ oluşturulur. N tane alt kriter için oluşturulan kare matrisin diyagonalindeki karşılaştırma çiftleri $i = j$ için sıfır değerini alırlar. $i \neq j$ olduğu durumlarda i. kriterin j. kriter üzerindeki etkisi incelendiğinden diyagonalin dışında kalanlar sıfırdan farklı değer alırlar. [36]

$$a_{ij} = 0 \quad (4.10)$$

Direkt ilişki matrisinden toplam ilişki matrisine gidilmesi için aşağıda paylaşılan denklem sistemleri çözülür. M ile gösterilen ilişki matrisleri (4.11) sayılı formül yardımıyla bulunur.

$$M = k \times A \quad (4.11)$$

k hesaplanırken (4.12) eşitliğinden yararlanılır. Direkt ilişki matrisinin satırında ve sütununda yer alan en büyük değerler bulunur. Çarpmaya göre tersi alınır ve en küçük değer seçilir. Direkt ilişki matrisi ile k değeri çarpılarak ilişki matrisi bulunur.

$$k = \min \left(\frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n |a_{ij}|} \right) \quad (4.12)$$

Toplam ilişki matrisi S, (4.13) numaralı denklem ile bulunur. S_{ij} i. kriterinin j kriteri üzerindeki endirekt ilişkisini ölçer. Her bir faktörün ilişkisinin derecesi hesaplanır ve böylelikle bu kriterler tanımlanır ve önceliklendirilir [12].

$$S = \sum_{m=1}^{\infty} M^m = M(I - M)^{-1} \quad (4.13)$$

Bu önceliklendirme işlemi kriterlerin gönderici ve alıcı gruplar olarak ayrıştırmasıyla yapılır. Gönderici grupta yer alan kriterler diğerlerine göre daha yüksek etki ve önceliğe sahiptir. Alıcı grupta yer alan kriterler ise daha düşük önceliğe sahiptir. Diğer kriter ile daha çok etkileşimdedir. S matrisi normalize edildikten sonra D ve R değerleri eşitlik (4.15) ve (4.16)'ya göre hesaplanır [12].

$$S = [s_{ij}]_{n \times n} \quad i, j \in \{1, 2, 3 \dots, n\} \quad (4.14)$$

$$D = \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (4.15)$$

$$R = \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (4.16)$$

Toplam ilişki matrisinin satırları toplamı D ile gösterilir ve bu vektörde yer alan değerler i , kriterinin j kriteri üzerindeki toplam direkt ve dolaylı etkilerini gösterir. S matrisinin sütunlar toplamı R ile gösterilir ve j kriterinin diğer kriterlerden aldığı toplam etkileri gösterir [35]. Kriterler i ve j arasındaki etkileşimler bulunduktan sonra $D + R$ toplamı ve $D - R$ toplamları hesaplanır.

$$t_i^+ = D + R = \sum_{j=1}^n S_{ij} + \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (4.17)$$

$$t_i^- = D - R = \sum_{j=1}^n S_{ij} - \sum_{i=1}^n S_{ij} \quad (4.18)$$

Hesaplanan t_i^+ değerleri baskın olarak tanımlanır ve i 'lerin tüm kriterler içinde etkilediği yön gösterilir. t_i^- 'ler ise ilişkiler olarak tanımlanır, tüm sistem içindeki etkileşimlerin farklarını gösterir. Farkların, t_i^- , aldığı pozitif ve negatif değerler gönderici ve alıcı gruplardır. Pozitif değer alan gönderici grupların diğer kriter üzerinde daha yüksek etki ve öncelikleri varken, negatif değer alan alıcı grupların düşük öncelikleri vardır ve diğer kriterlerden daha çok etkilenirler. Dört ana başlık altında t_i^+ ve t_i^- nin aldıkları değerlere göre kriterler yorumlanır. [37]

- i. t_i^- pozitif ve t_i^+ büyük ise, kriterler göndericilerdir ve problemin çözümüne etki ederler.
- ii. t_i^- pozitif ve t_i^+ küçük ise, kriterler bağımsızdır ve yalnızca diğer birkaç kritere etki edebilirler.
- iii. t_i^- negatif ve t_i^+ büyük ise, kriterler çözülmesi gerekli temel problemlerdir; ancak doğrudan iyileştirilemezler.

iv. t_i^- negatif ve t_i^+ küçük ise, tüm kriterler bağımsızdır ve yalnızca diğer birkaç kriter tarafından etkilenebilirler.

Kriterler arasındaki ilişkiler ve birbirlerine etki etme değerlerinin hesaplanması etki diyagramı ile görselleştirilir. Diyagramın yatay eksenini t_i^+ değerleri ve dikey eksenini t_i^- değerleri oluşturur. Bu sayede, karmaşık gündelik ilişkiler basitleştirilerek anlaşılabilir görsel yapılar kurulur. t_i^+ ve t_i^- nin aldıkları değerlere göre uygun bir diyagram oluşturulabilmesi için eşik değeri belirlenir. Eşik değerinin büyük ya da küçük olması ilişkinin boyutunu etkileyebilmekte ve çözümün basitliğini etkilemektedir. [38] Eşik değeri, karar vericiler tarafından belirlenir [10]. Eşik değerinin karar vericiler tarafından subjektif olarak karar verilmesi yerine S matrisindeki ufak hataların da ortadan kaldırılmasına izin veren şekilde bu değer hesaplanır [15]. Eşik değeri belirlenmeden etki diyagramının çizilmesi, karar verme için gerekli olan yalın bilginin karmaşık sistemden ayırt edilmesini zorlaştırır [35].

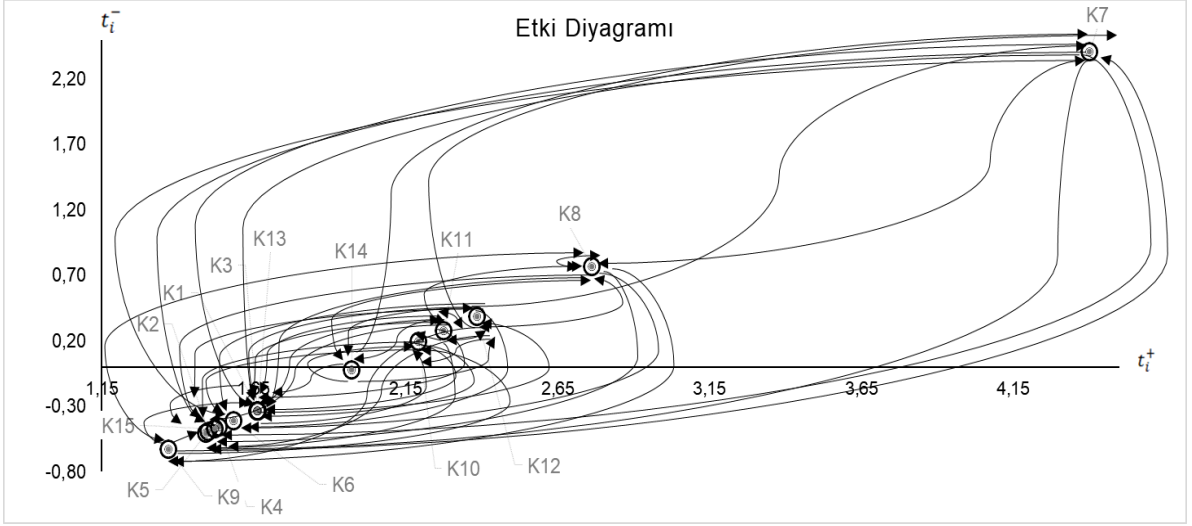
S matrisindeki tüm değerler için eşik değeri α aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır. Bulunan değer ile yeni bir matris oluşturulur. N, Toplam İlişki matrisindeki eleman sayısını göstermektedir.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [s_{ij}]}{N} \quad (4.19)$$

Hesaplanan α değerinden küçük olan değerler matristen silinir. Böylelikle, α değerinden büyük değerlerle α kesimli yeni S matrisi oluşturulur. Bu matris ile etki diyagramı çizilir [35].

$$\text{Eğer, } \alpha > S_{ij} \text{ ise } S_{ij} = 0 \quad (4.20)$$

$$\text{Değilse, } \alpha < S_{ij} \text{ ise } S_{ij} = S_{ij} \quad (4.21)$$



Şekil 4.6. Tüm Modelin Etki Diyagramı

Etki diyagramı üzerinde tüm kriterlerin koordinatları hesaplanır. Grafiğin x eksenini t_i^+ değerleri ve y eksenini t_i^- değerleri oluşturur. Tüm kriterler için hesaplanan eşik değerine göre gönderici ve alıcı gruplar hesaplanır. Buna göre her bir kriter için etkileşimde olduğu diğer kriterler oklar yardımıyla gösterilir.

Bulunan etki diyagramına sonrasında kriterlerin öncelik sıralamalarının yapılmasına da ihtiyaç duyulmuştur. Kriter ağırlıkları hesaplanmadan DEMATEL yöntemi tek başına karar verme süreçlerinde kullanılamayacağından aşağıda kriter ağırlıklarının sıralanması için gerekli hesaplamalar açıklanmaktadır. Bu çalışmadaki ağırlık hesaplamaları Kobryn' in [36] çalışmasında olduğu gibi yapılmıştır.

Daha önce hesaplanan t_i^+ ve t_i^- değerlerinin etki etme ve etkilenme güçlerinin ağırlıkları üzerinde orantılı olacağından yola çıkılarak ağırlıklar hesaplanır. İlk olarak, t_i^+ ve t_i^- yardımıyla $t_i^{ortalama}$ bulunur. Her bir i için ağırlıklar W_i hesaplanır.

$$t_i^{ortalama} = \frac{1}{2}(t_i^+ + t_i^-) = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (4.22)$$

$$W_i = \frac{t_i^{ortalama}}{\sum_{i=1}^n t_i^{ortalama}} \quad (4.23)$$

Eğer, $t_i^{ortalama}$ değerlerinden biri sıfır çıkar ise, bu kriterin başka bir kriter tarafından baskın olduğu anlamına gelir. Bu durumda W_i ' de sıfır olur. Bu kriterin hiçbir önemi yoktur anlamı çıkar. Ağırlığın sıfır değeri olduğu değerleri düzeltmek için aşağıda formüllerden yararlanılır.

$$W_i^{düzeltilme} = W_i + \delta \quad (4.24)$$

$$\delta \leq \Delta \quad (4.25)$$

$$\Delta = \min W_i \quad \text{Eğer } W_i > 0 \quad (4.26)$$

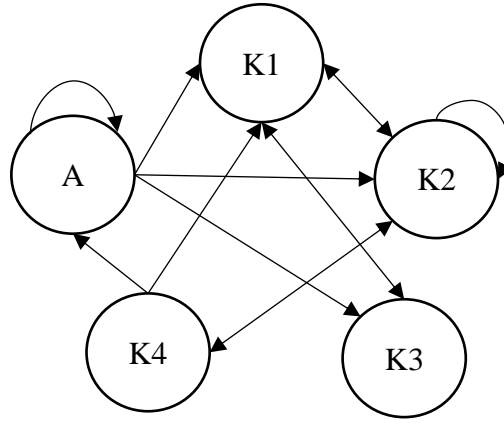
$$W_i^{normalize} = \frac{W_i^{düzeltme}}{\sum_{i=1}^n W_i^{düzeltme}} \quad (4.27)$$

4.1.3. Analitik Ağ Süreci

Analitik Ağ Süreci, Saaty tarafından AHP' den sonra ortaya atılmış ve onun genişletilmiş halidir. Karar problemlerinin çoğunun hiyerarşik yapıya uymamasından dolayı geliştirilmiştir. Hiyerarşik yapıda yukarıdan aşağıya doğru etkileşimler belirlenirken, diğer bir deyişle kriterler alternatiflerin önceliklerini belirlerken, ağ yapısında alternatifler de kriterlerin önceliklerini belirleyebilmektedir. Tüm bileşenler arasında sağlanabilen etkileşim ağ yapısını oluşturur ve geri bildirim izin verir. Geri bildirim izin veren bu yapı geleceğin bugün değerlendirilmesine imkân tanıyarak daha iyi bir karar vermeyi sağlar [30].

Karar modelini oluşturan bileşenler kriterler, alt kriterler ve alternatiflerdir. Modelin anlaşılabilirliğini kolaylaştırmak için alt kriterler kriterlere dahil edilerek gösterilir. Kriterlerin değerlendirmeleri yapılırken içerdiği tüm alt kriterler dahil edilir. Birbiri ile etkileşime giren bileşenler kümeler/düğümmler olarak adlandırılır. Bir kümeden ikinci kümeye bir etkileşim olabileceği gibi ikinci kümeden de birinci bir etkileşim olabilir veya olmayabilir. Benzer şekilde kümeler kendi içlerinde de etkileşimde olabilir. Kendi içindeki etkileşim alt kriterlerin birbirleriyle kurdukları ilişkiler sayesinde belirlenir. Kümeler arasında oluşan döngüler geri bildirim yapısını oluşturur. ANP yönteminde oluşan ağ yapısı Şekil 4.6 ile gösterilmiştir.

Her düğüm daire ile ifade edilmiştir. A ile gösterilen düğüm alternatifler kümesini, K1 den K4' e değin gösterilen düğümmler ise kriter kümelerini göstermektedir. Düğümmler arasındaki oklar iki küme arasındaki etkileşimi göstermektedir. Bir düğüm üzerinden çıkıp kendi düğümüne dönen oklar ise içsel etkileşimi göstermektedir.



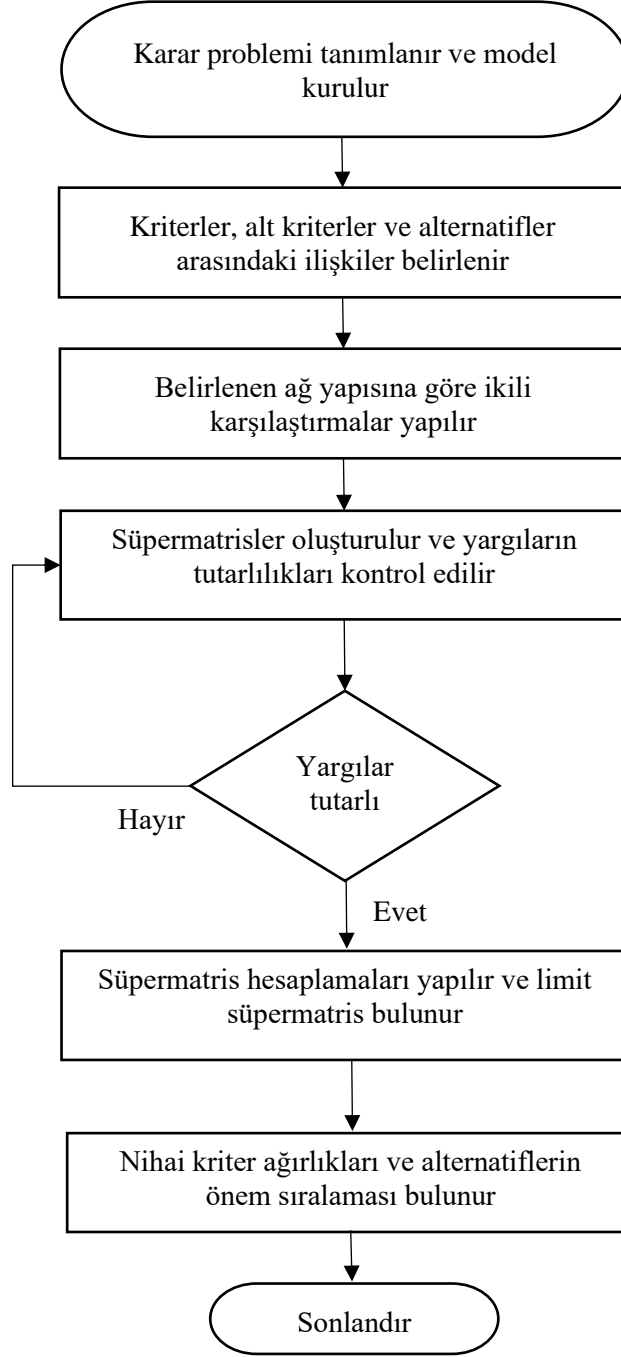
Şekil 4.7. Ağ Yapısı (Kriterler Arası İlişkiler)

ANP uygulanırken ilk olarak karar modeli tanımlanır ve kurulur. Kriterler, bunlara bağlı alt kriterler ve alternatifler belirlenir. Matrislerin oluşturulması için Saaty' nin önerdiği 1-9 aralığındaki değerlendirme ölçeği kullanılır. Anket için hazırlanan sorular AHP' de olduğu gibi karşılaştırma çiftlerinden hangisinin baskın olduğunu değil, a değerlendirmesi altında b nin c ye göre önemi sorulur [30]. Karar vericiler ağ yapısını belirler.

Ağ yapısı belirlenirken, kümeyi oluşturan her bir kriterin kendi alt kriterleriyle ve onlar arasındaki ilişkiye bakarak, tüm kümeleri değerlendirirler. Kümeler arası ilişkilere göre hesaplama matrisleri sırasıyla oluşturulur. Öz değerler, öz vektör, Cesàro toplamları [30] hesaplanır. Matrisin stokastik olup olmadığı kontrol edilir ve yakınsadığı üs bulunarak ağırlık değerlerine ulaşılır. Şekil 4.7.' de yöntemin akış süreci gösterilmektedir.

İkili karşılaştırmalar için anket soruları hazırlanır. Değerlendirmeler Saaty' nin önerdiği gibi 1-9 puan ölçeğinde yapılır. Ölçek hem sözel hem de sayısal olarak değerlendiriciye sunulur.

Değerlendiricilerin bir hedef bileşeni altında karşılaştırdığı diğer iki bileşene ait puanlar alınır. Hedef bileşenleri, kontrol kriterlerine ulaşmak için alt basamaklarda yer alan düğümlerdir. Ağ yapısına göre hedef bileşenleri için ilişkide oldukları diğer düğümlerle ikili karşılaştırmaya alınacaklardır. Her bir hedef bileşeni için ayrı ayrı oluşturan matrisler tutarlılıkları açısından kontrol edilerek o değere ait puanların ağırlıkları hesaplanır. Hesaplanan bu ağırlıklar sütun vektörü olarak ağırlıklandırılmamış süpermatrise eklenir.



Şekil 4.8. Analitik Ağ Sürecinin Tasarımı

“Kontrol kriteri modelde amacı temsil eder. ANP’ nin başlangıç matrisinde yer alan sütun, belirlenen kontrol kriteri için yapılan karşılaştırmalara ilişkin diğer tüm düğümlerin önemlerini içerir” [39].

Ağırlıklandırılmamış süpermatris A ile gösterilir. N tane alt kriter (k_1, k_2, \dots, k_n) için göreceli önemler a_{ij} ile gösterilir. Her bir a_{ij} , k_i ve k_j kriterlerinin ikili karşılaştırmaları ile bulunur.

$$A = a_{ij} \quad \forall_{ij} \in (1, n) \quad (4.28)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (4.29)$$

$$a_{ii} = 0 \quad (4.30)$$

Önem değerlerinin yer aldığı vektör, matrisin temel özvektörüdür. Kriterlerin göreceli önemleri özvektör üzerinde yer alır. Özvektör W ve özdeğer $\lambda_{büyük}$ aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır. Bunun için önce yaklaşık ağırlıklar W_i bulunur.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right)}{n}, \forall_{ij} \in (1, n) \quad (4.31)$$

$$AW = \lambda W \lambda_{büyük} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (4.32)$$

$$\lambda_{büyük} = 1 \quad (4.33)$$

Özdeğer bulunduktan sonra ikili karşılaştırmaların tutarlılığı kontrol edilir. Tutarlılık oranı (C.R) için ilk olarak tutarlılık endeksi (C.I) bulunur.

$$C.I = \frac{\lambda_{büyük} - n}{n-1} \quad (4.34)$$

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (4.35)$$

N tane kriter için rastgele yaratılan sayıların ortalama endeks değeri (R.I) Tablo 4.3.'ten okunur.

