



AKILLI ŞEBEKELERDE RİSK ANALİZİ

İlter Şahin AKTAŞ

DOKTORA TEZİ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MART 2020

İlter Şahin AKTAŞ tarafından hazırlanan “AKILLI ŞEBEKELERDE RİSK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Tayfun MENLİK

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Şerafettin EREL

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım
Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ataollah KHANLARI

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 17/03/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
İlter Şahin AKTAŞ
17/03/2020

AKILLI ŞEBEKELERDE RİSK ANALİZİ
(Doktora Tezi)

İlter Şahin AKTAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2020

ÖZET

Akıllı şebekeler, kompleks sistemler olması sebebiyle, yeni bir takım önemli riskler barındırmaktadır. Bu yüzden, akıllı şebekelerin risk yönetiminin önemi daha fazla artmakta ve risklerin bilimsel bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, akıllı şebekelerde yer alabilecek risklerin için detaylı bir Risk Değerlendirme Endeks çerçevesi oluşturulmuş, bu çerçevede oluşturulan riskler ayrı başlıklar halinde Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemlerinden biri olan Chang'ın Genişletilmiş Analiz Metodu ile çözümlenerek sistemdeki en riskli ve risksiz noktalar belirlenmiştir. Uygulamada oluşturulan karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları kontrol edilerek, bulunan değerlerin doğruluğu test edilmiştir. Ayrıca, kullanılan üç farklı metodun (Chang, Geliştirilmiş Entegral Değer, Kuadratik Ortalama) karşılaştırılmaları yapılarak aralarındaki farklar anlatılmıştır. Güvenlik riskleri ve Teknolojik riskler, ana risk başlıkları arasında, sırasıyla %33'lük ve %29'luk oranlarıyla, en önemli risk başlıkları olarak bulunmuştur. Elektrik arzı güvenliği ise, ara risk grupları arasında, uygulanan üç yöntemde de en riskli başlık olarak elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 90502
Anahtar Kelimeler : Akıllı Şebekeler, Risk analizi, Bulanık sayılar
Sayfa Adedi : 197
Danışman : Prof. Dr. Tayfun MENLİK

RISK ANALYSIS OF SMART GRIDS

(Ph. D. Thesis)

İlter Şahin AKTAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2020

ABSTRACT

In smart grid systems, a comprehensive risk analysis is required to be able to transfer supply of energy continuous and secure. In this study, an advanced, multiple and detailed Risk Assessment Index Framework has been established for a smart grid system. Risks are constituted as Financial, Security, Environmental, Technological and Management Risks. The significance of the risks are determined by using Chang's Fuzzy Analytic Hierarchy Process (BAHP) Method, Enhanced Integral Value and Quadratic Mean Method. Security risks and Technological risks were found to be the significant risk titles, with 33% and 29%, respectively. Electricity supply security was obtained as the most risky title among other sub-risk groups in all three methods.

Science Code : 90502

Key Words : Smart grids, Risk assesment, Fuzzy numbers, Fuzzy ranking

Page Number : 197

Supervisor : Prof. Dr. Tayfun MENLIK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında bana desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez hocam Prof. Dr. Tayfun MENLİK'e ve Prof. Dr. Adnan SÖZEN'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım. Hayatım boyunca yaptığım her işte yanımda olan, beni destekleyen, yapıcı eleştirileriyle olgunlaşmamda büyük pay sahibi olan ve en iyi şekilde yetiştirmeye çalışan değerli anneme ve babama, hayatı paylaştığım ve yaşamdaki diğer bir sevinç kaynağım olan sevgili ve çok kıymetli eşim Yiwei CHEN'e teşekkürü borç bilirim. Bu çalışmayı, tez çalışmalarım sırasında kaybettiğim annem Fatoş AKTAŞ'a adadığımı bilinmesini isterim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ	7
3.1. AHP Nasıl Çalışır?	8
3.2. AHP ve Özellikleri.....	8
3.3. Ağırlıklar ve Tutarlılık İçin Öz Vektör Çözümü.....	13
3.4. Geometrik Ortalama Metodu	14
3.5. Tutarlılık İndeksi ve Tutarlılık Oranı	14
3.6. Bireysel ve Grup Kararlarının Toplanması	15
3.6.1. Toplu karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı	17
3.6.2. Bireysel yargıların toplanması (AIJ).....	18
3.6.3. Bireysel önceliklerin toplanması (AIP).....	18
3.7. Ağırlıklı Aritmetik, Geometrik Ortalama ve Karar Vericilerin Önem Derecesi.....	19
3.8. AIJ ve AIP ile İlgili Çözüm Metotları.....	19
3.8.1. Ağırlıklı aritmetik ortalama metodu ile hesaplama (WAMM)	19

Sayfa

3.8.2. Geometrik ortalama metodu ile hesaplama (WGMM)	20
4. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (BAHP)	21
4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP).....	21
4.2. Bulanık Mantık.....	21
4.3. Bulanık Küme Teorisi	22
4.4. Bulanık Küme Teorisi ve Üyelik Fonksiyonları	24
4.4.1. Üçgensel (Triangular) üyelik fonksiyonları	27
4.5. Bulanık Sayılar.....	28
4.6. Üçgensel Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler	31
4.7. Üçgensel Bulanık Sayılarda Operasyonel İşlemler.....	33
4.8. Bulanık Sayıların Sıralanması.....	36
4.8.1. Geliştirilmiş integral değer metodu	38
4.8.2. Kuadratik ortalama metodu (RMS Metodu)	40
4.9. Bulanık Sayılarda Durulaştırma Nedir ve Nasıl Yapılır?	40
4.9.1. Maksimum üyelik prensibi.....	41
4.9.2. Ağırlık merkezi metodu	42
4.9.3. Ağırlıklı ortalama metodu.....	43
4.9.4. Ortalama maksimum üyelik	44
4.9.5. Derecelendirilmiş ortalama entegrasyon temsili yöntemi.....	45
4.10. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde Farklı Yaklaşımlar.....	47
4.10.1. Laarhoven ve pedrcyz yaklaşımı.....	47
4.10.2. Buckley yaklaşımı.....	50
4.10.3. Lootsma'nın logaritmik en küçük kare yöntemi	52
4.10.4. Genişletilmiş bulanık AHP analiz metodu.....	53

Sayfa

4.10.5. Mikhailov'un bulanık tercih programlama yöntemi	56
4.10.6. Mikhailov'un bulanık önceliklendirme metodu.....	59
4.11. Bulanık AHP'de kullanılan ölçekler	62
4.12. Dilsel değişkenler kullanılarak oluşturulan ölçekler ve bulanık karşılıkları.....	63
5. AKILLI ŞEBEKE SİSTEMLERİ	65
5.1. Akıllı Şebeke Nedir?	65
5.2. Mevcut Şebekedeki Durum ve Eksiklikler	66
5.3. Akıllı Şebeke Sisteminin Faydaları.....	68
5.3.1. Teknik faydalar	69
5.3.2. Çevresel faydalar.....	69
5.3.3. Elektrik Pazarlama Faydaları	70
5.4. ABD, AB ve Çin Ekseninde Ortaya Konulan Akıllı Şebeke Konsepti.....	71
5.5. Dünyadaki Akıllı İletim Ağları ile Akıllı Sayaç Kurulumuna Genel Bir Bakış	73
5.6. Akıllı Şebekelerin Önemi ve İçerdiği Unsurlar	77
5.6.1. Akıllı şebeke referans modeli.....	78
5.6.2. Akıllı şebeke altyapısı	80
6. AKILLI BİR ŞEBEKEDEN RİSKLER VE ANALİZİ	83
6.1. Akıllı Şebeke Değerlendirme Sistemleri.....	85
6.1.1. Akıllı şebeke olgunluk modeli	85
6.1.2. AB'nin Akıllı şebeke fayda değerlendirme sistemi	86
6.2. Risk Değerlendirme Sistemi Belirleme Esasları	89
6.3. Risk İndikatörlerinde Ana Kriterlerin Tanımlanması	91
6.3.1. Finansal riskler	91
6.3.2. Güvenlik riskleri.....	91

Sayfa

6.3.3. Çevresel riskler.....	91
6.3.4. Teknolojik riskler	92
6.3.5. Yönetimsel riskler	92
7. UYGULAMA.....	93
7.1. Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi	105
7.1.1. Finansal riskler	105
7.1.2. Güvenlik riskleri.....	113
7.1.3. Çevresel riskler.....	121
7.1.4. Teknolojik riskler	128
7.1.5. Yönetimsel riskler	135
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	143
8.1. Sonuçlar.....	143
8.2. Sıralama Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	149
8.3. Öneriler	152
KAYNAKLAR	155
EKLER	165
EK-1. Ana risk kriterleri için oluşturulan ikili karşılaştırma anket örneği	166
EK-2. Finansal riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği.....	171
EK-3. Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği.....	176
EK-4. Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği.....	181
EK-5. Teknolojik riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği.....	186
ÖZGEÇMİŞ	196

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Önem dereceleri, tanımları ve açıklamaları	10
Çizelge 3.2. Rassal tutarlılık indeksi.....	15
Çizelge 4.1 Farklı FAHP yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları	61
Çizelge 4.2. Karşılaştırma matrisleri için kullanılan dilsel değişkenler	62
Çizelge 4.3. Karşılaştırma matrisleri İçin kullanılan dilsel değişkenler	62
Çizelge 4.4. Karşılaştırma matrisleri için kullanılan dilsel değişkenler	63
Çizelge 5.1 Mevcut elektrik şebekesi ve akıllı şebeke arasındaki temel farklar	68
Çizelge 6.2. Akıllı şebeke olgunluk modeli (Smart Grid Maturity Model).....	86
Çizelge 6.3. AB akıllı şebeke fayda değerlendirme sistemi	88
Çizelge 8.1. Chang'ın metoduna göre önem sıralaması	143
Çizelge 8.2. Chang'ın metoduna göre alternatiflerin önem sıralaması.....	144
Çizelge 8.3. Geliştirilmiş entegral değer metoduna göre önem sıralamaları.....	145
Çizelge 8.4. Geliştirilmiş entegral değer metoduna göre alternatiflerin sıralamaları	146
Çizelge 8.5. Kuadratik ortalama metoduna göre alternatiflerin sıralamaları.....	147
Çizelge 8.6. Kuadratik ortalama metoduna göre alternatiflerin sıralamaları.....	148
Çizelge 8.7. Ana kriterler için sıralama metotlarının karşılaştırılması	149
Çizelge 8.8. Finansal riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması.....	149
Çizelge 8.9. Güvenlik riskleri için sıralama metotlarının karşılaştırılması	150
Çizelge 8.10. Çevresel riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması	151
Çizelge 8.11. Teknolojik riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması.....	151