Tablo 4.3. Saaty Rastgele sayılar endeksi (R.I) (Saaty)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R.I$	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

$C.R < 0,1$ olduğunda ikili karşılaştırmalara verilerin cevapların tutarlı olduğu kabul edilirdir. Saaty tarafından belirlenen %10 tutarlılık limiti sınırları dahilindedir. $C.R \geq 0,1$ olduğu durumda ise matris tutarsızdır ve verilen cevaplar arasında tutarsızlık bulunmaktadır. İkili karşılaştırma değerleri gözden geçirilmelidir. Tutarlı bir matris bulunmalıdır. “Tutarlı bir matris bulunması için Saaty’ nin önerdiği üç adım takip edilebilir [30].

- i. Matriste yer alan en tutarsız değerlendirme bulunur.
- ii. Tutarsızlığı iyileştirebilecek değerlendirmelerin aralığına karar verilir ve değerlendiriciden bu değerlendirmeyi makul bir değere getirmesi istenir.

iii. Eğer en tutarsız değerlendirme değerlendirici tarafından değerştirilmezse, yukarıdaki adımlara en tutarsız ikinci yargı ile devam edilir.”

Özdeğerler olarak hesaplanan yerel öncelikler, ağırlıklandırılmamış süpermatrisin, A sütunlarına yazılır. Matris sol üst köşesinden başlanarak doldurulur. Sol üst köşeden aşağıya ve sağa doğru sırasıyla alternatifler ve sonrasında alt kriterler yazılır. Karar modeline ilişkin tüm bileşenler süpermatriste yer alır.

$$A = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ K_{n-1} \\ K_n \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{n1} \\ a_{21} & \dots & a_{n2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n-1,1} & \dots & a_{n-1n} \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.36)$$

Küme matris ve ağırlıklandırılmış süpermatris hesaplanmadan önce bu matris normalize edilir. Normalizasyon, her hedef bileşeni için karşılık gelen düğüm bazında yapılır.

Bir düğümün başka bir düğüme bağlandıktan sonra etkilenir. Bu sebeple, her düğümün süpermatriste karşılık gelen ağırlıkları bulunmalıdır. Ağırlıklandırılmış süpermatrisin bulunması için düğümlerin ağırlıklarının bulunmalıdır. Her düğümün kendi ağırlığı küme matrisi S ile gösterilir ve ikili karşılaştırmalar yoluyla yukarıda bahsedilen yöntemle hesaplanır. Küme matrisini oluşturan düğüm sayısı l ile gösterilir.

$$K = k_{ij} \quad \forall ij \in (1, l) \quad (4.37)$$

$$k_{ii} = 0 \quad (4.38)$$

Küme matrisi karar modelinin ağ yapısına uygun olarak hesaplanır ve normalize edilir. Matrisin diyagonalindeki ağırlıklar sıfır değerini alırlar.

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & \dots & k_{l1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{1l} & \dots & k_{ll} \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

Ağırlıklandırılmış süpermatris W , ağırlıklandırılmamış süpermatris ile küme matrisin çarpımından elde edilir. Her a_{ij} , küme matriste bulunan kendi düğüm ağırlığı ile çarpılır.

$$W = A \times K \quad (4.40)$$

$$W = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ K_{n-1} \\ K_n \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{n1} \\ W_{21} & \dots & W_{n2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n-1,1} & \dots & W_{n-12} \\ W_{n1} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.41)$$

Ağırlıklandırılmış süpermatris, normalize edilerek ağırlıklar sabit bir değere ulaşmaya kadar kuvvetlerine yükseltilir. Ulaşılan sabit değerli matrise limit süpermatris adı verilir. Bu limit süpermatrisin ilk sütununda yer alan değerler, alternatifler ve kriterler için öncelik sıralamasını verir. Başarılı limit vektörlerinin elde edilmesi için Cesàro ortalaması kullanılır.

Matrisin limitlerinin bulunabilmesi için 2^n formunda kuvvetlerine yükseltilir. “Matrisin her kuvveti o matrise ait geçişkenlik özelliklerini taşır. Geçişkenlik kuralı, değerlendirmelerin tutarlılığı olduğu durumda, üç farklı etkinin birbiri üzerindeki baskınlığı ile tanımlanır. Etkilerin baskınlığı, a'nın b'ye ne kadar baskın olduğu, b'nin c'ye ne kadar baskın olduğu ve c'nin a'ya ne kadar baskın olduğu olarak açılır. Etkilerin farklı sıralama geçişkenliği, $a_{ij} a_k = a_{ik} \forall i, j, k$, ilgili matrisin farklı kuvvetlere yükseltilmesiyle bulunur” [30].

“Matrisin her kuvveti o kuvvete eşit olan sıralamanın geçişkenlik özelliklerini taşır. Bu kuvvetlerin limitleri, Cesaro toplamına göre, matrisin bütün kuvvetlerinin toplamının limitine eşittir. Tüm geçişkenlik sıraları, matrisin kuvvetlerinin serileri tarafından kapatılır. ANP' den elde edilen sonucu kompleks olmaktansa doğrusal değildir. Matris stokastik değilse, limit yakınsamaz. Matrisin stokastik oluşu, sütun toplamalarının bir oluşu ile kontrol edilir. Özdeğer prensibine göre, matrisin sütunları toplamı bir ise, o matris en büyük ve en küçük sütun toplamları arasında yer alır ve stokastik bir matrisin özdeğeri, birdir.” [39]

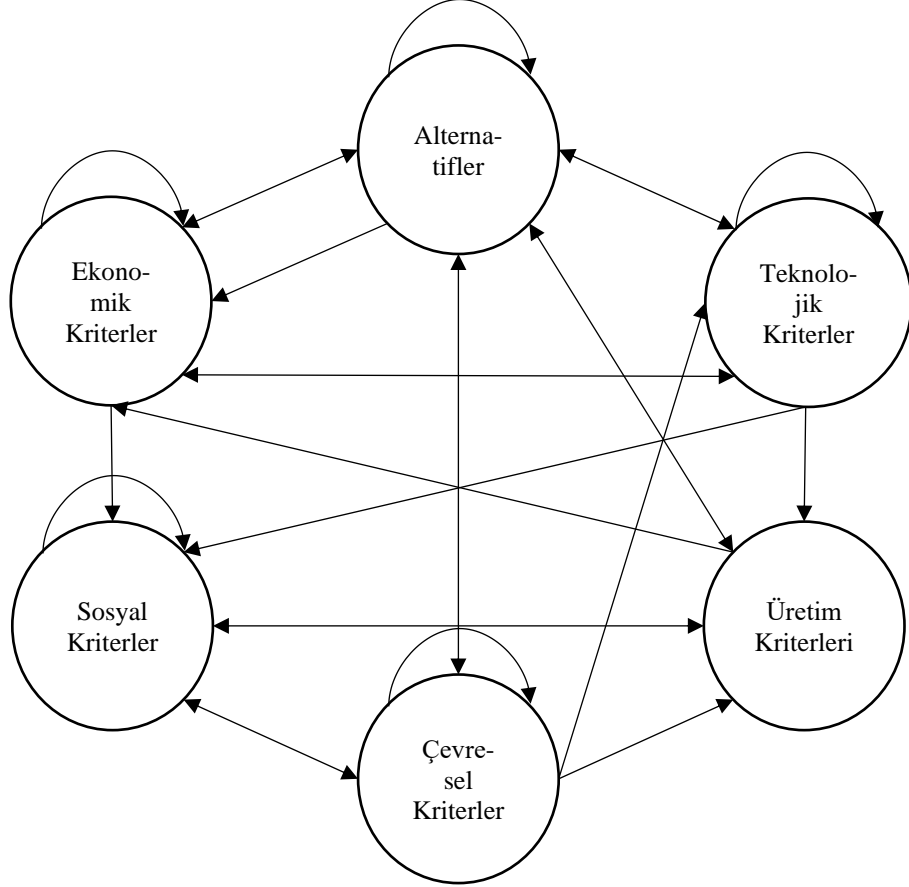
Cesaro toplamına göre, limit süpermatrisin stokastik olup olmadığının kontrol edilmesi ve buna bağlı olarak özdeğerin alacağı ağırlıklar (4.41) ile (4.43) arasındaki eşitliklerle gösterilmiştir.

$$\text{büyükle } \sum_{j=1}^n a_{ij} \geq \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \lambda_{\text{büyük}} \quad (4.41)$$

$$\text{küçükle } \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq \sum_{j=1}^n a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = \lambda_{\text{büyük}} \quad (4.42)$$

$$1 = \text{küçükle } \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq \lambda_{\text{büyük}} \leq \text{büyükle } \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 \quad (4.43)$$

Aynı stokastik bir matrisin sütunu için de geçerlidir. Tutarlı olan matrisler için ikili karşılaştırmalar $A = \frac{w_i}{w_j}$ formundadır. Pratikte ise, matrisler her zaman tutarlı olmayabilir. Karşılaştırma sayısı yediden fazla olduğunda tutarsızlık oranında artış gözlemlenir. Bu durumda matrislerin tutarlı olabilmesi ve özdeğer vektörünün bozulmaması için normalizasyon kullanılır.



Şekil 4.9. ANP, Enerji yatırım politikası için ağ yapısı

4.2. Melez yöntemler

Yöntemlerin tek başlarına nasıl uygulandıkları yukarıdaki bölümlerde incelemiştir. AHP yöntemi problemi yalnızca tek yönlü incelediğinden kriterler ve alternatiflerin karmaşıklaştığı durumlarda modelin basitleştirilerek karar verilmesine imkân tanır. Karar verme sürecinin kolayca belirlenmesini sağlasa da geri bildirimlere ve problemin bileşenleri arasındaki ilişkileri göstermekte yeterli değildir. Bu sebeple, bileşenler arasındaki ilişkileri analiz eden DEMATEL ile melezlenmesinin bu sorunu ortadan kaldırması beklenmektedir.

DEMATEL yöntemi, karmaşık problemlerin bileşenleri arasındaki etkileşimleri inceleyip bunların gruplandırmasını yapabilirken, bunlar arasındaki önem sıralamasını yapamaz. Kriterlerin önemlerine göre sıralanabilmesi için yöntemin modifiye edilerek ek hesaplamalar eklenmesi gerekmektedir. Ek olarak, alternatiflerin sıralamalarının yapılabilmesi için de yapısal bağlılık içeren yöntemlere ihtiyaç vardır. DEMATEL yöntemi bunu tek başına karşılayamadığından bu yöntem ayrı ayrı AHP ve ANP birlikte kullanılmıştır.

ANP yönteminde ikili karşılaştırmalar AHP' den farklıdır. Geri bildirim izin veren yapı ve soru kalıbının tamamen farklı olması anket sorularının sayısını arttırmakta ve uygulamayı zorlaştırmaktadır. Daha fazla anket sorusunun hazırlanarak cevaplandırılmasının önüne geçilmesi ve karar vericilerin yargısına bırakılan ağ yapısının hesaplanabilir değerlere bağlanması istendiğinden DEMATEL yöntemiyle melezlenmiştir. Bu sayede kriterler birbirlerinden bağımsız ve eşit ağırlıklara sahip olurlar. [10]

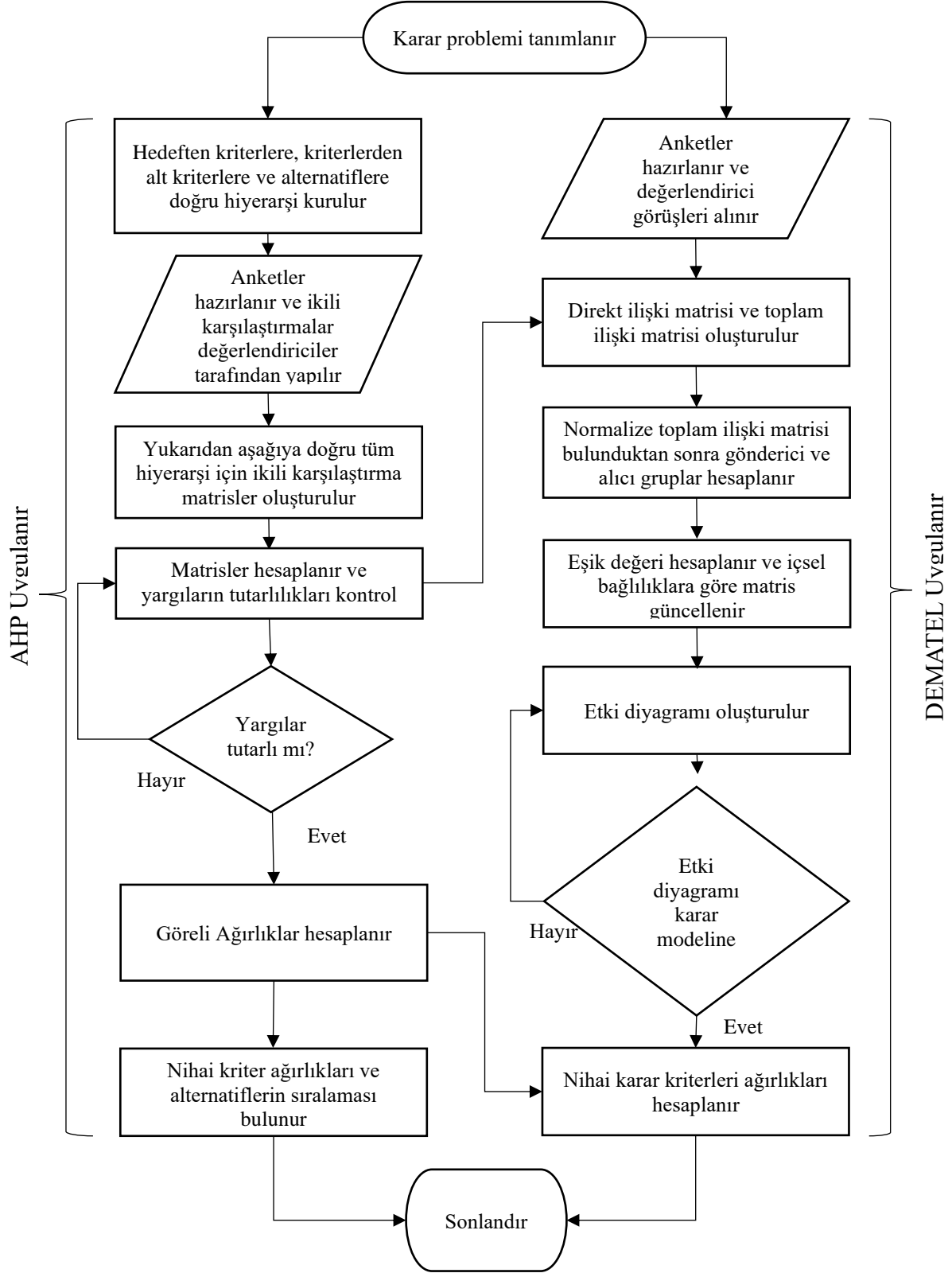
Karar verme modellerinin birbiriyle ile melezlenmesinin sebepleri aşağıda sıralanmaktadır.

- i. Aynı problemin farklı yöntemlerle çözülerek probleme en uygun karar verme yöntemini seçmek
- ii. Problemin karmaşıklığı karşısında modellerin sağlamlığını ve çevikliğini test etmek
- iii. Melez yöntemlerin karar verme sürecine katkılarını analiz etmek

4.2.1. AHP ve DEMATEL

DEMATEL ilk olarak AHP ile melezlenmektedir. Karar probleminin hiyerarşik yapısının kurulması, bu yapıya göre ikili karşılaştırmaların belirlenmesi ve yapılması, matrislerin oluşturulması ve görelilik ilk ağırlıkların oluşturulması AHP yöntemine göre yapılmıştır.

Problem için ilk veriler toplanarak görelilik ağırlıklar bulunduğundan sonra DEMATEL yöntemi ile kısmi sonuçlar birleştirilmiştir. Böylelikle, problem bileşenleri arasındaki etkileşimin bulunur. Alternatifler arasındaki sıralama iki yöntemin avantajlı yanlarından yararlanılarak yapılır. Melez yöntemin uygulama adımları Şekil 4.10. ile gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Analitik Hiyerarşi Süreci ve DEMATEL'in Tasarımı

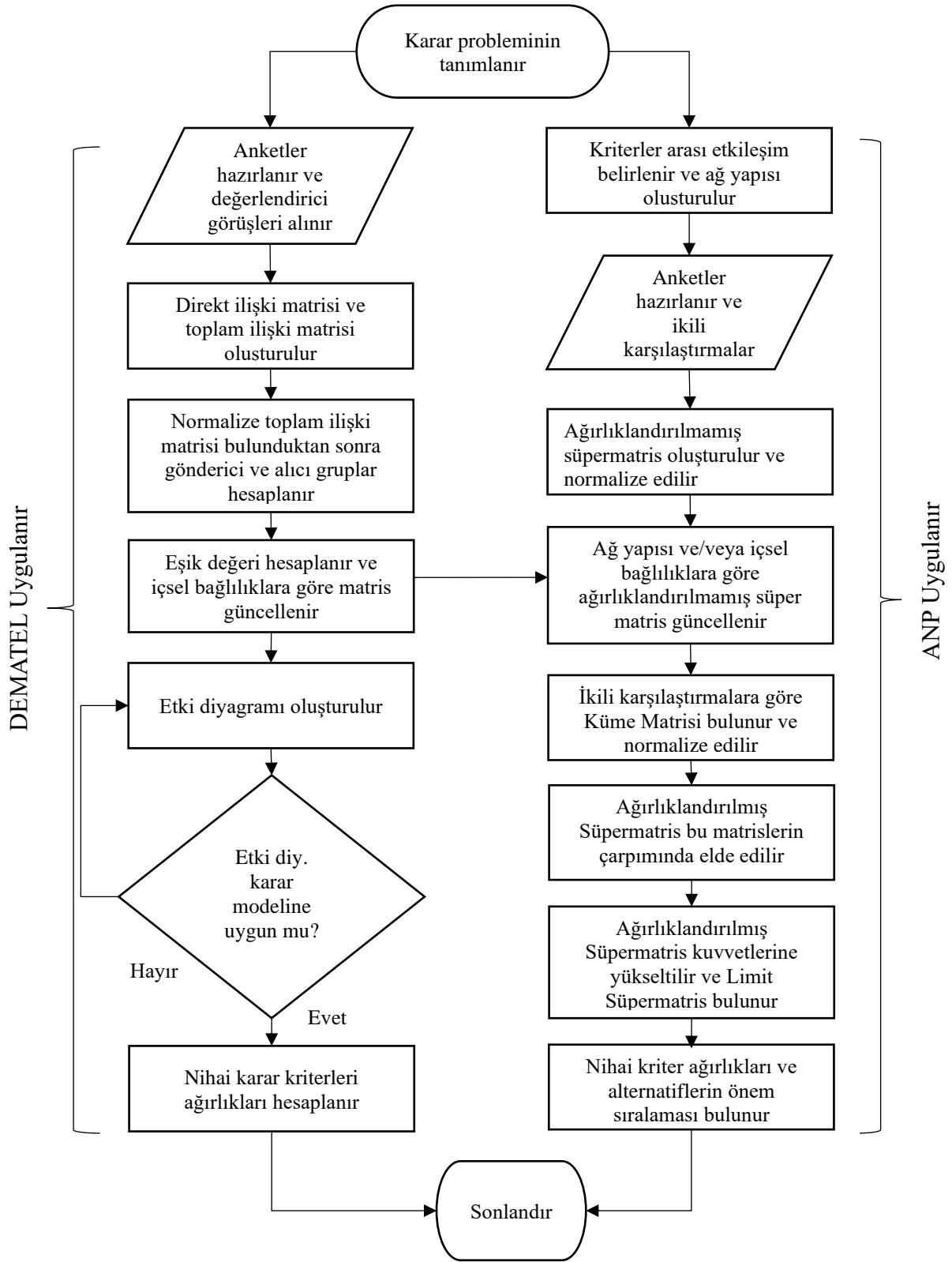
4.2.2. DEMATEL ve ANP

DEMATEL' in yapısal karar verme yöntemlerinden biri olan ANP ile melezlenmesi bu yöntemde karşılan zorlukların azaltılması ve uygulanabilirliğinin artırılması, desteklenmesi için tercih edilir.