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Sürekli risk yönetimi döngüsü	2
Şekil 3.1. AHP pozisyonunun gösterimi.....	8
Şekil 3.2. Hiyerarşik yapının genel gösterimi.....	9
Şekil 4.1. Örnek bir üyelik fonksiyonu	26
Şekil 4.2. Üçgensel Bulanık Sayı Gösterimi, $\tilde{M}$	28
Şekil 4.3. Konveks bulanık küme gösterimi	29
Şekil 4.4. Konveks olmayan bulanık küme gösterimi	30
Şekil 4.5. Üçgensel (triangular), yamuk (trapezodial) ve gaussian üyelik fonksiyonları ...	30
Şekil 4.6. A ve B Bulanık Kümelerinin Birleşimi	34
Şekil 4.7. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi.....	35
Şekil 4.8. $\tilde{A}$ Bulanık kümesinin tamamlayıcı (tümleyeni)	35
Şekil 4.9. Maksimum üyelik durulaştırma metodu	42
Şekil 4.10. Ağırlık merkezi durulaştırma metodu.....	43
Şekil 4.11. Ağırlıklı ortalama durulaştırma metodu	44
Şekil 4.12. Ortalama maksimum üyelik durulaştırma metodu	45
Şekil 4.13. Derecelendirilmiş ortalama h-seviyesi değerinin gösterimi	45
Şekil 4.14. Üçgensel bulanık sayılar (l, m, u)	48
Şekil 4.15. Yamuk bulanık sayılar $(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij})$	52
Şekil 4.16. M_1 ve M_2 arasındaki kesişme	56
Şekil 5.1. Akıllı güç şebeke sisteminin gösterimi.....	66
Şekil 5.2. Mevcut elektrik şebekesinin tek yönlü dikey yapı gösterimi	67
Şekil 5.3. Akıllı şebeke faydalarının gösterimi.....	71

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Farklı ülkeler için akıllı iletim ağları yatırımlar	74
Şekil 5.5. Farklı ülkelerin yıllara göre akıllı iletim ağları İçin yaptıkları yatırımlar	75
Şekil 5.6. 2013-2017 yılları arasındaki akıllı sayaç kurulumu sayısı	76
Şekil 5.7. Ülke bazında 2013-2017 yılları arasındaki akıllı sayaç kurulumu sayısı	77
Şekil 5.8. AMI sisteminin üç ana parçası	78
Şekil 5.9. Güvenli iletişim üzerinde akıllı şebeke alanlarındaki rollerin etkileşimi	80
Şekil 5.10. Akıllı şebeke altyapı gösterimi	81
Şekil 6.1. AB'deki akıllı şebeke gelişim faktörleri.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

w	Ağırlık Vektörü
λ_{max}	Maksimum Öz Değeri
n	Öz Vektör
μ	Üyelik Fonksiyonu
α	İyimserlik Endeksi
Me	Medyan Değer

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AIJ	Bireysel Yargıların Birleştirilmesi
AIP	Bireysel Önceliklerin Birleştirilmesi
AMI	Advance Metering Infrastructure
BAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
BTP	Bulanık Tercih Programlama
DESA	United Nations Depart. of Economic and Social Affairs
EU	European Union
HAN	Home Area Networks
IAEA	International Atomic Energy Agency
IEA	International Energy Agency
GMM	Geometric Mean Method
KPI	Key Perfomance Indicator

Kısaltmalar**Açıklamalar****RMS**

Root Mean Square

RTI

Rassal Tutarlılık İndeksi

SDS

Smart Distribution System

TI

Tutarlılık İndeksi

TO

Tutarlılık Oranı

WAMM

Weighted Aritmetic Mean Method

WGMCJM

Weighted Geo. Mean Complex Judgement Matrix



1. GİRİŞ

Risk; kişiler ya da organizasyonlar tarafından gerçekleştirilen, tüm proje ve iş girişimleri ile; büyüklüğü, çeşidi zaman ya da uygulama yeri ne olursa olsun ilişkilendirilmektedir [1]. Aynı zamanda, risk, ev işleri gibi küçük ölçekli işlerden, uzay mekiği yapmak ya da Marsta koloni kurmak gibi büyük çaplı projelere kadar farklı biçim ve seviyelerde mevcuttur. Bu tür riskler, gecikmelere, zaman ve para kaybına, çevresel zararlara ve hatta yaralanma ve ölümlere yol açabilmektedir. Fakat yine de, yıkıcı sonuçları olsa bile, ileride kazanılacak kazanç, potansiyel yarar ve yaşama savaşı gibi sebepler yüzünden, riskler alınmaktadır.

Risk konusu ile yapılan çalışmalar son birkaç yılda hızlı bir yükseliş gösterirken, “risk” kelime olarak birçok farklı şekilde kullanılmıştır. Riski tanımlaması için soru sorulan on kişiden, çok büyük ihtimalle on farklı cevap duymak mümkün olmakla beraber, aynı tutarsızlık, gazete ve diğer yayın organlarında da yaygındır [2].

Risk kavramı, belirsizlikler barındıran, oluşması durumunda negatif ya da pozitif etki bırakan olaylarla ilişkilendirilebilir [3]. Risk sözcüğünün ilk olarak nereden türetildiği belirli olmamakla beraber, latın kökenli bir kelime olan, bir denizcinin sığ kayalıklar nedeniyle karşılaştığı zorluk anlamına gelen *risicum* ya da Arap kökenli bir kelime olan *risq* den türediği düşünülmektedir [4]. En temel düzeyde ise, risk; birden fazla sonucun olduğu her durumda geçerli olan olasılık olarak tanımlanmıştır.

Risk analizi ve risk değerlendirilmesi birlikte yürütüldüğünde, risk değerlendirmesi yapıldığı söylenebilir. Bunun yanında, risk azaltıcı eylemler belirlenip, gerekirse uygulanır ve riskin zaman içerisinde nasıl değiştiği gözden geçirilirse, risk yönetimi yapılmış olur [2].

Risk yönetimi çoğunlukla süreklilik arz eden bir yönetim sürecidir ve genellikle altı ögeden oluşmaktadır ve Şekil 1.1'de görülmektedir [5]. Bu ögeler; belirleme, analiz etme, planlama, takip etme, kontrol, iletişim ve dokümantasyondur.



Şekil 1.1. Sürekli risk yönetimi döngüsü

Risk analiz ve değerlendirmeleri yapılırken literatürde birçok farklı metotlar bulunmaktadır. Bu metotlar; nicel (quantative), nitel (qualitative) ve yarı nicel (semiquantitative) olmak üzere üç kısma ayrılabilirler. Nicel risk analizi yapılırken, risklerin frekansları ya da önem dereceleri tanımlanırken sayısal değerler kullanılır. Nitel risk analizinde ise, kelimeler ya da tanımlayıcı ölçekler kullanılır.

Elektrik şebeke sistemleri son yıllarda büyük bir değişim içerisinde. Verimliliği artırma ve sera gazı yayılımını azaltma çabaları, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke içerisinde yaygınlaşması sonucu elektriğin akış yönünün iki yönlü hale gelmeye başlaması (bidirectional), akıllı sayaçların çok daha fazla kullanılması ve kullanıcıların elektrikli araç ve akıllı bina kavramları ile şebeke içerisinde daha aktif rol alması sebebiyle, konvansiyonel elektrik şebeke sistemi ile bu değişimleri karşılamanın güç olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple, ülkelerin ve kurumların akıllı şebeke kavramı üzerine birçok çalışma yaptıkları bilinmektedir. Her yeni kavram teknoloji ya da sistemin kendine has, birtakım riskler barındırdığı aşikârdır. Bu teknoloji ve sistemlerin, kullanılmaya başlamadan önce analiz edilerek, oluşabilecek potansiyel riskler hakkında bilgi sahibi olunup, önlemler alınarak, kesintisiz bir şekilde işletilmesi hedeflenmektedir. Akıllı şebekelerin, yeni, karmaşık bir sistem olması ve içerisinde barındırdığı birçok ayrı başlıklar sebebiyle, riskler içerdiği bilinmektedir. Şebekenin büyüklüğü göz önüne alındığında, oluşabilecek potansiyel risklerin farklı başlıklar halinde gruplandırılıp, dikkatli bir şekilde kendi içerisinde değerlendirilmesi, şebekenin güvenli ve verimli bir şekilde işletilmesi açısından çok büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, akıllı Şebeke ile ilgili, gelişmiş ülkelerin koydukları vizyon ve konsept çalışmaları, dünya çapında kararlar alan, iyi bilinen ve otorite sayılabilecek kuruluşların yayımladıkları detaylı değerlendirme raporlar doğrultusunda ve literatür çalışmalarından elde edilen bulgular ışığında, akıllı Şebekelerde, gelişmiş, çoklu ve detaylı bir risk değerlendirme endeks çerçevesi oluşturmak ve bu çerçevede oluşturulan riskleri ayrı başlıklar halinde ve aralarındaki ilişkileri çözümleyerek, sistemdeki, en riskli ve risksiz noktaları uygun bir metotla belirleyebilmektir. Çalışmada, Chang'ın Bulanık AHP metodu kullanılmış olup, ana ve alt risklerin karşılaştırılması ve önceliklendirilmesi buna göre yapılmıştır.

İkinci bölümde, Bulanık AHP'nin temelini oluşturan, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) hakkında açıklayıcı bilgiler verilmiş ve metot, detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bunun yanında kararların grupça ya da bireysel olarak alınması durumunda izlenecek yollar ve kullanılması gereken matematiksel modeller tartışılmıştır.

Üçüncü bölümde, BAHF hakkında bilgiler verilmiş, avantajları ve işlem adımları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Ayrıca, bulanık küme teorisi ile bulanık sayıların daha iyi anlaşılması sağlanarak, durulaştırma, üyelik fonksiyonları ile bulanık sayıların aritmetik ve operasyonel işlemler hakkında bilgi verilerek tartışılmıştır. Chang'ın genişletilmiş analiz metodu yanında, literatürde kullanılan diğer BAHF yöntemleri hakkında bilgiler verilmiş, karşılaştırmalar yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, akıllı bir şebekenin ne olduğunun tanımı yapılarak, bu şebekeyi oluşturan unsurlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Mevcut şebekenin durumu ve eksikleri hakkında tartışılmıştır. Ayrıca, akıllı sayaçların kullanımı ve bu tür sayaçların neden önemli oldukları konusu üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölümde, akıllı şebeke için değerlendirme kriterleri ve risk değerlendirme esasları hakkında bilgiler sunulmuştur. Ana ve ara risk faktörlerinin olduğu, risk değerlendirme çerçevesi gösterilmiştir.

Altıncı bölümde ise, Chang'ın bulanık AHP yöntemi kullanılarak, adım adım problem çözümünün uygulaması gerçekleştirilmiş, risklerin kendi aralarında kıyaslamaları yapılarak,

sayısal değerler ışığında sıralamaları yapılmıştır. Daha sonra, kullanılan farklı iki sıralama metodu ve tutarlılık analizi yardımıyla, elde edilen sonuçların karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yedinci bölümde ise, Chang'ın bulanık AHP yöntemi kullanılarak, adım adım problem çözümünün uygulaması gerçekleştirilmiş, risklerin kendi aralarında kıyaslamaları yapılarak, sayısal değerler ışığında sıralamaları yapılmıştır. Daha sonra kullanılan iki farklı sıralama metodu ve tutarlılık analizi yardımıyla, elde edilen sonuçların karşılaştırmaları yapılmıştır.