Melezlemenin başlıca dört farklı çeşidi olmasına karşın bu çalışmada içsel bağılıkların oluşturulması için kullanılmıştır. İçsel bağılıklar ve kriter etkileşimleri, diğer bir deyişle ağ yapısı, karar vericilerin değerlendirmeleri yerine DEMATEL yöntemine dayandırılmıştır. Karmaşık modellerin doğruluğu için içsel bağılıklar oldukça önemlidir. Bu sebeple, DEMATEL yönteminin avantajlarından yararlanır. Bunlardan birkaçı aşağıda sıralanmıştır [40].

- i. Ana ve alt kriterlerin, alternatiflerin oluşturduğu kümeler arasındaki ilişkilerin gösterilmesi
- ii. ANP' nin uzun ve zor olan karşılaştırma matrisleri yerine DEMATEL' in kullanılabilmesi,
- iii. Etki diyagramının görselleştirilmesi, ilişkilerin daha derinlemesine incelenebilmesi ve en etkili kritere karar verilmesi.

DEMATEL tarafından gönderici ve alıcı gruplar arasındaki ilişkinin daha iyi karşılaştırılabilmesi sebebiyle önemli bir rol oynar [12]. Ağ yapısının karar vericilerin görüşleri yerine nicel bir analize dayandırılması verilecek kararın somut olarak yanlı değerlendirmelerden ayrıştırılmasına yardımcı olur. Bu melez yöntemin uygulama adımları Şekil 4.11. ile gösterilmektedir.



Şekil 4.11. DEMATEL ve Analitik Ağ Sürecinin Tasarımı

4.3. Uyumluluk Endeksi

Farklı iki matrisin birbirlerine olan yakınlığı incelenir. Uyumluluk endeksleri hesaplanarak matrislerin karşılaştırmaları yapılır. Bu çalışma kapsamında tekli ve melez yöntemlerden elde edilen sonuçlar arasındaki uyumluluklar karşılaştırılır.

Çalışma kapsamında anket verileri toplanarak grup yargısına dönüştürülen veriler ile hesaplan matrislerin tutarlılıkları kontrol edilse de bu tek başına yeterli değildir. Gerçek hayat problemlerinin değerlendirmesi için elde edilen sonuçların birbirleriyle ne kadar uyumlu olduklarının kontrolü de gereklidir. ÇKKV yöntemleri aynı probleme uygulandığı halde farklı sonuçlar veya sıralamalar elde edildiğinden alternatiflere ilişkin ağırlık vektörlerinin uygunluklarının değerlendirilmesinin yapılmalıdır [41].

Saaty [30], AHP ve ANP yöntemlerinin sonuçlarının değerlendirilmesi için Hadamard çarpımı ile hesaplanan uyumluluk endeksini önermektedir. Böylece, ağırlık vektörlerinin birbiriyle olan yakınlıklarının incelenmesi için yeni bir değer S hesaplanır. Bu S değerinin 1'e yakın olması istenir.

Aynı iki vektörün S değeri hesaplandığında aralarındaki uzaklık sıfır olacağından, birbirleriyle tamamen uygun oldukları söylenir ve endeks değeri 1 değerini alır. Endeks 1 değerini aldığı anda karşılaştırılan iki vektörün birbirleriyle tamamen uygun olduğu söylenebilir. Karşılaştırmalar için sapma toleransı %10 olarak belirlendiğinden Saaty Uygunluk Endeksinin 1,1'den küçük olduğu değerler uygun olarak kabul edilir [42].

Hadamard çarpımı ögesel işlemlerle hesaplanır. Yeni bir matris yaratmak için eşit büyüklükteki matrislerin toplama, çıkarma, çarpma ve bölme gibi birleştirme işlemlerine "ögesel (elementwise) işlemler" denir. Saaty'nin önerdiği uygunluk endeksi matrislerin Hadamard çarpımının yapılmasıyla bulunur. Hadamard çarpımı hesaplanırken, klasik matris çarpımından farklı olarak, aynı pozisyondaki değerler birbirleriyle çarpılır.

$$\text{Hadamard çarpımı } (S), D(A, B) = \frac{[A] \circ [B]^T}{n^2} = \frac{(\sum_i \sum_j a_{ij} \times b_{ij})}{n^2} \quad (4.44)$$

Pozitif değerli iki küme ile A ve B matrisleri $a_{ij} = a_i/a_{ij}$ ve $b_{ij} = b_i/b_{ij}$ elemanları için oluşturulur. B matrisinin transpozu alınır ve iki matrisin Hadamard ürünü hesaplanır. Çarpım kümesinin eleman sayısı n ' in karesine bölünerek endeks bulunur. Uyumluluk endeksi için kullanılan diğer yöntemler aşağıda sıralanmıştır [41].

$$\text{Hilbert formülü, } D(A, B) = \log \frac{\text{büyük}le_i \left(\frac{a_i}{b_i} \right)}{\text{küçük}le_i \left(\frac{a_i}{b_i} \right)} \quad (4.45)$$

$$\text{İç vektör çarpımı (IVP), } D(A, B) = \frac{[A] \circ [B]}{n} = \frac{\left(\sum_i a_i \times \frac{1}{b_i} \right)}{n} \quad (4.46)$$

Ağırlıklandırılmış iç vektör çarpımı (WIVP),

$$D(A, B) = \{A\}\{B\}\{W\} = \sum_i a_i \times \frac{1}{b_i} \times w_i \quad (4.47)$$

Garuti Uyumluluk Endeksi (G),

$$D(A, B) = \sum_{i=1}^n \frac{\text{küçük}le(a_i, b_i) (a_i + b_i)}{\text{büyük}le(a_i, b_i) \cdot 2} \quad (4.48)$$

Bu yöntemler uyumluluklarının hesaplanması için farkı avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Çok kriterli karar verme yöntemlerinde özellikle AHP ve ANP yöntemlerinin kıyaslanmasında Saaty Uyumluluk Endeksi öncelik bileşenlerin oranlarına bakmaktadır. Kıyaslanan vektörlerin aynı birimde olması gerekmemektedir. Aynı zamanda küçük bileşenli vektörlerde daha hassas sonuçlar bu yöntemle elde edildiğinden uyumluluk karşılaştırması için bu yöntem tercih edilmiştir [41].

5. SONUÇLAR

Doğal kaynaklar bakımından zengin Aydın ilinde kurulabilecek bir fabrikanın sürekli enerji ihtiyacının bir dizi kriter altında giderilebilmesi için yapılan çalışmanın sonuçları bu bölümde açıklanmaktadır. Çalışma kapsamında bu amaca uygun alternatifin seçilmesi, kullanılan yöntemlerin karşılaştırılarak probleme en uygun yöntemin belirlenmesi için elde edilen bulgular paylaşılmaktadır.

İlk olarak ÇKKV yöntemleri tek başlarına uyguladıklarına elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Ardından bu yöntemlerin melezlenmeleri sonucunda elde edilen bulgular eklenmiştir. Tekli ve melez yöntemlerden elde edilen tüm sonuçlar tek tek değerlendirilerek nihai bir yargıya varılmıştır. Ortak değerlendirmenin ardından Uyumluluk Testi bu sonuçlara uygulanmıştır. Yöntemlerin uyumlu sonuçlar elde edip etmediğinin tespiti ve çıkan farklı sonuçlar için fikir birliğine varılırken sayısal bir değere başvurulabilmesi için bu teste başvurulmuştur. Sonuçların birbirlerine ne kadar yakın ve kabul edilebilir oldukları kıyaslanmıştır.

5.1. AHP

Analitik Hiyerarşi Sürecinin tek başına uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar alternatifler ve kriterler için paylaşılmaktadır. Anketlerle toplanan veriler yöntemler bölümünde anlatıldığı gibi tek bir grup yargısına indirgenerek hesaplanmıştır. Grup yargısından elde edilen sonuca göre, en yüksek puanı alan kriter üretim için ilave kaynak olmuştur. Herhangi bir ilave kaynağa ihtiyaç duyulmadan seçilen alternatifle üretim yapmak en yüksek öncelikli kriterdir. İkinci sırada ise, teşviklerden yararlanabilmek gelirken üçüncü sırayı kaynak sürekliliği almaktadır. Bu sıralamaya göre, üretim için ilaveye kaynağa ihtiyaç duyulmaksızın süreli üretim yapmaya imkân tanıyan bir alternatifin seçilmesi ve bu alternatifin ulusal enerji politikalarına göre verilen teşvikler kapsamında olması uygun bulunmaktadır.

Üretim ve ekonomik kriterlerin yüksek önceliğe sahip olması neticesinde bu ihtiyaçları karşılayabilecek alternatif jeotermal olarak seçilmiştir. Üretim için ilave kaynağa ihtiyaç duyulmaması ve teşviklerden yararlanabilecek diğer iki alternatif rüzgâr ve güneş sırasıyla en yüksek ikinci ve üçüncü öncelik değerlerini almışlardır.

Tablo 5.1. AHP ile hesaplanan kriter ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Kriterler
0,090	Üretim için ilave kaynak
0,081	Teşvikler
0,080	Kaynak Sürekliliği
0,075	Alan Kullanımı
0,071	İstihdam Yaratma
0,071	Coğrafi Uygunluk
0,067	Teknolojik Olgunluk
0,067	Sosyal Katma Değer
0,066	Amortisman
0,063	Akılcılık
0,063	Çevresel Etkiler
0,055	Dışa Bağımlılık
0,053	Adaptasyon ve Modifikasyon
0,051	Geri Dönüşüm ve Geri Kullanım
0,047	Gömülü Enerji, Ekserji ve CO ₂

Tablo 5.2. AHP ile hesaplanan alternatiflerin ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Alternatifler
0,205	Jeotermal
0,196	Rüzgâr
0,193	Güneş
0,154	Atık Isı
0,139	Doğalgaz
0,113	Kömür

Analitik Hiyerarşi Süreci ile oluşturulacak enerji yatırım politikası üretimin ve ekonomik kriterlerin öne çıktığı ve yenilebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlı kaynaklara göre daha çok tercih edildiği bulunmuştur. Jeotermal enerji kaynağı ile kurulacak santral, fabrikanın enerji ihtiyacını tek başına karşılayacak olsa da rüzgâr ve güneş enerji santralleri için de ek yatırımlar yapılması enerji arzını karşılanmasında çeşitliliğe gidilmesi, oluşacak arıza ve bakım çalışmalarında enerji ihtiyacının desteklenebilmesi için faydalı olacaktır. Bunların yanı sıra, yenilebilir kaynaklardan üretim yapılması teşviklerden yararlanmayı sağladığı gibi karbonsuzlaşma yönünde belirlenen hedeflere uygun olacaktır.

5.2. DEMATEL

Bu yöntemle elde edilen sonuçlarda yalnızca kriterler ve bunların arasındaki ilişkileri inceleyebilmektedir. Gönderici ve alıcı grupların belirlenmesi sayesinde kriterlerden hangilerinin etkileyen hangilerinin ise bunlardan daha çok etkilenen oldukları tespit

edilmektedir. Kriterler arasındaki içsel bağılıkların bulunmasının ardından diğer yöntemlerde hesaplandığı gibi kriterlerin göreceli önem değerleri ek hesaplamalarla bulunmuştur. Bu sayede, tekli ve melez yöntemlerin kullanılması sonucunda kriterlerin aldıkları ağırlıklara göre öncelik sıralamaları karşılaştırılmıştır. Elde edilen kriter ağırlık sıralamaları Tablo 5.3.' te paylaşılmaktadır.

Hesaplanan kriter ağırlıklarına göre en yüksek önceliğe sahip kriter amortismandır. İkinci ve üçüncü sırada yer alarak en yüksek ağırlıklara sahip kriterler ise teşvikler ve alan kullanımıdır. Alternatif seçimini etkileyen en önemli kriter amortisman olmuştur ve santrale yapılacak yatırımın en kısa sürede kendini geri ödemesi beklenmektedir. Çıkan sonuçlara uygun olarak teşviklerden yararlanmanın ekonomik tarafı güçlendirdiği ve alan kullanımının en az olduğu yatırımın alternatif seçiminde baskın kriterler olduğu saptanmıştır.

Kriterlerin tümü için hesaplanan gönderici ve alıcı gruplar Tablo 5.4'te paylaşılmaktadır. Diğer kriterler ile daha çok etkileşimde olarak etkileyen olarak belirlenen göndericiler amortisman, teşvikler, sosyal katma değer, coğrafi uygunluk ve alan kullanımı olarak bulunmuştur. Daha yüksek önceliğe ve etkiye sahip bu gruptan etkilenen diğerleri ise alıcı gruplarda yer alır. En yüksek ağırlığı alarak öncelik sıralamasında öne geçen amortisman ve teşvikler aynı zamanda gönderici grupta yer almaktadırlar. Benzer şekilde, kriter ağırlıkları içinde en düşük iki değeri alan istihdam yaratma ve gömülü enerji, ekserji ve karbon dioksit ise alıcı gruplarda yer almaktadır.

Tablo 5.3. DEMATEL yöntemiyle elde edilen kriter ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Kriterler
0,227	Amortisman
0,118	Teşvikler
0,092	Alan Kullanımı
0,085	Coğrafi Uygunluk
0,080	Sosyal Katma Değer
0,065	Kaynak Sürekliliği
0,044	Akılcılık
0,044	Dışa Bağımlılık
0,044	Çevresel Etkiler
0,039	Geri Dönüşüm ve Geri Kullanım
0,036	Adaptasyon ve Modifikasyon
0,035	Üretim için ilave kaynak
0,034	Teknolojik Olgunluk
0,033	Gömülü Enerji, Ekserji ve CO ₂
0,025	İstihdam Yaratma

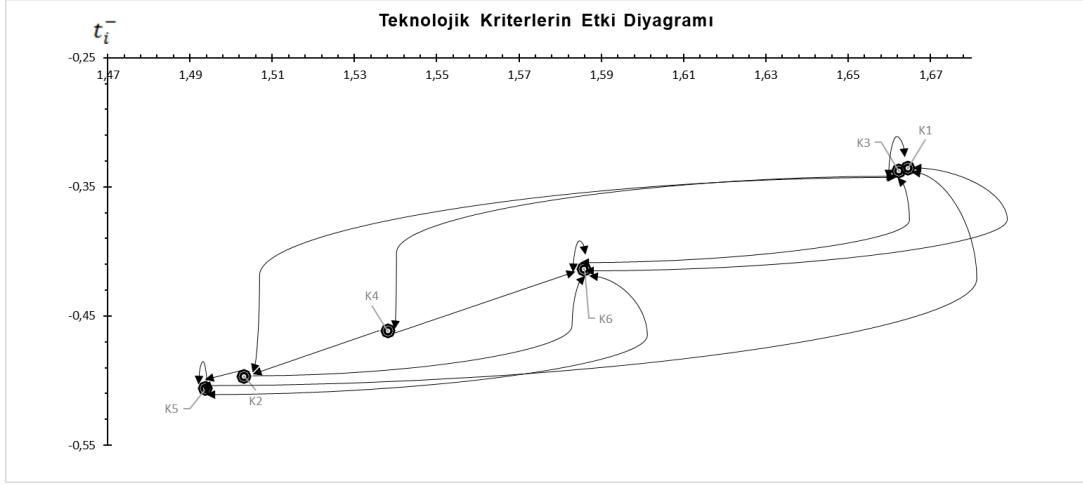
Ana kriterlerin oluşturduğu kümeler ve kriterlerin tamamı için eşik değerleri hesaplanmıştır. Kriterlerin daha ayrıntılı olarak analiz edilebilmesi için t_i^+ ve t_i^- nin aldıkları değerler bulunmuştur. Bu sayede problemin çözümü ve kriterlerin birbirleri üzerindeki etkileri hakkında bilgi edinilecektir.

Örneğin, yedinci kriter amortisman pozitif ve büyük hem t_i^- değerini hem de t_i^+ değerini alarak problemin çözümüne en çok etki eden olmuştur. 8, 10, 11 ve 12 numaralı kriterlerin t_i^- değerleri pozitif ve t_i^+ değerleri ise küçüktür. Bu tipteki kriterler gönderici olsalar dahi amortisman kriterinden daha bağımsızdırlar ve yalnızca birkaç diğer kritere etki etmektedirler. 1,3,6,13 ve 14 numaralı kriterlerin t_i^- değerleri negatif ve t_i^+ değerleri büyüktür ve bunlar problemin çözümü için iyileştirmeye ihtiyaç duyan alıcı gruptadırlar. Dördüncü tipte ise, t_i^+ küçük ve t_i^- nin negatif olduğu 2,4,5,9,15 kriterleri yer almaktadır. Bu tipte kriterler en bağımsız, göndericilerden en çok etkilenen ve direkt olarak geliştirilemeyecek durumdadırlar.

Ana kriter grupları için daha ayrıntılı inceleme yapılması için küme eşik değerleri Tablo 5.4.' te paylaşılmaktadır. Buna göre her bir küme için çizilen etki diyagramları üzerinde Şekil 5.1. ile Şekil 5.3. arasında gösterilmektedir.

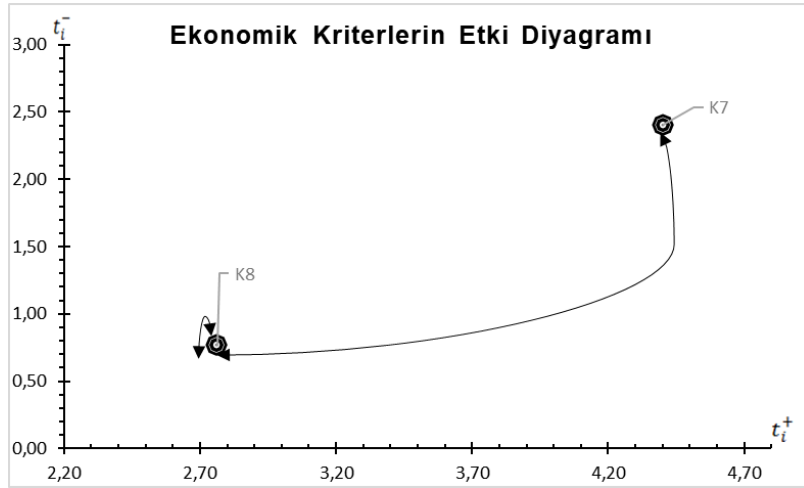
Tablo 5.4. DEMATEL yöntemi için gönderici ve alıcı gruplar, eşik değerleri

Kriterler	#	t_i^+	t_i^-	Kümelerin Eşik Değeri	Gönderici Gruplar	Alıcı Gruplar	Eşik Değeri
AKI	K1	1,665	-0,335	0,0182	-	-0,34	0,0667
TO	K2	1,503	-0,497		-	-0,50	
DB	K3	1,662	-0,338		-	-0,34	
AD, MOD	K4	1,538	-0,462		-	-0,46	
GE, EK ve CO2	K5	1,494	-0,506		-	-0,51	
GD, GK	K6	1,586	-0,414		-	-0,41	
AMO	K7	4,402	2,402	0,0713	2,40	-	
TEŞ	K8	2,763	0,763	0,0493	0,76	-	
İY	K9	1,371	-0,629		-	-0,63	
SKD	K10	2,193	0,193	0,0750	0,19	-	
CU	K11	2,276	0,276		0,28	-	
AKU	K12	2,386	0,386		0,39	-	
ÇE	K13	1,663	-0,337	0,0449	-	-0,34	
KS	K14	1,973	-0,027		-	-0,03	
ÜİK	K15	1,524	-0,476		-	-0,48	



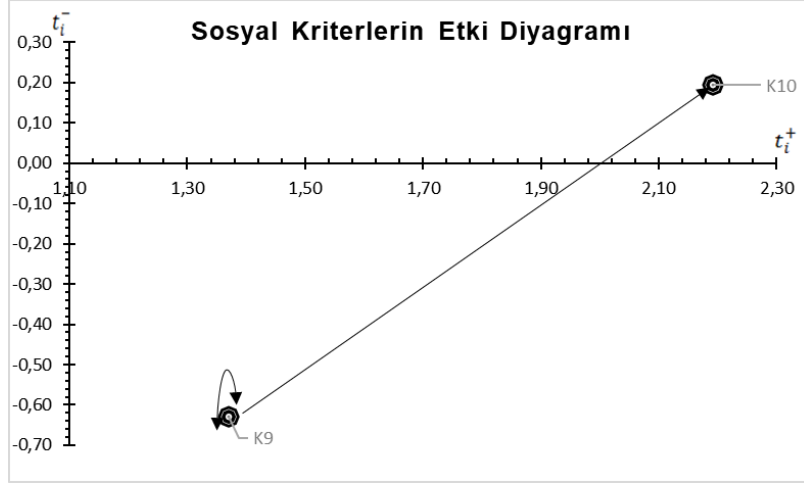
Şekil 5.1. Teknolojik kriterler için etki diyagramı

Teknolojik kriterler için oluşturulan etki diyagramında tüm kriterlerin alıcı grupta yer aldığı ve çoğunlukla kendi içlerinde etkileşimde oldukları görülmektedir. Bu kümede yer alan kriterler diğerlerinden daha bağımsızdırlar.