Sekizinci bölümde ise, uygulanan yöntemler sonucunda bulunan değerler tartışılmış ve öneriler verilmiştir. Ayrıca, ileride yapılabilecek çalışmalarla ilgili noktalara önem verilmesi gerektiği anlatılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, akıllı şebekeler üzerine yüksek etki faktörüne sahip çok sayıda çalışma yapılmasına rağmen, şebeke içerisinde oluşabilecek risklerin sınıflandırılması ve çözümü için fazla çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmaların birçoğunun ise siber güvenlik ve türevleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, siber ağ arızalarının, akıllı güç şebekesinin güvenilirliğine etkisi nicel olarak incelenmiş ve siber ağdaki arızaların haritalandırılması için yeni bir durum haritası önerilmiştir [6]. Diğer bir çalışmada ise, akıllı şebeke girişimi birleştirme kavram modeli ve risk analizi için, sözel olasılıklarla birlikte bulanık etki diyagramları önerilmiştir [7]. Başka bir çalışmada, akıllı şebekeye yönelik güvenlik tehditleri ve halen uygulama aşamasındaki akıllı sayaçlar için RF radyasyonları kapsamındaki sağlık riskleri araştırılmış, bunun sonucunda da risk değerlendirme çerçevesi meydana getirilmiştir [8]. 2011 yılında yapılan bir çalışmada, güç şebeke girişim sistemi için koordinasyonun geliştirilmesine yönelik bir endeks sistemi oluşturulmaya çalışılmıştır [9]. Endeks sistemi içerisinde ve dışarısındaki faktörler seviyeler olarak ayrılmış, açıklanmış fakat herhangi bir çözüm önerisinde bulunulmamıştır. Başka bir araştırmada, ülkeler tarafından sunulmuş farklı akıllı şebeke değerlendirme sistemleri detaylı bir şekilde derlenerek özetlenmiş fakat herhangi bir çözüm yolu belirtilmemiştir [10]. Xie ve arkadaşları, altı farklı başlık altında bir endeks sistemi oluşturarak, akıllı şebekelerin güvenlik değerlendirmeleri için AHP entropi metodunu kullanmışlardır [11]. Yapılan diğer bir çalışmada ise, akıllı şebeke risk endeks sistemi ve değerlendirme metodları açıklanmış, risk gösterge sistemi beş farklı başlık halinde oluşturularak, AHP ve orijinal risk matrisinin Borda dizi değer metodu gibi yöntemler hakkında bilgiler verilmiş fakat çözüm yoluna gidilmemiştir [12]. Niu ve arkadaşları, Çin'in bölgesel güç şebeke gelişimi için detaylı bir değerlendirme sistemi oluşturmuşlar ve oluşturdukları hiyerarşik yapıyı üç farklı alt sistem sınıfına ayırarak, AHP metodu yardımıyla bir çalışma yapmışlardır [13]. Xu ise, sıralama korelasyon analizi ve gri üçgen kümeleme yöntemlerine dayalı bir risk değerlendirme endeks sistemi oluşturarak Çin'deki akıllı şebeke projelerindeki riskleri ana ve alt başlıklara ayırarak çözümlemeye çalışmıştır [14]. Janjic ve arkadaşları, FAHP metodunu kullanarak, akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji entegrasyonu ve verimlilik analizi yaparak sonuçları tartışmışlardır [15,16].



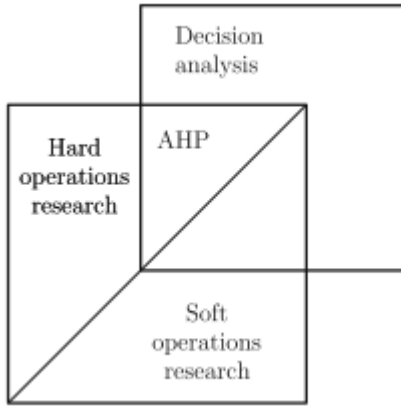
3. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ

Karmaşıklığın sürekli olarak büyüdüğü dünyamızda, en iyi kararları almanın şirket yöneticileri, devletler ve diğer birçok karar verici tarafından, gün geçtikçe daha zor hale geldiği görülmektedir [17]. Son yıllarda, bu tarz kararlar alınırken, analitik karar alma yöntemlerinden daha çok faydalandığı ve karar vericilerin his ve önsezilerinden çok, analitik ve nicel araçlar kullanarak, kararlarını sağlam bir zemine oturtmayı tercih ettikleri görülmüştür [17]. Bu sebeplerden dolayı, Analitik Hiyerarşi Prosesi, bu bağlamda kararları analiz etmek için iyi bir araç olarak göze çarpmaktadır.

Thomas L. Saaty tarafından 1980 yılında ilk defa ortaya atılan AHP, çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biridir [18,19]. Grup ya da bireylerin önceliklerinin dikkate alındığı, nitel ve nicel değişkenlerin bir arada değerlendirildiği bir yöntemdir [18].

Kompleks kararların ikili gruplar oluşturmak suretiyle karşılaştırılarak, daha iyi anlaşıldığı, daha sonra sonuçların birleştirilerek, hem öznel hem de nesnel yönlerden değerlendirilmesine olanak sağlayan matematiksel bir araçtır [20]. Ayrıca AHP, alınacak kararların tutarlı olup olmadıkları hakkında bilgi verebilen, dolayısıyla da önyargıları azaltacak ya da ortadan kaldıracabilecek, kabul gören yararlı bir yöntemdir[20]. Yakın zamanda yapılan çalışmalar neticesinde de [21], AHP' nin anlaşılması ve açıklanması güç, kullanması zor bir yöntemden daha çok, kolay olarak düşünülebilecek bir pozisyonda olduğunu göstermiştir. AHP'nin Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.1'de görüleceği gibi, AHP; karar analizi ve zor operasyon araştırması (hard operations research) arasında tanımlanmıştır [17].

AHP' nin karmaşık problemleri basite indirgemesi, nitel ifadeleri nicel büyüklüklerle karşılaştırabilme kolaylığı sunması, kolay uygulanabilen ve anlaşılabilir olması gibi özellikleri sebebiyle, çok çeşitli alanlarda kullanımına sıklıkla başvurulmuş bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Analitik Hiyerarşi Prosesi; tedarikçi firma seçiminden [22] ve öğretim elemanı seçimlerine [23], yenilenebilir güç santrallerinin karşılaştırılması [24] süreçlerinden, iş değerlendirme sistemlerinin tasarlanması [18] ve yenilenebilir enerji kaynakları yatırım projelerinin değerlendirilmesine [25] kadar birçok alanda kullanılmıştır.



Şekil 3.1. AHP pozisyonunun gösterimi

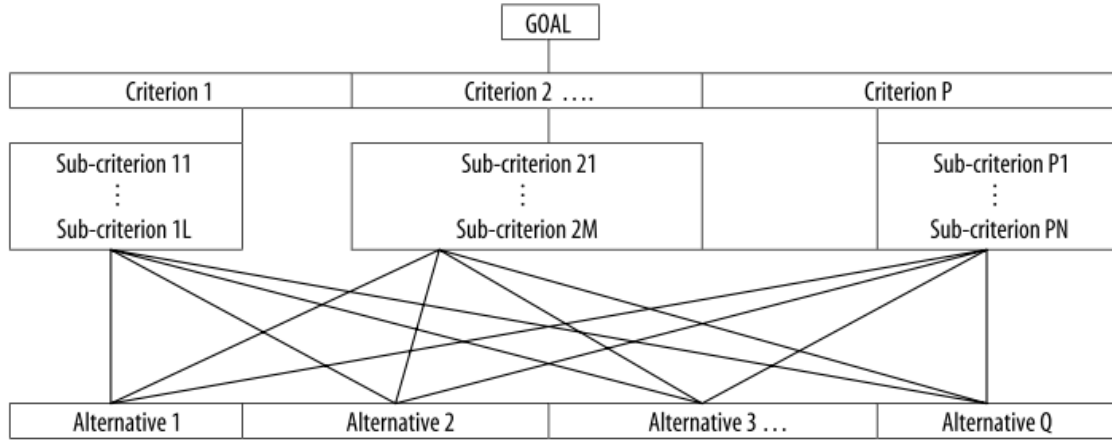
3.1. AHP Nasıl Çalışır?

Analitik Hiyerarşi Prosesi, yapılan ikili karşılaştırma kıstaslarına göre, her değerlendirme ölçütü için bir ağırlık ortaya çıkarmaktadır. Buna göre, üretilen ağırlığın değeri ne kadar yüksek ise, ona tekabül eden kriterde o derece önemli olmaktadır. Daha sonrasında ise, bu ölçüte dayalı olarak yapılan ikili karşılaştırmalar dikkate alınarak, her seçeneğe bir puan (sayı) ataması yapılır. Atanan puanın yüksek olması, o kriter ile ilgili olan seçeneğin performansının daha iyi ve yüksek olması anlamına gelmektedir. Son olarak ise, AHP; ölçüt ağırlıklarını ve seçenek puanlarını bir araya getirerek, her bir seçenek için bir skor belirleyerek, kendi aralarındaki sıralamayı belirlemektedir. Verilen bir seçeneğin son puanı, tüm kriterler göz önüne alınarak elde ettiği puanların ağırlıklı bir toplamıdır [20].

3.2. AHP ve Özellikleri

AHP sonlu sayıda alternatiflerin olduğu çok sayıda karar verme problemlerine uygulanabilir [17]. Bilindiği gibi, karar verme sürecinde, bir *hedef* ve karar vericilerin en iyisini seçmesinin beklendiği *alternatifler* kümesi vardır. Çeşitli kaynaklar Analitik Hiyerarşi Projesi'ni kelimelerle anlatmak yerine, örnek vererek anlatmanın daha kolay olduğu belirtilmiş olmasına rağmen [17], bu çalışmada süreci, adımlar şeklinde ayırarak anlatmanın daha yararlı olacağı düşünülmektedir [20].

İlk adım olarak, problem; hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler olmak üzere başlıklara ayrılır. Bu şekilde problemi ayrıştırmak, karar vermenin en yaratıcı ve önemli parçası olarak görülmektedir [26].



Şekil 3.2. Hiyerarşik yapının genel gösterimi [26]

Problemin hiyerarşisinin iyi ve doğru bir şekilde planlanması, Analitik Hiyerarşi Prosesinin temellerinden birini oluşturmaktadır. Hiyerarşi; şekilde gösterildiği gibi, bir seviye bulunan unsurlarla, bir aşağısındaki seviyede bulunan ilişkiyi göstermektedir. Bu ilişki, hiyerarşinin en altında bulunan seviyeye kadar devam etmektedir. Şekil 2’de, bu yapının en üstünde ulaşmak istenen hedef çalışılıp analiz edilir. En aşağıda ise, alternatifler bulunmaktadır. İki seviye arasında ise, farklı kriterler ya da alt kriterler bulunmaktadır. Hiyerarşi oluşturulurken, en üstteki hedeften başlanarak aşağıdaki seviyelere doğru inilerek yapılmasının daha doğru olacağı söylenmiştir [27].

Bir karar verici için, birçok alternatifin bulunduğu ve bu alternatiflerin değerlendirileceği çok sayıda kriterin olduğu sistemde, en uygun alternatifin hangisi olduğunu belirlemesi hiçte kolay değildir. Bu problemin üstesinden gelmek için, *ikili karşılaştırmalar* yapmak gerekmektedir. Bu yapılan ikili karşılaştırmalar (pairwise comparison) sayesinde karar vericiye, iki alternatifi ya da iki kriteri, tek seferde değerlendirebilme olanağı sağlanır.