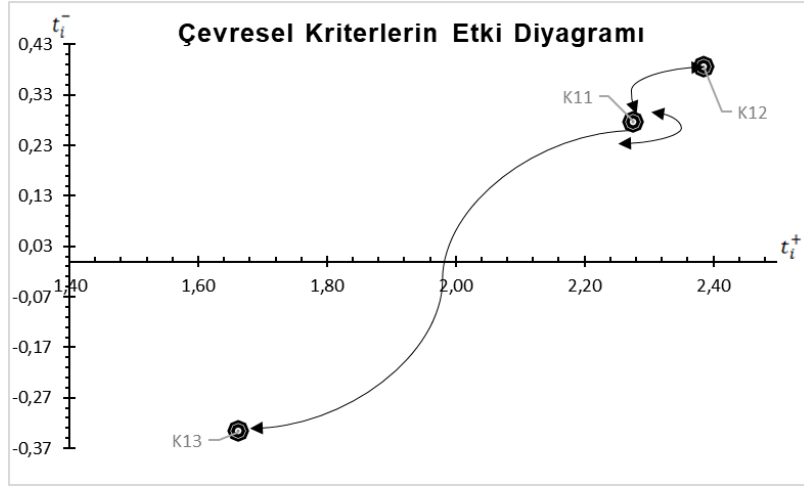
Şekil 5.2. Ekonomik kriterler için etki diyagramı

Ekonomik kriterler için oluşturulan etki diyagramında yer alan amortisman ve teşvikler kriterlerinin gönderici oldukları hesaplanmıştır. Kriter ağırlıkları ve genel gönderici oldukları bulunan ekonomik kriterlerin hem ekonomi kümesinde hem de tüm kriterlerin ortak incelemesinde problemin çözümü için en çok etkiye sahip oldukları bulunmuştur.



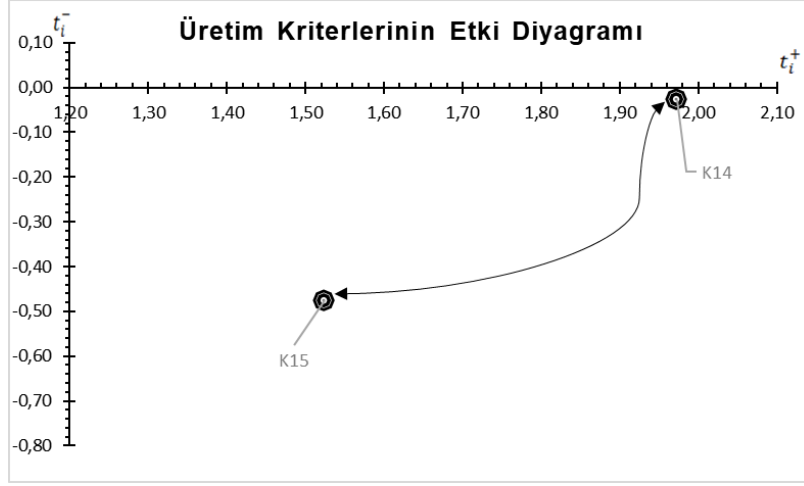
Şekil 5.3. Sosyal kriterler için etki diyagramı

Sosyal kriterler için çizilen etki diyagramında istihdam yaratmanın kendi kümesinde dahi en düşük etkiye sahip kriter olduğu ve sosyal katma değer istihdam yaratma üzerinde etkili olduğu bulunmuştur.



Şekil 5.4. Çevresel kriterler için etki diyagramı

Çevresel kriterler için oluşturulan etki diyagramında coğrafi uygunluk ve alan kullanımının gönderici oldukları ve çevresel etkilerin ise alıcı olduğu bulunmuştur. Coğrafi uygunluk alt kriterinin kendi içinde etkileşimdedir.



Şekil 5.5. Üretim kriterleri için etki diyagramı

Üretim kriteri için oluşturulan etki diyagramında kaynak sürekliliğinin üretim için ilave kaynağa göre daha az bağımsız olduğu ve problemin çözümünde daha yüksek etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Ekonomi kümesinden çıkan değerlendirmenin tüm kriterler için uygulanan sonuçlarla ortak olduğu gözlenmiştir.

Dematel yöntemiyle kriterler ve içsel bağılıklar analiz edilmiştir. Tüm ana kriter kümeleri içinde en etkin ve öncelikli kümenin ekonomik kriterler olduğu, bunu çevresel ve sosyal kriterlerin takip ettiği bulunmuştur. Karar vericilerin görüşleri doğrultusunda oluşturulacak yatırım politikasında ekonominin kriterlerin öne çıktığı bulunmuştur. Teknolojik kriterlerin öne çıkacağı bir durumda sürdürülebilir ve Dünya stratejik hedeflerini benimseyen bir yatırım politikası yerine finansmanın güçlü olacağı bir yatırım politikası benimsenmiştir.

5.3. ANP

Analitik Ağ Süreci yöntemi tek başına değerlendirilir. Kümeler ve küme elemanları arasındaki ağ yapısı karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Bu ağ yapısına göre ağırlıklandırılmış süpermatris güncellenebilmektedir. Anket soruları ağ yapısına göre oluşturulmuş olsaydı, değişen karar vericilere veya ağ yapısına göre anketin yeniden hazırlanıp cevaplandırılması gerekecektir. Oysaki, matrisin ağ yapısına göre oluşturulması modele esneklik kazandırmıştır.

Bu yöntemin uygulanması için süpermatrislerin tamamını dolduracak kadar karşılaştırma çifti sorusu hazırlanmıştır. On beş alt kriter ve altı alternatif için hazırlanan soruların sayısı sekiz yüz on dokuz kadardır. Bu kadar kapsamlı değerlendirmeler, ki

Saaty'nin önerdiği gibi değerlendirme çiftlerinin sayısının artması matrislerin tutarlılıklarının azalmasına sebep olduğundan, en fazla on beş alt kriter ile sınırlandırılmıştır. On beş kriterle sınırlandırılan alt kriterler için sorulan soru sayısı yöntemin uygulanabilirliğini zorlaştırmaktadır. Soruların hazırlanması ve cevaplandırılması uzun zaman almaktadır. Anket verilerinin matrislere işlenip çözümüm bulunması ise, süre açısından aynıdır.

ANP yöntemi ile elde edilen sonuçlar hem alt kriterlerin aldıkları puanlar hem de alternatifler için paylaşılmaktadır. Tablo 5.5' te gösterildiği üzere en yüksek önem değerini alan kriter amortismandır. İkinci ve üçüncü sırada yüksek puanları alan kriterler, kaynak sürekliliği ve teşviklerdir. Grup kararıyla belirlenen ağ yapısına göre incelenen kriterlerle verilecek yatırım kararında en etkili kümenin ekonomik kriterler olduğu ve bunu üretim kriterlerinin takip ettiği bulunmuştur.

Amortisman süresi kısa olan, teşviklerden yararlanmayı sağlayan ve kaynak sürekliliği olan alternatiflerin en yüksek öncelik değerlerini alması beklenmektedir. Alternatifler için yapılan hesaplamalar incelendiğinde, atık ısının en yüksek değeri aldığı görülmektedir. Bunu sırasıyla güneş ve rüzgâr enerjisi takip etmektedir. Atık ısı tesisi mevcut santrale ilave edilebilmesi, teşvik kapsamında değerlendirilmesi ve büyük yatırım maliyetine ihtiyaç duymaması, bağlı olduğu enerji üretim santrali çalıştıkça üretim yapması sebebiyle uygun bir alternatif olacaktır.

Tablo 5.5. ANP yöntemi kriter ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Kriterler
0,211	Amortisman
0,134	Kaynak Sürekliliği
0,120	Teşvikler
0,078	Çevresel Etkiler
0,068	Üretim için ilave kaynak
0,063	Coğrafi Uygunluk
0,050	Teknolojik Olgunluk
0,048	Akılcılık
0,046	İstihdam Yaratma
0,042	Sosyal Katma Değer
0,035	Alan Kullanımı
0,033	Adaptasyon ve Modifikasyon
0,027	Dışa Bağımlılık
0,026	Geri Dönüşüm ve Geri Kullanım
0,018	Gömülü Enerji, Ekserji ve CO ₂

Tablo 5.6. ANP yöntemi alternatif ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Alternatifler
0,185	Atık Isı
0,178	Güneş
0,173	Rüzgâr
0,163	Doğalgaz
0,152	Jeotermal
0,149	Kömür

Güneş ve rüzgâr enerjilerinin amortisman süreleri ve aldıkları teşvikler düşünüldüğünde, ekonomik bir yatırım yapmak için uygun oldukları görülmektedir. Diğer alternatiflere nazaran güneş ve rüzgâr, en yüksek teşvik oranına ve en kısa amortisman süresine sahip olmasalar da yatırım maliyetlerinin ve işletim bakım masraflarının düşük olması, enerji kaynağı bakımından dışa bağımlı olmamaları ve döviz dalgalanmalarından etkilenmemeleri sebebiyle ilk üç sırada yer almışlardır.

Güneş ve rüzgârın yeterli düzeyde enerji üretememesi halinde fabrikanın enerji ihtiyacının karşılanması için düşük maliyetli bir doğalgaz yatırımı yapılabilir. Enerji yatırım politikasının ekonomik ve üretim kriterleri etrafında şekillendiği ve bu politikanın teknolojik ve çevresel kriterlerle destekleneceği sonucuna varılmıştır.

5.4. AHP ve DEMATEL

AHP ve DEMATEL yöntemleri için ayrı ayrı kullanılan veriler değiştirilmeden melezlenen yöntemde de kullanılır. Bu yöntemde DEMATEL yönteminin temel hesaplama adımları melezlenirken korunmuştur. AHP yöntemine, matrislerinin tutarlılıklarının kontrolü ve nihai alternatif ağırlıklarının bulunması aşamasında başvurulmuştur.

AHP yöntemi için hazırlanan sorular matrisin diyagonalindeki diğer karşılaştırma çiftleri için arttırılmıştır. Bu sayede, mevcut ankete ek yapılarak kriterler arasındaki ilişkilerin irdelenmesi kolaylaşmıştır. Yöntemden alınan ilk bulgular kriterler arasındaki etkileşimlerdir. Ardından, gönderici ve alıcı gruplar hesaplanmış ve kümeler kendi içlerinde etkileyen ve etkilenen kriterler için incelenmiştir. Tüm kriterler DEMATEL yöntemine göre ağırlıklandırıldıktan sonra en yüksek önceliğe sahip kriterin kaynak sürekliliği olduğu bulunmuştur. Amortisman ve teşvikler sırasıyla en yüksek değerleri alan diğer kriterlerdir. Değerler Tablo 5.7.'de paylaşılmaktadır.

Tablo 5.7. AHP ve DEMATEL yöntemi kriter ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Kriterler
0,103	Kaynak Sürekliliği
0,077	Amortisman
0,076	Teşvikler
0,070	Coğrafi Uygunluk
0,070	Çevresel Etkiler
0,068	Dışa Bağımlılık
0,065	Akılcılık
0,065	Alan Kullanımı
0,062	Teknolojik Olgunluk
0,061	Geri Dönüşüm ve Geri Kullanım
0,058	Adaptasyon ve Modifikasyon
0,057	İstihdam Yaratma
0,057	Üretim için ilave kaynak
0,056	Sosyal Katma Değer
0,054	Gömülü Enerji, Ekserji ve CO ₂

Kriterlerin için daha ayrıntılı analiz yapılmak istendiği için gönderici ve alıcı gruplar incelenmiştir. Tablo 5.8.' de paylaşılan değerler, gönderici ve alıcı grupların, kümelerin ve problemin genel eşik değerlerinin, problemin tüm etki diyagramı koordinatlarını göstermektedir.

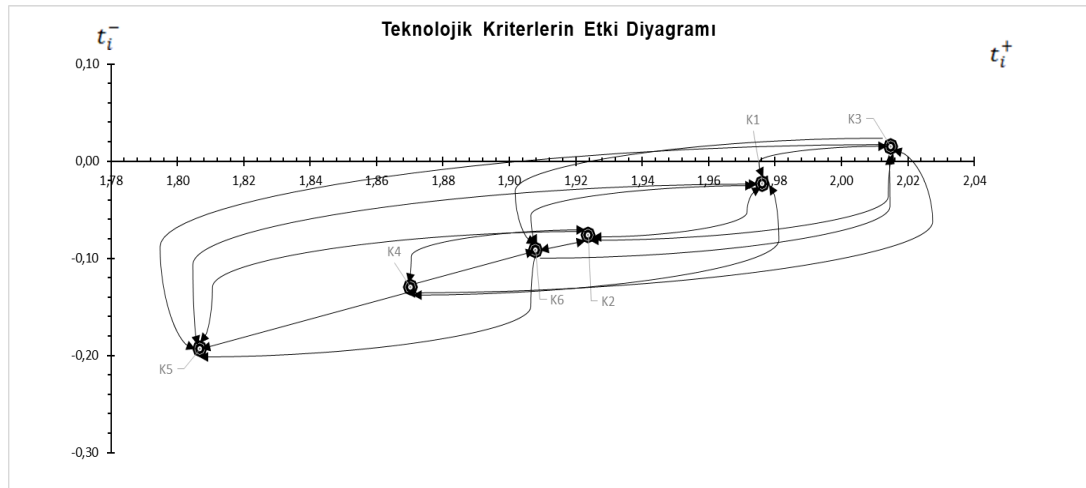
AHP ve DEMATEL' in melezlenmesi yöntemiyle elde edilen bulgularda gönderici grupta yer alıp diğerleri üzerinde daha çok etkiyle sahip olan kriterler dışa bağımlılık, amortisman, teşvikler, coğrafi uygunluk, çevresel etkiler ve kaynak sürekliliğidir. Amortisman ve teşvikler kriterinin hem en çok etkiye sahip hem de modelin çözümü için en yüksek öncelik değerini alan kriterler oldukları bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 5.8' de paylaşılmaktadır.

Kriterlerin daha ayrıntılı olarak analiz edilebilmesi için t_i^+ ve t_i^- nin aldıkları değerlere incelenmiştir. 3, 7, 8, 11, 13 ve 14 numaralı kriterlerin t_i^- değerleri pozitif ve t_i^+ değerleri ise küçüktür. Bu tipteki kriterlerin etki değerlerinin nispeten düşük olduğu, daha bağımsız olduğu ve yalnızca birkaç diğer kritere etki ettikleri söylenmektedir. Geriye kalan 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 12 ve 15 numaralı kriterlerin t_i^- değerleri negatif ve t_i^+ değerleri büyük olduğu ve bunların problemin çözümü için iyileştirmeye ihtiyaç duyan alıcı gruplar oldukları bulunmuştur.

Ana kriter grupları için daha ayrıntılı inceleme yapılması için küme eşik değerleri ve her bir küme için çizilen etki diyagramları Şekil 5.6. ile Şekil 5.10. arasında gösterilmektedir.

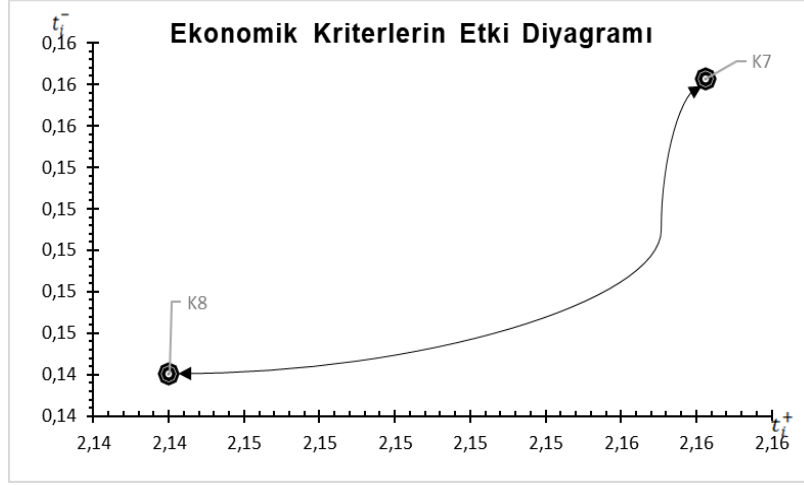
Tablo 5.8. AHP ve DEMATEL yöntemi için gönderici ve alıcı gruplar, eşik değerleri

Kriterler	#	t_i^+	t_i^-	Kümelelerin Eşik Değeri	Gönderici Gruplar	Alıcı Gruplar	Eşik Değeri
AKI	K1	1,976	-0,024	0,0617	-	-0,02	0,0667
TO	K2	1,924	-0,076		-	-0,08	
DB	K3	2,015	0,015		0,01	-	
AD, MOD	K4	1,870	-0,130		-	-0,13	
GE, EK ve CO ₂	K5	1,807	-0,193		-	-0,19	
GD, GK	K6	1,908	-0,092		-	-0,09	
AMO	K7	2,158	0,158	0,0599	0,16	-	
TEŞ	K8	2,144	0,144	0,0599	0,14	-	
İY	K9	1,862	-0,138	0,0612	-	-0,14	
SKD	K10	1,844	-0,156	0,0612	-	-0,16	
CU	K11	2,056	0,056	0,0751	0,06	-	
AKU	K12	1,982	-0,018		-	-0,02	
ÇE	K13	2,051	0,051	0,5245	0,05	-	
KS	K14	2,552	0,552		0,55	-	
ÜİK	K15	1,851	-0,149		-	-0,15	



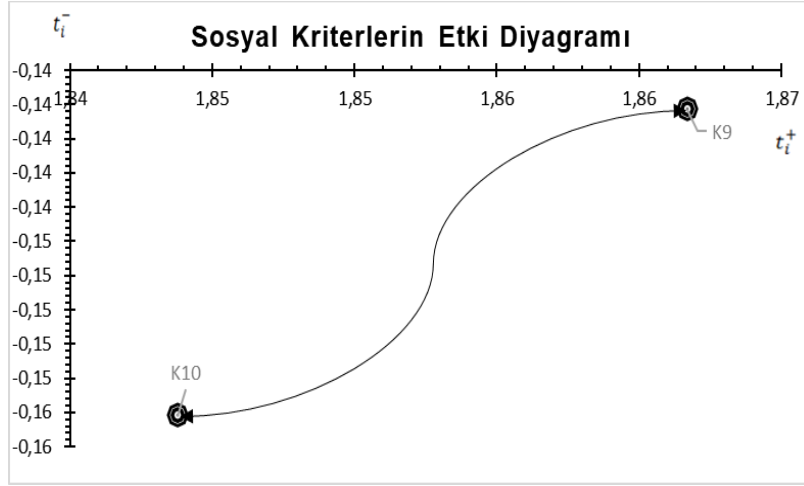
Şekil 5.6. Teknolojik kriterler için etki diyagramı

Teknoloji kümesi kendi içinde değerlendirildiğinde, tüm yöntem için bulunan sonuçlara paralel olarak, dışa bağımlılık kriterinin gönderici olduğu, diğer kriterlerin ise alıcı grupta yer aldıkları görülmektedir.



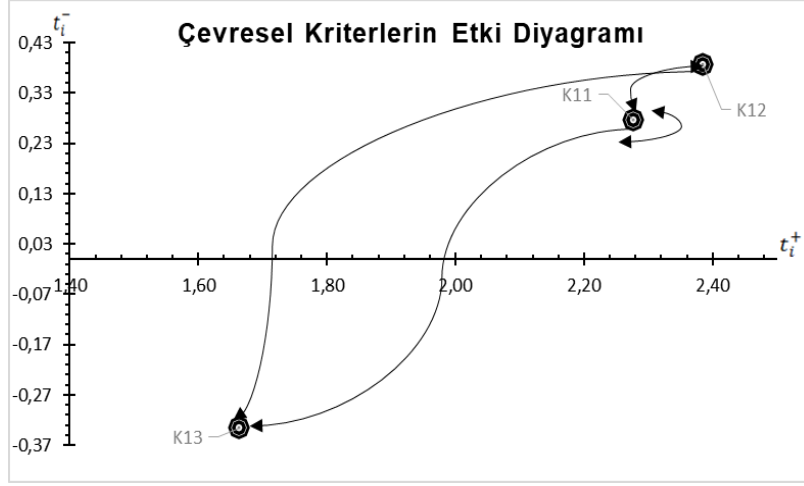
Şekil 5.7. Ekonomik kriterler için etki diyagramı

Ekonomik ana kriteri altındaki amortisman ve teşvikler kriterleri tüm problem çözümünde olduğu gibi kendi kümelerinde de gönderici olarak bulunmuşlardır. Problemin çözümünde en yüksek etkiye sahip ve yüksek puan alan kriterlerdir.



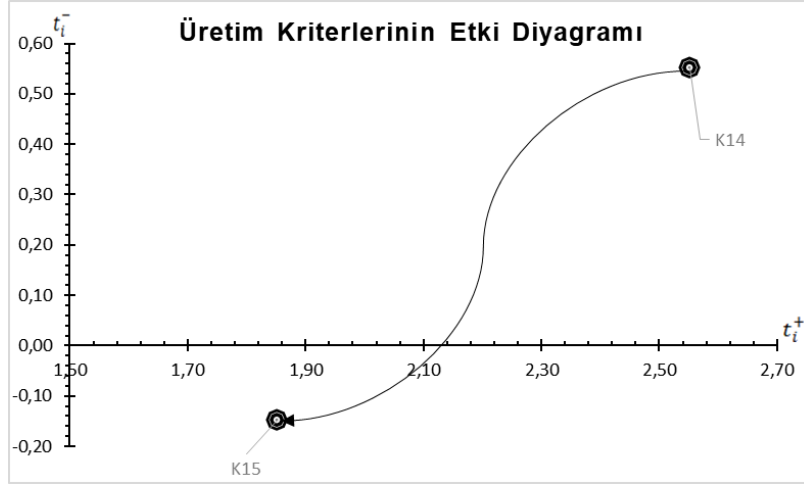
Şekil 5.8. Sosyal kriterler için etki diyagramı

Sosyal ana kriteri altında yer alan istihdam yaratma ve sosyal katma değer kriterleri problemin genel çözümünde bulunduğu gibi bu kümede de alıcı grupta yer almışlardır. Etki değerleri düşük, yüksek ağırlık değeri alan kriterlerden etkilenen olarak bulunmuşlardır.



Şekil 5.9. Çevresel kriterler için etki diyagramı

Çevresel kriterler ana kriteri altında coğrafi uygunluğun ve alan kullanımının gönderici ve çevresel etkilerin de alıcı olduğu görülmektedir. Coğrafi uygunluğun kendi içinde etkileşimdedir ve problemin genel çözümü içinde diğerlerine göre daha yüksek etkiye sahiptir.



Şekil 5.10. Üretim kriterleri için etki diyagramı

Üretim ana kriteri altında kaynak sürekliliğinin gönderici ve üretim için ilave kaynağı alıcı grupta oldukları görülmektedir.

Tablo 5.9. AHP ve DEMATEL yöntemi alternatif ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Alternatifler
0,206	Jeotermal
0,198	Rüzgâr
0,194	Güneş
0,154	Atık Isı
0,138	Doğalgaz
0,110	Kömür

Tablo 5.9’da paylaşılan alternatif sıralamaları incelendiğinde en yüksek ağırlığı alan alternatiflerin yenilenebilir enerji kaynakları oldukları görülmektedir. Enerji yatırım politikası seçiminde en etkili kriterlerin kaynak sürekliliği, amortisman ve teşvikler oldukları değerlendirildiklerinde çıkan alternatiflerin dışa bağımlılığı azaltacağı, sürdürülebilir, temiz bir çevre ve karbonsuzlaşma yönündeki stratejilerini destekleyeceği görülmektedir. Jeotermal enerji yatırımı rüzgâr ve güneş yatırımlarıyla birlikte fabrikanın enerji ihtiyacını karşılayabilecektir. Jeotermal enerjinin tek başına yeterli bulunmaması ile rüzgâr ve güneş enerjilerinin üretimlerinde yetersiz kalabileceği durumlar için düşük bütçeli bir atık ısı tesisi kurulabilecektir.

5.5. DEMATEL ve ANP

DEMATEL ile melezlenen Analitik Ağ Sürecinde kriterler arasındaki ilişkiler DEMATEL yönteminden alınmıştır. Karar vericilerin değerlendirmeleri yerine bu yöntemle analizi edilen içsel bağılıkların kullanılması problemin çözümünü etkileyen önemli bir değişikliktir. Bu sayede karar vericilerin geçmiş bilgi ve tecrübelerine dayandırarak belirledikleri olası yanlı içsel bağılıklar yerine DEMATEL yöntemiyle elde edilen bağılıklar kullanılmıştır.

Alt kriterlere ait ağırlıklar ANP yönteminin esaslarına göre bulunmuştur. Üretim kriterinin en yüksek önceliğe sahip olduğu, kaynağın kesintisiz olarak enerji üretimini sağlaması gerektiği bulunmuştur. Bunun ardından coğrafyanın uygunluğu, seçilen kaynak için teşviklerden yararlanabilmenin öncelikli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kriterlerin aldıkları puanlar Tablo 5.10.’da gösterilmektedir.

Yüksek önceliğe sahip kriterlere göre sıralamada en yüksek tercih edilebilir alternatifler rüzgâr, güneş ve jeotermaldir. Rüzgâr ve güneş gün boyu kesintisiz olarak üretim yapılmasına imkân vermese dahi coğrafyanın uygunluğu ve teşvikler kapsamında olmaları bu alternatifleri öncelikli yapmıştır. Jeotermal alternatiften kesintisiz üretim

yapılabilmesi, coğrafi uygunluk ve teşvikler kriterlerini de sağlaması sebebiyle karar aşamasında ilk yatırım yapılacak alternatif olabilecektir.

Alternatiflerin aldıkları puanlar Tablo 5.11.'de gösterilmektedir. Rüzgâr, güneş ve jeotermal alternatifleri teker teker veya birlikte dönüşümlü olarak enerji arzını kesintisiz üretimi desteleyecek şekilde kullanılabilir. Kaynak sürekliliğini güvence altına almak için rüzgâr ve güneşin yetersiz kalabileceği durumlarda atık ısı üretimi ile de üretim arz güvenliği desteklenebilecektir.

Enerji arzının sürekli olması yalnızca doğal kaynakların erişimine bağlı olacaktır, ekonomik ve politik değişimlerden en az oranda etkileneceklerdir. Yenilenebilir kaynakların tercih edilmesi çevresel zararları en düşük düzeyde tutacağından sürdürülebilir yaşamı desteklerken sosyal açıdan da olumluluklar yaratacaktır. Bu yöntemle oluşturulacak enerji yatırım politikasının ekonomik ve çevresel kriterleri ön planda tutarak hazırlanacağı tespit edilmiştir.

Tablo 5.10. DEMATEL ve ANP yöntemi kriter ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Kriterler
0,256	Kaynak Sürekliliği
0,156	Coğrafi Uygunluk
0,153	Teşvikler
0,099	İstihdam Yaratma
0,085	Amortisman
0,076	Alan Kullanımı
0,044	Çevresel Etkiler
0,033	Üretim için ilave kaynak
0,023	Sosyal Katma Değer
0,017	Teknolojik Olgunluk
0,015	Akılcılık
0,012	Adaptasyon ve Modifikasyon
0,012	Geri Dönüşüm ve Geri Kullanım
0,011	Dışa Bağımlılık
0,007	Gömülü Enerji, Ekserji ve CO ₂

Tablo 5.11. DEMATEL ve ANP yöntemi alternatif ağırlıkları

Normalize Ağırlıklar	Alternatifler
0,213	Rüzgâr
0,206	Güneş
0,204	Jeotermal
0,149	Atık Isı
0,122	Doğalgaz
0,106	Kömür

5.6. Tüm Sonuçlar

Uygulanan tüm yöntemlerin sonuçları Tablo 5.12. ve 5.13.' te paylaşılmaktadır. Yöntemlerin tek başlarına ve melezlenerek çözümleri kriterlerin arasındaki ilişkileri ve buna bağlı olarak alternatiflerin seçimini etkilemektedir.

AHP yöntemi tek başına ve DEMATEL ile çözüldüğünde alternatiflerin önem sıralamasında bir değişiklik görülmemiştir. En yüksek değeri alan alternatifler jeotermal, rüzgâr ve güneştir. ANP yöntemi tek başına çözdürüldüğünde alternatiflerin sıralaması atık ısı, güneş ve rüzgâr olarak değişmektedir. Bu yöntemde kurulan ağ yapısına karar vericilerin karar vermesi, geri bildirimli ağ yapısı sonuçları ve kriter ağırlıklarını diğer yöntemlerden farklı sonuçlar almaya itmiştir.

Melezlemenin alternatifler üzerindeki etkileri incelendiğinde DEMATEL ve ANP yönteminin sonuçlarında öncelik sıralaması değişmiştir. İlk sırada yer alan atık ısı öncelikli olmaktan çıkmış ve yeni sıralama rüzgâr, güneş ve jeotermal olmuştur. Kriterler arasındaki ilişkinin DEMATEL yönteminin önerdiği şekilde analiz edilmesi sıralamayı değiştirmiştir. İçsel bağılıkların sayısal bir analize dayanması elde edilen sonuçların tutarlılığı ve geçerliliği açısından önemlidir. DEMATEL ile melezlemenin tüm yöntemler için sonuçları ortaklaştırdığı bulunmuştur.

Fabrikanın enerji yatırım politikasını oluşturmak için çözülen tüm yöntemler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kolay uygulanabilirlik, anket verilerinin toplanması için gerekli soru sayısı, bu verilerin işlenmesi ve çözüme ulaşılma süresi için yapılmıştır.

Tablo 5.12. Tekli ve melez yöntemlerin kriter ağırlıklar

Kriterler Ağırlıkları					
İdealize Ağırlıklar	AHP	ANP	DEMATEL	DEMATEL ve ANP	DEMATEL ve AHP
AKI	0,701	0,228	0,195	0,059	0,629
TO	0,742	0,237	0,148	0,065	0,595
DB	0,607	0,128	0,195	0,044	0,654
AD, MOD	0,593	0,157	0,158	0,046	0,561
GE, EK ve CO ₂	0,528	0,086	0,145	0,026	0,520
GD, GK	0,573	0,124	0,172	0,049	0,585
AMO	0,731	1,000	1,000	0,330	0,746
TEŞ	0,900	0,568	0,518	0,598	0,737
İY	0,785	0,216	0,109	0,387	0,555
SKD	0,748	0,201	0,351	0,091	0,544
CU	0,790	0,300	0,375	0,609	0,680
AKU	0,835	0,168	0,407	0,298	0,633
ÇE	0,705	0,372	0,195	0,173	0,677
KS	0,895	0,638	0,286	1,000	1,000
ÜİK	1,000	0,321	0,154	0,129	0,548

Tablo 5.13. Tekli ve melez yöntemlerin alternatif ağırlıkları

Alternatifler Ağırlıkları				
İdealize Ağırlıklar	AHP	ANP	DEMATEL ve ANP	DEMATEL ve AHP
Doğalgaz	0,680	0,880	0,573	0,668
Kömür	0,550	0,801	0,499	0,534
Güneş	0,940	0,958	0,969	0,940
Rüzgâr	0,956	0,934	1,000	0,957
Jeotermal	1,000	0,821	0,960	1,000
Atık Isı	0,748	1,000	0,702	0,747

Değerlendirilen yöntemlerin çevikliği ve sağlamlığı araştırılmıştır. Uyumluluk Testi ve Tartışmalar bölümlerine bunlara değinilmektedir.

Seçim kararını sınırlayan kriterlerde en yüksek önceliğe sahip teşvikler bulunmuştur. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplandığı beş farklı yöntem içinde bu kriter en yüksek puanları alarak her zaman sıralamada ilk üçte yer almıştır. Tüm sonuçlar içinde üç farklı yöntemde amortisman alt kriteri yüksek önceliğe sahip olmuştur. Kaynak sürekliliği de üç farklı yöntemde en yüksek değeri alan kriterler içinde ilk üçte yer almıştır. Üçüncü sırayı iki farklı yöntemde ilk üçte yer alan kullanımı takip etmiş ve en az bir yöntem içinde tercih edilebilir bulunan diğer kriterler coğrafi uygunluk ve üretim için ilave kaynak olmuştur.

Yatırım kararında en etkili ve yüksek değerleri alan kriterler incelendiğinde bunların ekonomik, üretim ve çevre kriterleri oldukları bulunmuştur. Seçilen yöntemden bağımsız olarak bir fabrikanın enerji yatırım kararını, asıl amaç olan üretim sürekliliğini sağlamanın yanı sıra, ekonomik yönden güçlü ve çevresel etkileri göz önünde bulunduran seçenekler etkilemektedir. Fosil yakıtla çalışan, dışa bağımlılığı arttıran, döviz dalgalanmalarından etkilenen, CO₂ salımını arttıran, çevreyi kirleten kaynaklar enerji yatırım politikaları için uygun bulunmamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen destekler, çevreye etkilerinin düşük olması, arzının herhangi bir dış kaynağa bağlı olmaması, sürdürülebilir bir çevre, ekonomi ve politika için uygun bulunmuştur.

5.7. Uyumluluk Testi

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin tekli ve melez olarak çözümleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Aynı problem için öne sürülen çözüm yollarının alternatifler için oluşturdukları önem sıralamaları sütun vektörleri olarak normalize edilmiş değerleri ile paylaşılmaktadır. Çıkan sonuçlar göstermiştir ki dört yönteme ait değerler birbirlerine çok yakındır. Her bir alternatif için öncelik vektörleri yakın puanlar almışlardır.

Sırasıyla dört yöntem kendi içlerinde kıyaslanmaktadır. Toplam karşılaştırma sayısı $\frac{n(n-1)}{2}$ kadardır. Alternatiflerin sıralamasına ait öncelik değerleri Tablo 5.14. ile gösterilmektedir.

Tablo 5.14. Yöntemlerden Elde Edilen Normalize Ağırlıklar

Sütun Vektörleri				
Normal Ağırlıklar	AHP	ANP	DEMATEL ve ANP	DEMATEL ve AHP
Doğalgaz	0,139	0,163	0,122	0,138
Kömür	0,113	0,149	0,106	0,110
Güneş	0,193	0,178	0,206	0,194
Rüzgâr	0,196	0,173	0,213	0,198
Jeotermal	0,205	0,152	0,204	0,206
Atık Isı	0,154	0,185	0,149	0,154

ANP hariç tüm yöntemlerin sonuçlarına göre önem sıralamalarında ilk sırayı jeotermal, ikinci sırayı rüzgâr ve üçüncü sırayı güneş almaktadır. ANP yönteminde ise güneş ve jeotermal yer değiştirerek güneş ilk sırada bulunmaktadır. Bu durumda AHP, AHP ve DEMATEL ve DEMATEL ve ANP yöntemlerinin çıktıları için birbirlerine paralel oldukları söylenebilir. Ancak sıralama aynı olsa da öncelik değerleri farklıdır. ANP’ de ise sıralamanın ve öncelik değerlerinin tamamen farklı olması neticesinde bu yöntemlerin uyumlu sonuçlar elde edip etmediği ve bu farklılıklar için fikir birliğine varılabilmesi için uyumluluk testine başvurulmuştur.

Uyumluluk testleri için endeksler sırasıyla AHP ile ANP, AHP ile DEMATEL ve ANP, AHP ile AHP ve DEMATEL, ANP ile DEMATEL ve ANP, ANP ile AHP ve DEMATEL ve son olarak DEMATEL ve ANP ile AHP ve DEMATEL için hesaplanmıştır. Tüm karşılaştırmalar için uyumluluk değerlerinin $S < 1,1$ ’ den olduğu gözlemlenmektedir.

Endeks S için belirlenen referans noktası 1’dir. Aynı iki vektör karşılaştırıldığında elde edilen değer 1 olacağından bu değere yakın çıkan yöntemlerin diğerlerine nazaran daha uyumlu oldukları ve bunlara ait vektörlerin birbirlerine daha yakın oldukları söylenebilir. Tablo 5.15.’te endeks değerleri paylaşılmıştır.

Alternatiflerin önem sıralamaları ANP yöntemi için değişmiş olsa dahi, normalize ağırlıkların karşılaştırmaları sonucunda tüm yöntemlerden elde edilen sonuçların birbirleriyle tutarlı ve uyumlu oldukları söylenebilir.

Tablo 5.15. Uyumluluk Testi sonuçları

Yöntemlerin Karşılaştırılması	Uyumluluk Endeksi
AHP ile ANP	1,041
AHP ile DEMATEL ve ANP	1,005
AHP ile AHP ve DEMATEL	1,000
ANP ile DEMATEL ve ANP	1,066
ANP ile AHP ve DEMATEL	1,045
DEMATEL ve ANP ile AHP ve DEMATEL	1,004

6. TARTIŞMA

AHP yöntemi tek başına uygulandığında, değerlendirmelerin yapılması için diğer yöntemlere nazaran daha az anket hazırlanmıştır. Yöntemin hiyerarşik yapıda olması verilerin toplanmasını, bunların hesaplanmasını kolaylaştırmakta ve çözüm süresini kısaltmaktadır. Bu sebeple, yöntem çeviktir. Ancak, kriterler arasındaki etkileşimin değerlendirilmemesi, içsel bağılıkların ve geri bildirim olmayışı, yöntemin sağlamlığını azaltmaktadır. Elde edilen sonuçlar tüm yöntemlerden elde edilen ortak sonuçla karşılaştırıldığında tutarlı, uyumlu ve uygulanabilir bulunmuştur.

DEMATEL yönteminin asıl kullanım amacı, kriterler arasındaki içsel bağılıkları incelemek, problemin bileşenlerini daha iyi kavramak ve çözüme giden yolda karar vermeyi iyileştirmektir. Bu yöntem ile herhangi bir sıralama sonucu elde edilemediğinden genişletilmiştir. Bu genişletme kriter ağırlıklarının hesaplanması için yapılmıştır. Yeni durumda bu yöntem, ortak sonuç ile karşılaştırıldığında tutarlı ve uyumlu bulunmuştur. Enerji yatırım kararının verilmesi için ilaveten bir sıralama algoritmasına ihtiyaç duyulduğundan AHP ve ANP ile alternatif sıralamasına ulaşmak için melezlenmiştir. DEMATEL yönteminin problem bileşenlerini analiz edebilme başarısı üzerinden melez yöntemler karşılaştırılmıştır.

DEMATEL yönteminde kriterler dört ana grubu dağılmışlardır. Bu gruplar t_i^+ ve t_i^- değerlerinin pozitif, negatif, büyük ve küçük oluşuna göre incelenmiştir. DEMATEL' in bulguları kriterlerin bu dört grup içinde birbirlerini daha çok etkilediği ve problemin çözümü üzerinde daha çok etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu yöntemin AHP ile melezlenmesi, kriterlerin arasındaki etkileşimi değiştirmiştir. İlk melez yöntemde kriterler dört ana grupta değil, yalnızca iki grupta toplanmıştır. Kriterlerin t_i^+ nin büyük ve t_i^- nin pozitif olduğu grupta yer almamaları diğer kriterler üzerindeki etkilerinin ve çözüm için tek başına etkilerinin azaldığının göstergesidir. Benzer şekilde, t_i^+ nin küçük ve t_i^- nin negatif olduğu grupta yer almamaları ise, kriterlerin bağımsızlıklarının azaldığının ve diğer kriterlerden daha az etkilendiklerini göstermektedir.