Problemin hiyerarşisi kurulduktan sonra, karar verici ya da uzmanlar, sayısal ifadelerle tanımlanmış olan bir skala üzerinde, her bir kriter temelinde önce alternatiflerin ve daha sonra kriterlerinde kendi aralarında ikili karşılaştırmalarını yaparak karar matrisleri oluşturulur [22, 26].

Bu karşılaştırmalar yapılırken, Saaty tarafından ortaya konulan önem ölçeği diğer bir adıyla 1-9 önem skalası kullanılmakta ve matrisler oluşturulmaktadır [28]. Bunun dışında kalan 1-5, 1-7 ve 1-20 gibi önem skalaları, problemin çözümü konusunda, Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası kadar etkili olmamaktadır [18]. Tablo Çizelge 3.1'de önem skalası değerleri ve açıklamaları görülmektedir [20].

Çizelge 3.1. Önem dereceleri, tanımları ve açıklamaları

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Önemli	İki seçenekte eşit derecede öneme sahip
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz daha üstün kılar
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça daha üstün kılar
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir kriter diğerine göre çok güçlü bir şekilde üstündür.
9	Kesin Önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt, çok büyük güvenilirliğe sahip olduğu onaylanmıştır.
2,4,6,8	Ara değerler	Ardışık iki yargı arasındaki değerler (Uzlaşma değerleri)

Yapılan psikolojik çalışmalar, tek seferde insanların yapabildiği işlem sayısının 7 ± 2 olduğunu göstermiştir [26]. Ayrıca, normal bir insan beyni tarafından, fark gözeterek kısa dönem hafızada işlenebilecek öğe sayısının üst sınırının 7 olduğu, en fazla 9' a kadar çıkabileceğini ama ortalama olarak bu sayının 5 olduğu gösterilmiştir [29]. Saaty'nin oluşturduğu önem skalasını 5 (beş) ana sayıya bölerek derecelendirmesi, bilim dünyası ve endüstriyel şirketler tarafından bu derece başarılı sayılarak kabul görmesinin sebeplerinden birinin de bu olduğu düşünülmektedir.

Önem derecesindeki ara değer olan 2, 4, 6, 8 gibi değerler, karar vericinin kararsız kalması durumunda kullanılan değerlerdir. Eğer, karar verici 4 ve 6 arasında kalırsa 5 değerini kullanabilir.

Bilindiği üzere, karar verme işlemi aşamasında, karar vericiler her bir alternatif için skor ataması yaparlar ve en yüksek değerli olanı seçerler.

$X = \{x_1, \dots, x_n\}$ Olarak belirlenen alternatifler için, karar vericiler ağırlık vektörleri belirlemelidirler.

$$w = (w_1, \dots, w_n)^T \quad (3.1)$$

w_i değerleri, x_i alternatiflerinin skorlarını uyumlu bir şekilde tahmin eden değerlerdir. Yani w_i değeri ne kadar yüksek olursa i . alternatifin daha iyi olacağı anlamına gelmektedir. Örnek olarak; $w = (0.2, 0.3, 0.6, 0.8)^T$ olarak yazılmış ağırlıklar (vektörler), alternatif değerlerinin $x_4 > x_3 > x_2 > x_1$ şeklinde sıralanması anlamına gelmektedir.

İkili karşılaştırmalar için karar matrislerinin oluşturulması AHP'nin en önemli aşamasıdır [22]. Bunun için, karşılaştırmalar, ikili karşılaştırma matrislerinin içine yazılarak $A = (a_{ij})_{n \times n}$ şeklinde bir matris oluşturulur. Saaty, karşılaştırma matrislerinin boyutlarının 6x6'dan daha büyük olmaması önermiştir. Bunun sebebi ise, ikili karşılaştırmaların sayısının, insanlar tarafından yönetilebilir ve anlaşılabilir seviyede tutulmasıdır [20].

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

a_{ij} , i . özellik ile j . özelliğin ikili karşılaştırma değeri olarak gösterilmek istenirse, $a_{ji} = 1/a_{ij}$ Eşitliği kullanılarak elde edilir. Bu eşitliğe, *karşılık olma* özelliği denilmektedir [20].

Karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra, normalleştirilme işlemi gerçekleştirilir. Normalleştirilmiş matris, matrisin her bir sütunun elemanlarının, ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir [22]. Daha sonra, elde edilen değerlerin satır toplamı alınarak, bu toplam satırdaki eleman sayısına bölünmektedir [19]. Elde edilen bu değerler, her bir farklı kriter için belirlenen yüzde önem ağırlıklarını temsil etmektedir [22, 27].

Son adım ise, kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpılmasıyla elde edilecek her bir alternatife ait öncelik değerlerinin bulunması işlemidir. Bu bulunan öncelik değerlerinin toplamı 1' e eşittir. Burada en yüksek değere sahip alternatif, karar vericiler için en iyi alternatif olarak seçilmektedir.

$a_{ij} > 0$ olmak üzere, Saaty' nin teorisine göre, her bir karşılaştırma değeri, kendi iki ağırlık vektörü arasındaki değere neredeyse eşit olmalıdır [27]. Buna göre;

$$a_{ij} \approx \frac{w_i}{w_j} \quad \forall i, j \quad (3.3)$$

Olmalıdır. Bunun anlamı ise, eğer karşılaştırma değerleri ağırlıklar oranına eşitse, A matrisi aşağıdaki formda yazılabilir.

$$A = (w_i/w_j)_{n \times n} = \begin{pmatrix} w_1/w_2 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

O zaman, (2.3) ve (2.4) birlikte hesaba katıldığında, karşılık değeri $a_{ji} = 1/a_{ij} \quad \forall i, j$ olarak yazılabildiğinden, A matrisi;

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ a_{12} & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Şeklinde yazılabilir. Bunun anlamı, x_1 değeri x_2 değerinden 3 defa daha iyiye, x_2 değeri de x_1 değerinden $1/3$ kadar daha iyidir olarak yorumlanabilir.