DEMATEL, ANP ile melezlendiğinde cevaplanması gereken anket sayısı ANP ile aynı olmaktadır. İkinci melez yöntemde içsel bağılıklar ve ağ yapısı için DEMATEL'e başvurulmuş olup kriter ve alternatiflerin sıralaması için ANP adımları takip edilmiştir. Bu iki yöntem tek başlarına çözüldüklerinde sıralamada öne çıkan bir kriter aynıdır ve en yüksek değerleri alan ilk üçteki kriterden ikisi ortak olmuştur. İki yöntem birleştirildiğinde ise elde

edilen sonuçların ANP' den elde edilenlere daha yakın olduğu görülmektedir. İçsel bağılıkların DEMATEL' den gelmesi sıralamayı değiştirmiştir. Alternatifler için yöntemler kıyaslandığında ise, sıralamanın değiştiği ancak iki alternatifin en yüksek puanı alan ilk üçte yer aldığı görülmektedir. Melezleme, nihai sonuçları değiştirmiş ve diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlara yaklaştırmıştır. ANP' de öncelik değeri en yüksek bulunan alternatif melezleme sonucu sıralamadan çıkmış, AHP, AHP ve DEMATEL yöntemlerinden elde edilen sonuçlara benzer sonuçlara sevk etmiştir. ANP ve melezlendiği durumda ilk üçte yer alan diğer iki alternatifin sadece aldığı puanların değişmiştir.

Melezleme çalışmaları çıkan sonuçları birbirlerine yaklaştırmıştır. DEMATEL ile melezleme çalışmasının problemin bileşenlerini daha iyi analiz etmeyi sağladığı, bulguları ortaklaştırdığı ve bu sayede enerji yatırım politikası kararını vermeyi birden çok yönetime bakarak, kolaylaştırdığı söylenebilir.

Melez yöntemlerden elde edilen sonuçların tekli yöntemlere nazaran daha tutarlı ve uygun oldukları bulunmuştur. ANP yöntemi için daha fazla anket sorusu sorulması, hesaplama adımlarının uzunluğu çözüm süresini uzatmaktadır. Bu sebeple, DEMATEL ile melezlenen AHP' nin anket soru sayısı, çözüm süresi, esneklik ve tutarlılık açısından daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur. Probleme yapısına uygun olduğu ve problem bileşenlerine göre yeniden uygulanabilmesi daha kolaydır.

Mevcut çalışmanın gelişime açık tarafları bulunmaktadır. İlk olarak kriter seçimleri bir karar verici grup tarafından değil, oluşturulan bir havuzdan bir algoritma yardımıyla seçilebilir. Seçilen kriterlerin değerlendirilmesi ayrı bir karar verme algoritması veya yapay zekâ kullanılarak yapılabilir. Bu sayede, karar vericilerden kaynaklı olası tüm yanlı tercihler elimine edilerek geçmiş verinin ve gelecekteki eğilimlerin kriter ağırlıklandırmasında kullanılması sağlanabilir. İkinci olarak, yöntemler bulanık sayılar kullanılarak tekrar değerlendirilebilir. Bulanık sayıların dilsel terimlerin yerini alarak karar verme aşamasındaki belirsizlikleri ortadan kaldırması beklenir.

KAYNAKLAR

- [1] British Petroleum, "BP Statistical Review of World Energy," 68th edition, 2019. Agu. 8, 2019. [Online]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- [2] REN21 Secretariat, "Renewables Global Futures Report: Great debates towards 100% renewable energy," Renewable Energy Policy network for the 21st Century, Paris, 2017. Agu. 11 2019. [Online]. Available: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/06/GFR-Full-Report-2017_webversion_3.pdf
- [3] IEA Publications, "World Energy Investment 2019," International Energy Agency, France, May. 2019. Agu. 11 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2019>
- [4] Strateji Geliştirme Başkanlığı "2018 Yılı Bütçe Sunumu," T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, Kas. 2017. Dec. 23, 2017. [Online]. Available: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Butce-Konusmalari/Sn-Bakanin-Butce-Sunus-Konusmalari>
- [5] İ. Kaya, M. Çolak and F. Terzi, "A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making," *Energy Strategy Reviews*, no. 24, pp.207-228, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.03.003
- [6] C. Cooremans and A. Schönenberger, "Energy management: A key driver of energy-efficiency investment?," *Journal of Cleaner Production*, no. 230, pp. 264-275, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.333
- [7] D. Fadly, " Low-carbon transition: Private sector investment in renewable energy projects in developing countries," *World Development*, no. 122, pp. 552-569, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.worlddev.2019.06.015
- [8] G. D. Tre, R. D. Mol and A. Bronselaer, "Handling Veracity in Multi-Criteria Decision-Making: A Multi-Dimensional Approach," *Information Sciences*, vol. 460-461, pp. 541-554, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.ins.2017.09.008
- [9] S. Shahba, R. Arjmandi, M. Monavari and J. Ghodusi, "Application of multi-attribute decision-making methods in SWOT analysis of mine waste management

- (case study: Sirjan's Golgohar iron mine, Iran)," *Resources Policy*, vol. 51, pp. 67-76, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.resourpol.2016.11.002
- [10] G. Büyüközkan and S. Güleriyüz, "An integrated DEMATEL-ANP approach for renewable energy resources selection in Turkey," *International Journal of Production Economics*, vol. 182, pp. 435-448, Dec. 2016, doi: doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.015
- [11] K. Mathiyazhagan, A. Diabat, A. Al-Refaie and L. Xu, "Application of analytical hierarchy process to evaluate pressures to implement green supply chain management," *Journal of Cleaner Production*, vol. 107, pp.229-236, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.110
- [12] M. A. Ortiz, H. A. Felizzola and S. N. Isaza, "A contrast between DEMATEL-ANP and ANP methods for six sigma project selection: a case study in healthcare industry," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 15, no. 3, Sep. 2015, doi: 10.1186/1472-6947-15-S3-S3
- [13] P. Groselj and L. Z. Stirn, "The environmental management problem of Pohorje, Slovenia: A new group approach within ANP-SWOT framework," *Journal of Environmental Management*, vol. 161, pp. 106-112, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.jenvman.2015.06.038
- [14] R. S. Shahabi, M. H. Basiri, M. R. Kahag and S. A. Zonouzi, "An ANP-SWOT approach for interdependency analysis and prioritizing the Iran's steel scrap industry strategies," *Resources Policy*, vol. 42, pp.18-26, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.resourpol.2014.07.001
- [15] D. Sumrit and P. Anuntavoranich, "Using DEMATEL Method to Analyze the Causal Relations on Technological Innovation Capability Evaluation Factors in Thai Technology-Based Firms," *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, vol. 4, no. 2, Jan. 2013
- [16] A. Organ, "Bulanık DEMATEL yöntemiyle makine seçimini etkileyen kriterlerin değerlendirilmesi," *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 22, no. 1, pp. 157-172, 2013
- [17] F. Sadehnezhad, M. Zaranejad and A. Gheitani, "Using combinational method DEMATEL and ANP with fuzzy approach to evaluate business intelligence

- performance," *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, vol. 2, no. 3, Feb. 2014
- [18] B. M. Elomda, H. A. Hefny ve H. A. Hassan, "An extension of fuzzy decision maps for multi-criteria decision-making," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 14, no:2, pp. 147-155, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.eij.2013.05.001
- [19] İ. Ertuğrul ve A. Özçil, "Çok Kriterli Karar Vermede TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Klima Seçimi" *Çankırı Karatekin University, Journal of The Faculty of Economics and Administrative Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 267-282, 2014
- [20] A. Yıldız ve M. Deveci, "Bulanık VIKOR Yöntemine Dayalı Personel Seçim Süreci," *Ege Academic Review*, vol. 13, no. 4, pp. 427-436, Oct. 2013
- [21] Ö. Erol and B. Kılış, "An energy source policy assesment using analytical hierarchy process," *Energy Conversion and Management*, vol.63, pp. 425-252, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.enconman.2012.01.040
- [22] C. Aksu, "Güney Ege Bölgesi (Aydın-Denizli-Muğla) Yenilenebilir Enerji Çalışma Raporu," T.C. Güney Ege Development Agency, 2011, Jul. 8, 2019 [Online]. Available: http://geka.gov.tr/Dosyalar/o_19v5e1ap8d7e12f10k2188bm508.pdf
- [23] B. Kılış, Yaklaşık Sıfır Enerjili Binalar: Artık Binaların Ötesine Bakmalıyız. Presented at ICSG İstanbul 2019. [Online]. Available: <https://docplayer.biz.tr/153362724-Yaklasik-sifir-enerjili-binalar-artik-binlarin-otesine-bakmalimiz.html>
- [24] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. "Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA)." YEGM.gov.tr Available: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>. (Accessed: Agu. 1, 2019).
- [25] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. "Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA)." YEGM.gov.tr Available: http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html. (Accessed: Agu. 1, 2019).
- [26] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. "Kömür." ENERJİ.gov.tr Available: <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fK%c3%b6m%c3%bcr+Nedir-.pdf>. (Accessed: Agu. 1, 2019).
- [27] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. "Jeotermal." ENERJİ.gov.tr Available: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal> (Accessed: Agu. 1, 2019).

- [28] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. "Doğal Gaz." ENERJİ.gov.tr Available: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz>. (Accessed: Agu. 1, 2019).
- [29] J. H. Myers and M. I. Alpert, "Determinant Buying Attitudes: Meaning and Measurement," *Journal of Marketing*, vol. 32, no. 4, pp. 13-20, Oct. 1968, doi: 10.2307/1249332
- [30] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: Applications to Decisions under Risk," *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 1, no. 1, pp. 122-196, 2008
- [31] N. Ömürbek, M. Karaatlı, H. Eren ve B. Şanlı, "AHP temelli PROMETHEE sıralama yöntemi ile hafif ticari araç seçimi," *Suleyman Demirel University The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, vol. 19, no. 4, pp. 47-64, 2014
- [32] K. Şehirli. "Dokuz Eylül Üniversitesi Ders Notları Özdeğerler Özvektörler." kisi.deu.edu.tr. Available: <http://kisi.deu.edu.tr//kemal.sehirli/%c3%96zde%c4%9ferler.pdf>. (Accessed: Apr. 2019).
- [33] A. Gabus and E. Fontela, "World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL," *Battelle Geneva Research Centre*, Geneva, 1972
- [34] E. Falatoonitoosi, Z. Leman, S. Sorooshian ve M. Salimi, "Decision-Making Trial and Evaluation Laborator," *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 13, pp. 3476-3480, Apr. 2013, doi: 10.19026/rjaset.5.4475
- [35] Y.-P. O. Yang, H.-M. Shieh, J.-D. Leu and G.-H. Tzeng, "A Novel Hybrid MCDM Model Combined with DEMATEL and ANP with Applications," *International Journal of Operations Research*, vol. 5, no. 3, pp. 160-168, Mar. 2008
- [36] A. Kobryń, "DEMATEL as a Weighting Method in Multi-Criteria Decision Analysis," *Multiple Criteria Decision Making*, vol. 12, Apr. 2018, doi: 10.22367/mcdm.2017.12.11
- [37] S.-B. Tsai, M.-F. Chien, L. Li, X. Jiang and Q. Chen, "Using the Fuzzy DEMATEL to Determine Environmental Performance: A Case of Printed Circuit Board Industry in Taiwan," *Plos One*, vol. 10, no. 6, Jun. 2015, doi: 0.1371/journal.pone.0129153

- [38] E. Aksakal ve M. Dağdeviren, “ANP ve DEMATEL Yöntemleri ile Personel Seçimi Problemlerine Bütünleşik Bir Yaklaşım,” *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, vol. 25, no. 4, pp. 905-913, Oct. 2010
- [39] T. L. Saaty, “Networks, Dependence and Feedback”, in *Decision making with dependence and feedback: the Analytic Network Process*, Pittsburg, PA, USA, RWS Publications, 1996
- [40] İ. Gölcük and A. Baykasoğlu, "An analysis of DEMATEL approaches for criteria interaction handling within ANP," *Expert Systems With Applications*, vol.46, pp. 346-366, Mar. 2016, doi: doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.041
- [41] C. A. Garuti and V. A. Salomon, "Compatibility indices between priority vectors," *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, vol. 4, no. 2, Dec. 2012, doi: 10.13033/ijahp.v4i2.130
- [42] T. L. Saaty and K. Peniwati, “Turning Individual Judgements into Group Decisions” in *Group Decision-Making: Drawing Out and Reconciling Differences*, Pittsburg, PA, USA, RWS Publications, 2015
- [43] O. Türkyılmaz, O. Aytaç ve Y. Bayrak. (2019) “Türkiye Enerji Görünümü.” Presented at TMMOB Makina Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu 2019. [Online]. Available: <https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2019/04/MMO-TEG-2019-Sunumu-Mart-2019.pdf>
- [44] OECD/IEA, "World Energy Outlook, Executive Summary," International Energy Agency, France, Nov. 2018, Agu. 18, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>
- [45] IRENA, "Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition)," International Renewable Energy Agency, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2019. Agu. 7, 2019. [Online]. Available: <https://www.irena.org/publications/2018/Apr/Global-Energy-Transition-A-Roadmap-to-2050>
- [46] REN21 Secretariat, “Renewables 2019 Global Status Report,” Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, France, 2019. Sep. 15, 2019, [Online]. Available: <https://www.ren21.net/gsr-2019/>

EKLER

Ek 1: AHP Çıktıları

AKI alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	3,87	0,62	0,58	0,53	0,67
KÖ	0,21	1,00	0,35	0,47	0,34	0,37
GÜ	1,31	1,40	1,00	2,27	2,18	1,07
RÜ	1,52	1,21	2,31	1,00	0,74	0,49
JEO	1,74	2,36	2,20	0,36	1,00	0,81
AI	0,37	0,75	1,09	1,66	1,00	1,00

TO alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	2,26	2,89	2,77	1,51	1,24
KÖ	0,44	1,00	1,91	1,68	1,32	1,23
GÜ	0,35	0,36	1,00	1,49	1,09	0,89
RÜ	0,66	0,81	0,52	1,00	0,90	1,04
JEO	0,60	0,76	0,81	0,67	1,00	1,29
AI	0,91	1,12	1,11	0,96	0,78	1,00

DB alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	0,69	0,63	0,63	0,57	0,58
KÖ	1,17	1,00	0,27	0,27	0,25	0,24
GÜ	1,28	1,28	1,00	1,28	1,52	0,99
RÜ	1,42	1,39	3,03	1,00	1,05	0,90
JEO	3,03	3,26	3,36	0,63	1,00	1,10
AI	0,53	0,82	0,77	0,90	0,74	1,00

AD, MO alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	0,79	1,64	1,76	1,12	0,73
KÖ	1,27	1,00	1,23	1,17	1,19	0,68
GÜ	0,61	0,57	1,00	1,20	1,13	0,56
RÜ	0,89	1,37	0,81	1,00	0,81	0,58
JEO	0,85	0,84	1,47	0,83	1,00	1,35
AI	0,88	1,79	1,24	1,72	0,74	1,00

GE, EK ve CO ₂ alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	2,78	0,16	0,16	0,20	0,18
KÖ	0,23	1,00	0,16	0,16	0,17	0,17
GÜ	3,96	4,09	1,00	1,03	2,23	1,19
RÜ	3,19	3,55	4,07	1,00	1,80	1,09
JEO	4,07	3,67	3,74	0,62	1,00	0,80
AI	0,29	0,54	0,36	0,58	0,80	1,00

GD, GK alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	1,29	1,15	1,15	0,62	0,62
KÖ	0,77	1,00	0,83	0,87	0,57	0,53
GÜ	0,87	0,87	1,00	1,53	1,00	0,70
RÜ	1,60	1,62	1,20	1,00	0,71	0,62
JEO	1,14	1,77	1,87	0,65	1,00	1,17
AI	1,00	1,43	1,40	1,63	0,85	1,00

AMO alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	1,09	1,00	1,00	0,67	0,96
KÖ	0,92	1,00	0,64	0,84	0,89	0,62
GÜ	1,00	1,00	1,00	1,00	0,47	0,34
RÜ	1,49	1,04	1,56	1,00	0,44	0,36
JEO	1,19	1,12	1,60	1,00	1,00	0,83
AI	2,13	2,95	2,28	2,78	1,20	1,00

TEŞ alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	0,75	0,18	0,17	0,23	0,31
KÖ	1,09	1,00	0,32	0,48	0,36	0,39
GÜ	4,57	4,72	1,00	1,01	2,23	2,59
RÜ	3,54	2,59	2,54	1,00	2,15	1,59
JEO	1,69	2,25	2,09	0,80	1,00	1,18
AI	0,36	0,31	0,38	0,51	0,69	1,00

İY alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	0,30	3,61	3,49	1,48	2,31
KÖ	2,15	1,00	4,09	4,20	3,10	3,80
GÜ	0,18	0,18	1,00	1,06	0,38	0,39
RÜ	0,43	0,28	0,16	1,00	0,37	0,42
JEO	0,15	0,21	0,17	0,61	1,00	1,18
AI	1,69	1,65	1,72	1,53	0,54	1,00

SKD alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	2,42	0,63	0,67	0,80	1,09
KÖ	0,41	1,00	0,53	0,53	0,43	0,53
GÜ	1,58	1,49	1,00	1,79	1,65	1,43
RÜ	1,25	0,92	1,87	1,00	0,77	1,43
JEO	1,87	2,33	1,88	0,56	1,00	1,28
AI	0,60	0,70	1,29	0,70	0,78	1,00

CU alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	1,07	0,31	0,32	0,40	0,39
KÖ	0,76	1,00	0,26	0,26	0,59	0,35
GÜ	2,65	2,54	1,00	1,50	3,53	0,98
RÜ	2,02	2,10	3,15	1,00	1,71	0,85
JEO	3,15	1,37	2,30	0,54	1,00	0,46
AI	0,23	0,83	0,47	0,95	1,76	1,00

AKU alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	2,51	1,88	1,02	1,09	0,89
KÖ	0,40	1,00	0,54	0,34	0,31	0,37
GÜ	0,53	0,99	1,00	0,53	0,47	0,77
RÜ	0,91	1,12	1,85	1,00	0,81	1,26
JEO	2,97	3,24	2,67	1,90	1,00	2,99
AI	2,13	1,29	1,24	0,79	0,33	1,00

ÇE alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	3,67	0,11	0,12	0,13	0,19
KÖ	0,15	1,00	0,10	0,11	0,12	0,12
GÜ	5,13	4,77	1,00	0,83	2,25	1,84
RÜ	4,26	3,02	5,44	1,00	1,53	1,95
JEO	5,07	4,76	4,69	0,68	1,00	1,55
AI	0,25	0,31	0,37	0,29	0,36	1,00

KS alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	1,27	0,93	0,93	1,02	0,32
KÖ	0,79	1,00	0,88	0,88	0,72	0,46
GÜ	1,07	1,07	1,00	1,49	0,87	1,40
RÜ	0,98	3,14	1,14	1,00	1,08	0,95
JEO	1,14	1,39	2,16	0,67	1,00	1,17
AI	1,15	0,71	0,93	1,05	0,85	1,00

ÜİK alt kriteri için alternatiflerin karşılaştırması						
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	1,37	0,50	0,50	0,54	0,36
KÖ	0,73	1,00	0,41	0,41	0,51	0,38
GÜ	2,00	2,00	1,00	1,53	1,24	0,81
RÜ	1,85	2,77	2,42	1,00	1,32	0,76
JEO	2,42	1,96	2,62	0,65	1,00	0,94
AI	0,81	1,24	0,76	1,31	1,06	1,00

EYP için kriterlerin karşılaştırması (AHP)															
Kriterler	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
AKI	1,00	0,86	1,10	1,07	1,19	0,95	0,55	0,53	0,58	0,67	0,72	0,95	1,12	0,69	2,76
TO	1,31	1,00	2,76	1,19	1,29	1,17	1,02	0,37	0,28	1,02	2,42	0,93	0,75	0,72	0,23
DB	0,97	1,20	1,00	0,72	0,23	1,17	1,38	1,34	1,06	0,55	0,60	0,79	1,04	0,45	1,04
AD, MO	1,65	1,51	1,14	1,00	1,04	0,45	1,04	0,70	0,26	0,76	1,18	1,44	0,21	0,38	0,77
GE, EK ve CO₂	1,28	3,44	1,18	0,77	1,00	1,44	0,21	0,38	0,77	0,70	0,43	0,36	0,37	0,17	0,82
GD, GK	0,62	4,25	2,40	1,17	1,29	1,00	0,43	0,36	0,37	0,17	0,82	0,68	0,36	0,37	0,62
AMO	2,40	1,17	1,29	2,12	2,54	2,41	1,00	0,17	0,82	0,68	0,36	0,37	0,62	1,06	0,39
TEŞ	2,40	1,17	1,29	2,12	2,54	2,41	5,45	1,00	0,82	0,68	0,36	0,37	0,62	1,06	0,39
İY	0,62	4,25	2,40	1,17	1,29	2,12	2,54	2,41	1,00	0,17	0,82	0,68	0,36	0,37	0,62
SKD	1,28	3,44	1,18	0,77	0,62	4,25	2,40	1,17	1,29	1,00	0,43	0,36	0,37	0,17	0,82
CU	1,65	1,51	1,14	0,87	2,02	0,86	1,28	3,44	1,18	0,77	1,00	1,44	0,21	0,38	0,77
AKU	0,97	1,20	1,25	3,89	0,77	0,66	0,67	0,85	1,65	1,51	1,14	1,00	1,04	0,45	1,04
ÇE	1,31	0,33	0,76	0,70	0,77	0,89	2,44	3,24	0,89	0,37	0,97	1,20	1,00	0,72	0,23
KS	1,05	0,82	0,84	0,76	0,95	1,64	1,72	1,56	1,35	1,25	0,95	0,80	1,31	1,00	2,76
ÜİK	1,90	1,90	1,76	2,63	2,30	2,30	1,86	2,49	0,62	0,77	1,18	0,72	1,25	1,01	1,00

Alternatif Bazında Kriter Ağırlıkları (AHP)															
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
DG	0,16	0,28	0,11	0,18	0,07	0,15	0,15	0,05	0,23	0,16	0,08	0,19	0,06	0,14	0,10
KÖ	0,07	0,18	0,07	0,17	0,03	0,12	0,13	0,08	0,38	0,08	0,07	0,07	0,03	0,12	0,08
GÜ	0,24	0,12	0,20	0,13	0,27	0,16	0,11	0,31	0,06	0,23	0,28	0,10	0,27	0,19	0,21
RÜ	0,18	0,13	0,21	0,15	0,29	0,17	0,14	0,28	0,06	0,18	0,25	0,16	0,30	0,20	0,23
JEO	0,20	0,13	0,28	0,17	0,24	0,20	0,17	0,20	0,07	0,21	0,19	0,33	0,27	0,19	0,22
AI	0,16	0,15	0,13	0,19	0,10	0,19	0,30	0,08	0,21	0,13	0,14	0,15	0,06	0,15	0,16

Ek 2: DEMATEL Çıktıları

Direkt İlişki Matrisi (Dematel)															
Kriterler	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
AKI	-	1,35	1,84	1,49	1,57	1,51	1,22	1,17	1,22	1,22	1,22	1,35	1,64	1,35	2,34
TO	1,49	-	1,49	1,49	1,43	1,57	1,00	1,00	1,43	1,92	1,35	1,35	1,35	1,00	1,74
DB	1,74	1,43	-	1,74	1,84	1,84	1,37	1,51	1,43	1,51	1,17	1,74	1,43	1,17	1,43
AD, MO	1,43	1,37	1,49	-	1,43	1,67	1,10	1,17	1,35	1,35	1,22	1,00	1,22	1,00	1,43
GE, EK ve CO ₂	1,51	1,37	1,49	1,29	-	1,10	1,00	1,00	1,10	1,22	1,00	1,10	1,17	1,00	1,49
GD, GK	1,67	1,67	1,64	1,22	1,49	-	1,35	1,22	1,35	1,22	1,22	1,22	1,22	1,00	1,57
AMO	1,64	2,12	1,92	2,52	1,92	1,67	-	1,43	2,03	2,58	1,57	1,43	1,43	1,10	1,74
TEŞ	1,81	2,38	1,92	2,48	1,92	1,84	1,35	-	1,92	1,64	1,57	1,51	1,51	1,10	1,67
İY	1,81	1,29	1,49	1,57	1,49	1,43	1,00	1,00	-	1,29	1,00	1,00	1,29	1,00	1,49
SKD	1,74	1,17	1,49	1,57	1,29	1,22	1,00	1,00	1,35	-	1,00	1,00	1,29	1,10	1,43
CU	1,49	1,49	1,92	2,00	1,74	1,49	1,10	1,51	2,38	1,81	-	1,64	1,49	1,00	1,64
AKU	1,35	1,57	1,49	1,81	1,74	1,57	1,22	1,43	2,03	1,84	1,00	-	1,43	1,10	1,35
ÇE	1,43	1,64	1,81	2,03	1,35	1,29	1,29	1,51	2,03	2,16	1,29	1,51	-	1,10	2,03
KS	1,74	2,58	2,97	3,02	2,34	2,25	1,92	2,48	3,02	2,85	2,34	2,21	1,57	-	2,48
ÜİK	1,17	1,37	1,49	1,57	1,29	1,29	1,10	1,10	1,29	1,43	1,10	1,22	1,22	1,10	-

Toplam İlişki Matrisi- Normalize (Dematel)															
Kriterler	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
AKI	0,01	0,06	0,02	-0,01	0,03	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
TO	0,04	-0,01	-0,02	-0,05	0,03	0,02	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06
DB	0,05	0,05	0,01	-0,04	0,04	0,03	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05
AD, MO	0,03	0,02	0,02	-0,03	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
GE, EK ve CO ₂	0,03	0,02	0,01	-0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
GD, GK	0,03	0,03	0,02	-0,03	0,03	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
AMO	0,12	0,86	0,69	0,43	0,28	0,50	0,02	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05
TEŞ	0,03	0,12	0,01	0,44	0,02	0,11	0,12	0,07	0,12	0,11	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11
İY	0,11	-0,33	-0,14	0,02	-0,00	-0,09	0,09	0,08	0,05	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
SKD	0,19	0,14	0,18	0,01	0,19	0,12	0,05	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
CU	0,08	0,07	0,10	0,13	-0,04	-0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,08	0,13	0,12	0,12	0,12
AKU	0,17	-0,14	0,06	0,20	0,23	0,12	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,04	0,09	0,09	0,08
ÇE	0,04	0,02	0,00	-0,01	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,02	0,06	0,07
KS	0,06	0,05	0,02	-0,03	0,06	0,05	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,07	0,02	0,09
ÜİK	0,03	0,03	0,02	-0,02	0,03	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,01

Kriterler	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
AKI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07
TO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-
AD, MO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE, EK ve CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GD, GK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AMO	0,12	0,86	0,69	0,43	0,28	0,50	-	0,07	-	0,07	-	-	-	-	-
TEŞ	-	0,12	-	0,44	-	0,11	0,12	0,07	0,12	0,11	0,13	0,11	0,12	0,12	0,11
İY	0,11	-	-	-	-	-	0,09	0,08	-	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10
SKD	0,19	0,14	0,18	-	0,19	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CU	0,08	0,07	0,10	0,13	-	-	0,12	0,12	0,13	0,12	0,08	0,13	0,12	0,12	0,12
AKU	0,17	-	-	0,20	0,23	0,12	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	-	0,09	0,09	0,08
ÇE	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,07	-	-	-	-	0,07
KS	-	-	-	-	-	-	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,07	-	0,09
ÜİK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Gönderici ve Alıcı Gruplar (DEMATEL)										
Kriterler	i / j	Di	Ri	Di + Ri	Di - Ri	Gönderici	Alıcı	En çok ilişkili	Eşik Değeri Küme	Eşik Değeri Tümü
K1	1,00	0,66	1,00	1,66	-0,34	-	-0,34	-	0,02	0,07
K2	2,00	0,50	1,00	1,50	-0,50	-	-0,50	-		
K3	3,00	0,66	1,00	1,66	-0,34	-	-0,34	-		
K4	4,00	0,54	1,00	1,54	-0,46	-	-0,46	-		
K5	5,00	0,49	1,00	1,49	-0,51	-	-0,51	-		
K6	6,00	0,59	1,00	1,59	-0,41	-	-0,41	-		
K7	7,00	3,40	1,00	4,40	2,40	2,40	-	4,40	0,08	
K8	8,00	1,76	1,00	2,76	0,76	0,76	-	2,76	0,06	
K9	9,00	0,37	1,00	1,37	-0,63	-	-0,63	-		
K10	10,00	1,19	1,00	2,19	0,19	0,19	-	2,19	0,08	
K11	11,00	1,28	1,00	2,28	0,28	0,28	-	2,28		
K12	12,00	1,39	1,00	2,39	0,39	0,39	-	2,39		
K13	13,00	0,66	1,00	1,66	-0,34	-	-0,34	-	0,05	
K14	14,00	0,97	1,00	1,97	-0,03	-	-0,03	-		
K15	15,00	0,52	1,00	1,52	-0,48	-	-0,48	-		

Ek 3: ANP Çıktıları

DG için alternatiflerin karşılaştırması					
	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI
KÖ	1,00	0,54	0,48	0,14	0,32
GÜ	1,49	1,00	0,49	0,75	1,30
RÜ	1,69	5,83	1,00	0,49	0,61
JEO	2,52	1,66	1,08	1,00	2,61
AI	0,62	1,65	1,34	0,31	1,00

KÖ için alternatiflerin karşılaştırması					
	DG	GÜ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	1,37	1,01	0,63	1,16
GÜ	0,73	1,00	0,85	0,65	1,57
RÜ	0,99	1,59	1,00	0,56	0,79
JEO	0,86	1,18	1,54	1,00	2,42
AI	0,64	1,78	1,26	0,41	1,00

GÜ için alternatiflerin karşılaştırması					
	DG	KÖ	RÜ	JEO	AI
DG	1,00	3,07	0,61	0,44	0,74
KÖ	0,26	1,00	0,16	0,15	0,22
RÜ	1,32	1,85	1,00	0,77	1,44
JEO	1,10	5,08	5,39	1,00	2,38
AI	3,68	1,05	0,56	0,34	1,00

RÜ için alternatiflerin karşılaştırması					
	DG	KÖ	GÜ	JEO	AI
DG	1,00	3,59	0,61	0,44	0,72
KÖ	0,23	1,00	0,19	0,23	0,35
GÜ	1,32	1,82	1,00	0,71	2,03
JEO	1,13	4,37	3,54	1,00	3,07
AI	2,33	1,14	0,40	0,26	1,00

JEO için alternatiflerin karşılaştırması					
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	AI
DG	1,00	4,20	0,93	0,86	1,03
KÖ	0,19	1,00	0,19	0,20	0,32
GÜ	0,87	0,94	1,00	0,77	1,32
RÜ	0,79	4,34	4,06	1,00	1,10
AI	2,56	1,05	0,61	0,73	1,00

AI için alternatiflerin karşılaştırması					
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO
DG	1,00	4,75	1,12	1,07	0,51
KÖ	0,17	1,00	0,24	0,23	0,22
GÜ	0,72	0,75	1,00	0,71	1,06
RÜ	1,57	3,42	3,47	1,00	0,99
JEO	3,63	1,14	0,77	0,82	1,00

DG için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,86	2,33	1,63	3,85	1,96
TO	0,54	1,00	2,75	2,30	3,19	1,64
DB	0,43	0,61	1,00	1,51	1,28	1,35
AD, MO	0,26	0,51	0,36	1,00	1,52	1,74
GE, EK ve CO ₂	0,44	0,31	0,61	0,66	1,00	0,76
GD, GK	0,78	0,35	0,73	0,99	1,59	1,00

KÖ için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	0,51	0,65	1,29	2,76	1,19
TO	0,83	1,00	1,05	0,48	2,17	1,17
DB	0,65	0,33	1,00	0,39	1,04	0,41
AD, MO	0,15	0,35	0,40	1,00	2,84	2,07
GE, EK ve CO ₂	0,87	0,19	0,36	1,09	1,00	0,54
GD, GK	0,41	3,67	3,89	2,66	0,76	1,00

GÜ için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,40	1,23	1,47	1,52	1,29
TO	0,71	1,00	1,23	1,69	1,73	3,75
DB	0,82	0,68	1,00	1,69	1,57	2,16
AD, MO	0,66	0,77	0,81	1,00	1,83	4,53
GE, EK ve CO ₂	0,59	0,58	0,27	0,59	1,00	1,08
GD, GK	0,64	0,29	0,21	0,97	1,04	1,00

RÜ için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	0,21	0,25	1,06	0,62	1,74
TO	1,84	1,00	0,43	1,25	0,71	2,68
DB	1,52	0,36	1,00	0,91	0,99	0,99
AD, MO	0,62	0,22	0,88	1,00	0,98	1,63
GE, EK ve CO ₂	0,31	0,54	0,14	0,42	1,00	0,86
GD, GK	0,39	2,35	2,39	2,50	0,79	1,00

JEO için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	0,73	1,61	0,65	1,50	1,48
TO	1,11	1,00	1,41	2,63	2,54	3,69
DB	0,50	1,24	1,00	0,66	1,14	0,76
AD, MO	0,54	0,55	0,57	1,00	3,45	3,33
GE, EK ve CO ₂	0,31	0,32	0,22	1,22	1,00	0,35
GD, GK	0,71	0,60	0,70	0,67	0,59	1,00

AI için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,70	1,81	1,97	2,10	0,41
TO	0,48	1,00	2,25	1,56	2,16	2,60
DB	0,45	0,41	1,00	0,98	1,05	1,52
AD, MO	0,39	1,98	0,36	1,00	2,12	1,36
GE, EK ve CO ₂	0,52	0,37	0,31	0,83	1,00	0,50
GD, GK	0,77	1,51	0,56	1,42	0,21	1,00

DG için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,91
TEŞ	0,52	1,00

KÖ için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,11
TEŞ	0,90	1,00

GÜ için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,88
TEŞ	1,13	1,00

RÜ için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,82
TEŞ	1,21	1,00

JEO için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,44
TEŞ	0,69	1,00

AI için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,94
TEŞ	1,06	1,00

DG için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,95
SKD	1,05	1,00

KÖ için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	1,91
SKD	0,52	1,00

GÜ için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,84
SKD	1,19	1,00

RÜ için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,91
SKD	1,10	1,00

JEO için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	1,59
SKD	0,63	1,00

AI için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	1,03
SKD	0,97	1,00

DG için üretim kriterlerin karşılaştırması		
	KS	ÜİK
KS	1,00	1,33
ÜİK	0,75	1,00

KÖ için üretim kriterlerin karşılaştırması		
	KS	ÜİK
KS	1,00	1,65
ÜİK	0,61	1,00

GÜ için üretim kriterlerin karşılaştırması		
	KS	ÜİK
KS	1,00	3,93
ÜİK	0,25	1,00

RÜ için üretim kriterlerin karşılaştırması		
	KS	ÜİK
KS	1,00	3,81
ÜİK	0,26	1,00

JEO için üretim kriterlerin karşılaştırması		
	KS	ÜİK
KS	1,00	4,00
ÜİK	0,25	1,00

AI için üretim kriterlerin karşılaştırması		
	KS	ÜİK
KS	1,00	2,20
ÜİK	0,45	1,00

DG için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AK	ÇE
CU	1,00	0,52	1,13
AK	1,91	1,00	2,29
ÇE	0,88	0,44	1,00

KÖ için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AK	ÇE
CU	1,00	2,99	3,41
AK	0,33	1,00	1,53
ÇE	0,29	0,65	1,00

GÜ için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AK	ÇE
CU	1,00	6,43	1,44
AK	0,15	1,00	0,67
ÇE	0,66	1,44	1,00

RÜ için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AK	ÇE
CU	1,00	4,07	4,77
AK	0,25	1,00	2,68
ÇE	0,21	0,37	1,00

JEO için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AK	ÇE
CU	1,00	2,83	3,26
AK	0,35	1,00	2,00
ÇE	0,31	0,50	1,00

AI için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AK	ÇE
CU	1,00	0,88	0,45
AK	1,14	1,00	0,55
ÇE	2,21	1,81	1,00

AKI için teknolojik kriterlerin karşılaştırması					
	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
TO	1,00	3,17	2,47	1,30	1,98
DB	0,32	1,00	0,74	0,99	1,08
AD, MO	0,40	0,77	1,00	1,01	1,76
GE, EK ve CO ₂	0,50	1,35	1,01	1,00	0,51
GD, GK	0,93	0,99	0,57	1,95	1,00

TO için teknolojik kriterlerin karşılaştırması					
	AKI	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	3,31	2,52	3,51	2,15
DB	0,24	1,00	0,99	0,68	0,32
AD, MO	0,32	0,23	1,00	1,35	0,94
GE, EK ve CO ₂	0,38	0,82	1,19	1,00	0,63
GD, GK	2,52	0,60	0,86	1,28	1,00

DB için teknolojik kriterlerin karşılaştırması					
	AKI	TO	AD, MO	GE, EK VE CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,84	2,47	3,06	2,19
TO	0,46	1,00	2,35	4,75	3,09
AD, MO	0,34	0,28	1,00	3,89	0,93
GE, EK ve CO ₂	0,39	0,36	0,18	1,00	0,26
GD, GK	0,27	0,22	0,91	3,28	1,00

AD, MO için teknolojik kriterlerin karşılaştırması					
	AKI	TO	DB	GE, EK VE CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	2,79	6,09	3,67	3,53
TO	0,36	1,00	4,08	2,51	2,46
DB	0,16	0,27	1,00	1,10	1,12
GE, EK ve CO ₂	0,28	0,24	0,40	1,00	0,48
GD, GK	0,41	0,91	0,89	2,10	1,00

GE ve EK ve CO ₂ için teknolojik kriterlerin karşılaştırması					
	AKI	TO	DB	AD, MO	GD, GK
AKI	1,00	1,37	2,39	3,06	2,51
TO	0,53	1,00	3,71	1,97	2,66
DB	0,30	0,24	1,00	0,26	0,39
AD, MO	0,29	0,19	0,37	1,00	1,50
GD, GK	0,27	2,83	1,86	0,48	1,00

GD, GK için teknolojik kriterlerin karşılaştırması					
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂
AKI	1,00	1,05	2,00	2,07	3,05
TO	0,73	1,00	2,28	1,06	1,65
DB	0,38	0,37	1,00	0,23	0,65
AD, MO	0,25	0,33	0,71	1,00	1,87
GE, EK ve CO ₂	0,46	3,34	1,17	0,41	1,00

AMO için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,43	1,87	1,38	4,27	1,70
TO	0,70	1,00	2,82	2,14	3,12	1,69
DB	0,53	0,73	1,00	0,97	1,61	1,61
AD, MO	0,23	0,59	0,35	1,00	3,50	2,39
GE, EK ve CO ₂	0,47	0,32	0,59	1,03	1,00	0,34
GD, GK	0,62	0,62	0,29	0,42	2,90	1,0

TEŞ için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	0,64	1,21	0,99	1,95	1,27
TO	1,57	1,00	1,95	3,65	5,00	3,22
DB	0,83	1,02	1,00	1,25	1,32	1,22
AD, MO	0,51	0,79	0,51	1,00	3,52	2,43
GE, EK ve CO ₂	0,27	0,20	0,31	0,80	1,00	0,35
GD, GK	0,76	0,82	0,28	0,41	2,83	1,00

İY için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	0,90	1,28	0,69	2,26	0,74
TO	0,71	1,00	1,94	0,98	2,13	1,32
DB	0,50	0,93	1,00	0,45	0,71	0,45
AD, MO	0,28	0,86	0,33	1,00	3,04	2,45
GE, EK ve CO ₂	0,66	0,30	0,48	1,41	1,00	0,35
GD, GK	0,90	1,41	0,21	0,26	1,83	1,00

SKD için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,85	2,77	1,50	2,09	1,78
TO	0,49	1,00	1,35	0,49	1,40	1,25
DB	0,33	0,60	1,00	0,98	0,64	0,41
AD, MO	0,43	0,51	0,67	1,00	1,45	0,95
GE, EK ve CO ₂	1,83	0,65	0,72	0,93	1,00	0,56
GD, GK	1,42	2,18	0,62	0,95	1,61	1,00

CU için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	2,81	1,10	1,42	3,29	3,17
TO	0,29	1,00	1,41	1,28	3,67	2,99
DB	0,73	0,57	1,00	0,94	1,49	0,88
AD, MO	0,25	0,26	0,57	1,00	2,67	2,48
GE, EK ve CO ₂	0,63	0,22	0,27	0,86	1,00	0,44
GD, GK	0,55	0,92	0,30	0,33	1,83	1,00

AKU için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	0,43	2,04	1,44	2,30	1,16
TO	1,50	1,00	4,37	2,80	1,85	2,28
DB	0,31	0,45	1,00	0,18	0,50	0,36
AD, MO	0,28	0,55	0,15	1,00	1,78	1,41
GE, EK ve CO ₂	0,23	0,35	0,28	3,47	1,00	0,71
GD, GK	1,29	1,80	0,36	0,45	0,90	1,00

ÇE için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	2,65	3,85	3,18	0,58	0,90
TO	0,24	1,00	3,28	1,28	0,62	0,34
DB	0,17	0,20	1,00	0,23	0,20	0,21
AD, MO	1,09	0,71	0,20	1,00	0,49	0,49
GE, EK ve CO ₂	0,50	1,03	1,88	2,73	1,00	0,77
GD, GK	3,27	3,00	1,30	1,31	0,84	1,00

KS için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	2,04	1,04	2,23	2,03	0,71
TO	0,49	1,00	0,71	1,87	1,33	0,96
DB	0,96	0,45	1,00	1,06	1,06	0,85
AD, MO	0,49	1,40	1,40	1,00	0,76	0,67
GE, EK ve CO ₂	0,53	0,75	1,04	0,94	1,00	0,27
GD, GK	0,94	1,18	1,31	1,50	3,68	1,00

ÜİK için teknolojik kriterlerin karşılaştırması						
	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK
AKI	1,00	1,77	3,16	2,44	4,37	3,11
TO	0,36	1,00	2,75	2,88	4,09	2,43
DB	0,20	0,26	1,00	0,54	0,71	0,48
AD, MO	0,15	0,21	0,23	1,00	2,36	0,84
GE, EK ve CO ₂	0,22	0,16	0,26	1,18	1,00	0,31
GD, GK	0,91	1,33	0,27	0,76	2,08	1,00

AKI için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	2,39
TEŞ	0,42	1,00

TO için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,02
TEŞ	0,98	1,00

DB için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,40
TEŞ	0,71	1,00

AD, MO için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,88
TEŞ	0,53	1,00

GE, EK ve CO ₂ için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,92
TEŞ	1,09	1,00

GD, GK için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	1,96
TEŞ	0,51	1,00

AMO için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	0	1,00
TEŞ	1,00	0

TEŞ için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	0	1,00
TEŞ	1,00	0

İY için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,70
TEŞ	1,42	1,00

SKD için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,33
TEŞ	3,03	1,00

CU için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,87
TEŞ	1,15	1,00

AKU için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	2,50
TEŞ	0,40	1,00

ÇE için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	0,84
TEŞ	1,20	1,00

KS için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	3,26
TEŞ	0,31	1,00

ÜİK için ekonomik kriterlerin karşılaştırması		
	AMO	TEŞ
AMO	1,00	2,11
TEŞ	0,47	1,00

AKI için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,85
SKD	1,17	1,00

TO için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,92
SKD	1,09	1,00

DB için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	1,10
SKD	0,91	1,00

AD, MO için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	1,45
SKD	0,69	1,00

GE, EK ve CO₂ için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,54
SKD	1,84	1,00

GD, GK için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,57
SKD	1,76	1,00

AMO için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	2,23
SKD	0,45	1,00

TEŞ için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	2,92
SKD	0,34	1,00

İY için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	0	1,00
SKD	1,00	0

SKD için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	0	1,00
SKD	1,00	0

CU için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,68
SKD	1,47	1,00

AKU için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,71
SKD	1,41	1,00

ÇE için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,44
SKD	2,27	1,00

KS için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,81
SKD	1,23	1,00

ÜİK için sosyal kriterlerin karşılaştırması		
	İY	SKD
İY	1,00	0,91
SKD	1,10	1,00

AKI için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	0,50	0,96
AKU	1,98	1,00	1,81
ÇE	1,04	0,55	1,00

TO için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,39	0,99
AKU	0,72	1,00	2,16
ÇE	1,01	0,46	1,00

DB için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	3,47	3,89
AKU	0,29	1,00	2,19
ÇE	0,26	0,46	1,00

AD, MO için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,39	1,49
AKU	0,72	1,00	1,26
ÇE	0,67	0,79	1,00

GE, EK ve CO ₂ için çevresel kriter karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,26	0,44
AKU	0,79	1,00	0,28
ÇE	2,28	3,56	1,00

GD, GK için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,85	0,54
AK	0,54	1,00	0,54
ÇE	1,85	1,85	1,00

AMO için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,77	2,10
AKU	0,57	1,00	2,26
ÇE	0,48	0,44	1,00

TEŞ için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,90	1,04
AKU	0,53	1,00	0,89
ÇE	0,96	1,12	1,00

İY için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	1,22	1,21
AKU	0,82	1,00	1,15
ÇE	0,83	0,87	1,00

SKD için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	2,80	0,72
AKU	0,36	1,00	0,70
ÇE	1,39	1,43	1,00

KS için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	5,06	5,41
AKU	0,20	1,00	1,79
ÇE	0,18	0,56	1,00

ÜİK için çevresel kriterlerin karşılaştırması			
	CU	AKU	ÇE
CU	1,00	2,63	1,53
AKU	0,38	1,00	1,10
ÇE	0,65	0,91	1,00

CU için çevresel kriterlerin karşılaştırması		
	AKU	ÇE
AKU	1,00	1,93
ÇE	0,52	1,00

AKU için çevresel kriterlerin karşılaştırması		
	CU	ÇE
CU	1,00	3,54
ÇE	0,28	1,00

ÇE için çevresel kriterlerin karşılaştırması		
	CU	AKU
CU	1,00	1,63
AKU	0,62	1,00

Alternatifler için düğüm karşılaştırmaları					
	TEK	EKO	SOS	ÇEV	ÜRE
TEK	1,00	0,64	3,15	0,79	0,26
EKO	1,26	1,00	1,92	0,95	1,20
SOS	0,26	1,03	1,00	0,33	0,23
ÇEV	3,15	0,42	0,85	1,00	0,75
ÜRE	0,67	2,44	3,59	1,08	1,00

Teknolojik kriterler için düğüm karşılaştırmaları					
	ALT	EKO	SOS	ÇEV	ÜRE
ALT	1,00	0,20	1,14	1,29	0,29
EKO	3,56	1,00	4,83	1,66	1,48
SOS	0,64	0,56	1,00	0,45	0,20
ÇEV	2,50	0,15	0,44	1,00	0,47
ÜRE	0,49	1,60	3,59	1,55	1,00

Ekonomik kriterler için düğüm karşılaştırmaları					
	ALT	TEK	SOS	ÇEV	ÜRE
ALT	1,00	0,43	1,85	0,95	0,33
TEK	1,48	1,00	4,49	2,51	0,99
SOS	0,35	0,67	1,00	0,35	0,19
ÇEV	1,94	0,14	0,25	1,00	0,26
ÜRE	0,65	1,85	3,33	2,46	1,00

Sosyal kriterler için düğüm karşılaştırmaları					
	ALT	TEK	EKO	ÇEV	ÜRE
ALT	1,00	0,54	0,37	0,28	0,88
TEK	1,67	1,00	0,58	0,32	1,16
EKO	2,45	3,22	1,00	0,42	1,52
ÇEV	1,02	1,54	2,80	1,00	1,74
ÜRE	0,78	2,16	0,59	0,52	1,00

Çevresel kriterler için düğüm karşılaştırmaları					
	ALT	TEK	EKO	SOS	ÜRE
ALT	1,00	0,37	0,62	0,59	0,49
TEK	1,73	1,00	3,38	1,59	2,92
EKO	1,04	1,08	1,00	0,40	0,40
SOS	1,30	0,19	0,40	1,00	0,86
ÜRE	0,22	1,59	1,61	0,74	1,00

Üretim kriterleri için düğüm karşılaştırmaları					
	ALT	TEK	EKO	SOS	ÇEV
ALT	1,00	0,34	0,36	3,73	1,28
TEK	2,36	1,00	1,33	4,61	2,50
EKO	2,25	0,22	1,00	3,43	2,76
SOS	0,63	0,61	0,18	1,00	0,53
ÇEV	0,32	0,24	0,29	1,52	1,00

Normalize Küme Matrisi (ANP)						
	ALT	TEK	EKO	SOS	ÇEV	ÜRE
ALT	-	0,14	0,21	0,26	0,12	0,38
TEK	0,17	-	0,48	-	0,39	-
EKO	0,23	0,43	-	-	0,15	0,62
SOS	0,09	0,11	0,13	-	0,15	-
ÇEV	0,22	-	0,19	0,74	-	-
ÜRE	0,29	0,32	-	-	0,20	-

Ağırlıklandırılmamış Süpermatris Ağ Yapılı (ANP)																					
	ALT						TEK						EKO		SOS		ÇEV			ÜRE	
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
DG	1,00	0,19	0,15	0,23	0,23	0,23	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	0,15	0,15	0,05	0,23	0,16	0,08	0,19	0,06	0,14	0,10
KÖ	2,00	-	0,05	0,05	0,05	0,05	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	0,12	0,13	0,08	0,38	0,08	0,07	0,07	0,03	0,12	0,08
GÜ	1,00	0,18	-	0,17	0,18	0,16	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	-	0,11	0,31	0,06	0,23	0,28	0,10	0,27	0,19	0,21
RÜ	2,00	0,19	0,20	-	0,33	0,32	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,14	0,28	0,06	0,18	0,25	0,16	0,30	0,20	0,23
JEO	0,31	0,26	0,41	0,39	-	0,24	0,20	0,13	0,28	0,17	0,24	0,20	0,17	0,20	0,07	0,21	0,19	0,33	0,27	0,19	0,22
AI	0,17	0,18	0,19	0,16	0,21	-	0,16	0,15	0,13	0,19	0,10	0,19	0,30	0,08	0,21	0,13	0,14	0,15	0,06	0,15	0,16
AKI	0,29	0,18	0,21	0,12	0,18	0,23	-	0,41	0,35	0,45	0,34	0,32	-	0,16	-	-	0,30	0,19	0,25	-	-
TO	0,24	0,16	0,22	0,21	0,29	0,24	0,34	-	0,30	0,24	0,28	0,23	-	0,34	-	-	-	0,32	0,14	-	-
DB	0,14	0,10	0,18	0,16	0,14	0,13	0,14	0,10	-	0,09	0,07	0,09	-	0,16	-	-	0,15	-	0,05	-	-
AD, MO	0,11	0,15	0,19	0,14	0,19	0,17	0,17	0,12	0,15	-	0,11	0,14	-	0,16	-	-	0,14	0,12	0,11	-	-
GE, EK ve CO₂	0,09	0,11	0,10	0,09	0,08	0,09	0,15	0,13	0,08	0,07	-	0,22	-	0,06	-	-	-	-	0,19	-	-
GD, GK	0,13	0,31	-	-	0,11	0,14	0,20	0,23	0,13	0,15	0,20	-	-	0,12	-	-	-	-	0,27	-	-
AMO	0,66	0,53	0,47	0,45	0,59	0,49	0,71	0,50	0,58	0,65	-	0,66	-	1,00	-	-	0,47	0,71	0,46	0,77	0,68
TEŞ	0,34	0,47	0,53	0,55	0,41	0,51	-	0,50	0,42	0,35	-	0,34	1,00	-	-	-	0,53	-	0,54	0,23	0,32
İY	0,49	0,66	0,46	0,48	0,61	0,51	-	-	0,52	-	-	-	-	0,74	-	1,00	0,40	-	0,31	-	-
SKD	0,51	0,34	0,54	0,52	0,39	0,49	-	-	-	-	-	-	-	0,26	1,00	-	0,60	-	0,69	-	-
CU	0,26	0,61	0,58	0,67	0,59	0,23	-	-	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	0,78	0,62	-	-
AKU	0,51	0,23	0,14	0,22	0,25	0,27	-	-	-	-	-	-	-	0,25	-	-	0,66	-	0,38	-	-
ÇE	0,23	0,16	0,28	0,11	0,15	0,50	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,30	0,40	0,34	0,22	-	-	-
KS	0,57	0,62	0,80	0,79	0,80	0,69	-	-	0,78	0,48	-	0,62	-	-	-	-	0,79	0,65	-	-	-
ÜİK	0,43	0,38	0,20	0,21	0,20	0,31	0,42	0,41	0,22	0,52	-	0,38	-	-	-	-	0,21	0,35	-	-	-

Ağ Yapısı (ANP)																					
	ALT						TEK						EKO		SOS		ÇEV			ÜRE	
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
DG	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KÖ	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GÜ	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
RÜ	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
JEO	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AI	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AKI	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	-	1	-	-	1	1	1	-	-
TO	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	-	1	-	-	-	1	1	-	-
DB	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	-	1	-	-	1	-	1	-	-
AD, MO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	-	1	-	-	1	1	1	-	-
GE, EK ve CO ₂	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-
GD, GK	1	1	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
AMO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1
TEŞ	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	-	-	-	1	-	1	1	1
İY	1	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	1	-	1	-	-
SKD	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	-
CU	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	-
AKU	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-
ÇE	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	-	-
KS	1	1	1	1	1	1	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-
ÜİK	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-

Ağırlıklandırılmış Süpermatris (ANP)																					
	ALT						TEK						EKO		SOS		ÇEV			ÜRE	
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
DG	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,27	0,27	0,14	0,02	0,03	0,01	0,06	0,04	0,01	0,02	0,01	0,05	0,04
KÖ	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,27	0,14	0,14	0,02	0,03	0,02	0,10	0,02	0,01	0,01	0,00	0,05	0,03
GÜ	-	-	-	-	-	-	0,14	0,27	0,27	0,14	0,14	-	0,02	0,07	0,02	0,06	0,03	0,01	0,03	0,07	0,08
RÜ	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	-	0,03	0,06	0,02	0,05	0,03	0,02	0,04	0,08	0,09
JEO	-	-	-	-	-	-	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,04	0,03	0,07	0,08
AI	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,06	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,06	0,06
AKI	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,11	0,07	0,10	-	-
TO	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	0,16	-	-	-	0,12	0,05	-	-
DB	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,06	-	0,02	-	-
AD, MO	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,05	0,05	0,04	-	-
GE, EK ve CO ₂	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	0,07	-	-
GD, GK	0,02	0,05	-	-	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	0,10	-	-
AMO	0,15	0,12	0,11	0,10	0,13	0,11	0,31	0,22	0,25	0,28	-	0,29	-	-	-	-	0,07	0,11	0,07	0,47	0,42
TEŞ	0,08	0,11	0,12	0,13	0,09	0,12	-	0,22	0,18	0,15	-	0,15	-	-	-	-	0,08	-	0,08	0,14	0,20
İY	0,05	0,06	0,04	0,04	0,06	0,05	-	-	0,06	-	-	-	-	0,09	-	-	0,06	-	0,04	-	-
SKD	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	0,09	-	0,10	-	-
CU	0,06	0,14	0,13	0,15	0,13	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-
AKU	0,11	0,05	0,03	0,05	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-
ÇE	0,05	0,04	0,06	0,02	0,03	0,11	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,22	0,30	-	-	-	-	-
KS	0,16	0,18	0,23	0,23	0,23	0,20	-	-	0,25	0,16	-	0,20	-	-	-	-	0,16	0,13	-	-	-
ÜİK	0,12	0,11	0,06	0,06	0,06	0,09	0,13	0,13	0,07	0,17	-	0,12	-	-	-	-	0,04	0,07	-	-	-

Etki Diyagramı (AHP ve DEMATEL)															
Kriterler	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
AKI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	-
TO	0,07	-	-	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	-	-	-	0,08	0,07	0,07	-
DB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AD, MO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE, EK ve CO ₂	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
GD, GK	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	-	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
AMO	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	-	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
TEŞ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
İY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SKD	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	-	0,08	0,07	0,07	0,07
CU	-	0,07	-	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	-	-	0,07	0,07	-
AKU	0,07	0,07	0,07	0,07	-	-	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	-	0,07	0,08
ÇE	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	-	0,10
KS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ÜİK	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Gönderici ve Alıcı Gruplar (AHP ve DEMATEL)										
Kriterler	i / j	Di	Ri	Di + Ri	Di - Ri	Gönderici	Alıcı	En çok ilişkili	Eşik Değeri Küme	Eşik Değeri Tümü
K1	1	1,0	1,0	2,0	0,0	-	-0,02	1,98	0,0617	0,0667
K2	2	0,9	1,0	1,9	-0,1	-	-0,08	1,92		
K3	3	1,0	1,0	2,0	0,0	0,01	-	2,01		
K4	4	0,9	1,0	1,9	-0,1	-	-0,13	1,87		
K5	5	0,8	1,0	1,8	-0,2	-	-0,19	1,81		
K6	6	0,9	1,0	1,9	-0,1	-	-0,09	1,91		
K7	7	1,2	1,0	2,2	0,2	0,16	-	2,16	0,0599	
K8	8	1,1	1,0	2,1	0,1	0,14	-	2,14		
K9	9	0,9	1,0	1,9	-0,1	-	-0,14	1,86	0,0612	
K10	10	0,8	1,0	1,8	-0,2	-	-0,16	1,84		
K11	11	1,1	1,0	2,1	0,1	0,06	-	2,06	0,0751	
K12	12	1,0	1,0	2,0	0,0	-	-0,02	1,98		
K13	13	1,1	1,0	2,1	0,1	0,05	-	2,05		
K14	14	1,6	1,0	2,6	0,6	0,55	-	2,55	0,5245	
K15	15	0,9	1,0	1,9	-0,1	-	-0,15	1,85		

Ağırlıklandırılmış Süpermatris (DEMATEL ve ANP)																					
	ALT						TEK						EKO		SOS		ÇEV			ÜRE	
	DG	KÖ	GÜ	RÜ	JEO	AI	AKI	TO	DB	AD, MO	GE, EK ve CO ₂	GD, GK	AMO	TEŞ	İY	SKD	CU	AKU	ÇE	KS	ÜİK
DG	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,27	0,27	0,14	0,02	0,03	0,01	0,06	0,04	0,01	0,02	0,01	0,05	0,04
KÖ	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,27	0,14	0,14	0,02	0,03	0,02	0,10	0,02	0,01	0,01	0,00	0,05	0,03
GÜ	-	-	-	-	-	-	0,14	0,27	0,27	0,14	0,14	-	0,02	0,07	0,02	0,06	0,03	0,01	0,03	0,07	0,08
RÜ	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	-	0,03	0,06	0,02	0,05	0,03	0,02	0,04	0,08	0,09
JEO	-	-	-	-	-	-	0,03	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,05	0,02	0,04	0,03	0,07	0,08
AI	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,06	0,02	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,06	0,06
AKI	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,11	0,07	0,10	-	-
TO	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	0,16	-	-	-	0,12	0,05	-	-
DB	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,06	-	0,02	-	-
AD, MO	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	0,05	0,05	0,04	-	-
GE, EK ve CO ₂	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	0,07	-	-
GD, GK	0,02	0,05	-	-	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	0,10	-	-
AMO	0,15	0,12	0,11	0,10	0,13	0,11	0,31	0,22	0,25	0,28	-	0,29	-	-	-	-	0,07	0,11	0,07	0,47	0,42
TEŞ	0,08	0,11	0,12	0,13	0,09	0,12	-	0,22	0,18	0,15	-	0,15	-	-	-	-	0,08	-	0,08	0,14	0,20
İY	0,05	0,06	0,04	0,04	0,06	0,05	-	-	0,06	-	-	-	-	0,09	-	-	0,06	-	0,04	-	-
SKD	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	0,09	-	0,10	-	-
CU	0,06	0,14	0,13	0,15	0,13	0,05	-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-
AKU	0,11	0,05	0,03	0,05	0,06	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-
ÇE	0,05	0,04	0,06	0,02	0,03	0,11	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,22	0,30	-	-	-	-	-
KS	0,16	0,18	0,23	0,23	0,23	0,20	-	-	0,25	0,16	-	0,20	-	-	-	-	0,16	0,13	-	-	-
ÜİK	0,12	0,11	0,06	0,06	0,06	0,09	0,13	0,13	0,07	0,17	-	0,12	-	-	-	-	0,04	0,07	-	-	-