3.3. Ağırlıklar ve Tutarlılık İçin Öz Vektör Çözümü

Öncelik vektörünü (priority vector) tahmin edebilmek için kullanılan en popüler metot Saaty tarafından önerilmiştir [17, 27]. Bu metotta, A'nın ana öz vektörünün (principal eigen vector) aynı zamanda öncelik vektörü olduğu söylenmiştir. Aslında bu eşitlik matematikte çoğu zaman, Perron-Frobenius öz vektörü olarak adlandırılmaktadır [17, 30].

A matrisinin değerlerinin tam olarak ağırlıkların oranı olduğu ve bu matrisi w ile çarptığımız düşünürsek;

$$Aw = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} nw_1 \\ \vdots \\ nw_n \end{pmatrix} = nw \quad (3.6)$$

Şeklinde elde edilir. Lineer cebirden bildiğimiz üzere, $Aw = nw$ eşitliğindeki n , A'nın öz değeri, w ise öz vektörüdür. A'nın diğer bir öz vektörü de 0 (sıfır) olduğundan geriye en büyüğü n olmak üzere, $(n-1)$ tane öz vektör bulunmaktadır. Bu yüzden, A matrisinin değerleri ağırlıkların oranı olarak yazılabilirse, ağırlık vektörü, A matrisinin n öz değeri ile ilgili olan öz vektörüdür denilebilir. Saaty, bu sonucu n yerine daha genel bir ifade ile genişletmiş ve w vektörünün herhangi bir ikili karşılaştırma A matrisinden elde edilebileceğini göstermiştir.

$$\begin{cases} Aw = \lambda_{\max} w \\ w^T 1 = 1 \end{cases} \quad (3.7)$$

Burada $\lambda_{\max}$ değeri, A matrisinin maksimum öz değeri olarak adlandırılır.

3.4. Geometrik Ortalama Metodu

Öncelik vektörü olan w 'nun hesaplanabilmesi için kullanılan yaygın metotlardan birisi de Crawford ve Williams (1985) tarafından önerilen geometrik ortalama metodudur [31]. Bu metoda göre, w 'nun her bir elemanı, her bir ayrı satırın elemanlarının geometrik ortalamasının normalizasyon terimine bölünmesiyle elde edilebilir.

$$w_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} / \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.8)$$

3.5. Tutarlılık İndeksi ve Tutarlılık Oranı

Tutarlılık, karar vericiler tarafından yapılan kıyaslamalarda çok önemli bir yere sahiptir. Bu sayede oluşturulan karşılaştırma matrislerinin ne kadar güvenilir olduğu görülebilir ve bu sonuçlara göre karar verici ya da uzmanların karşılaştırmalarında tutarlı olup olmadıkları test edilerek, verilecek olan kararın uygunluğu hakkında bir bilgi sahibi olunabilir. Bu sebeple, oluşturulan karşılaştırma matrisleri için Tutarlılık Oranı'nın (T.O.) hesaplanması gerekmektedir [20]. Ayrıca, $\lambda_{\max} = n$ olduğu durumda karşılaştırma matrisi A 'nın tutarlı olacağı, tutarsızlık durumunda ise her zaman $\lambda_{\max} > n$ olacağı söylenmiştir [32]. Satty, *Tutarlılık İndeksi*'ni aşağıdaki gibi ifade etmiştir [32].

$$TI(A) = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.9)$$

Eğer karar verici tam olarak tutarlı ise aşağıdaki koşulları sağlamalıdır [28,33].

- $a_{ij} \cdot a_{jk} = a_{ik} (\forall i, j, k)$
- $\lambda_{\max} = n$
- $TI=0$

Tutarlılık Oranı ise, *Tutarlılık İndeksi*' nin yeniden ölçeklendirilmiş bir sürümü olarak kullanılabilir ve *Tutarlılık İndeksi*' nin, *Rassal Tutarlılık İndeksi*' ne bölünmesiyle bulunabilir.

$$TO(A) = \frac{TI(A)}{RTI_n} \quad (3.10)$$

Satty'e göre, *Tutarlılık Oranı*, 0,10 değerinden küçük olduğu sürece, karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Eğer 0,10 değerinden büyük ise, karar matrisinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir [27].

Literatürde genellikle kullanılan hesaplanmış Rassal Tutarlılık İndeksleri Çizelge 3.2 [33] ve Çizelge 3.3'te [27] görülmektedir. Bu değerler aynı olmamasına karşın, aralarında bulunan çok küçük farklardan dolayı iki indekste rahatlıkla kullanılabilir.

Çizelge 3.2. Rassal tutarlılık indeksi

<i>n</i>	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RTI</i>	0.5247	0.8816	1.1086	1.2479	1.3417	1.4057	1.4499	1.4854

Çizelge 3.3. Rassal tutarlılık indeks değerleri

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RTI</i>	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

3.6. Bireysel ve Grup Kararlarının Toplanması

Analitik Hiyerarşi Prosesi, karar vericilerin tek başına, alternatifler ya da kriterler için değerlendirme yapabildiği, aynı zamanda da, grup üyelerinin beraber hareket ederek ya da her bir grup üyesine kendi düşüncelerini ayrı olarak değerlendirme olanağı sunan yararlı bir araçtır.

Gruptaki kararların nasıl değerlendirileceğinden önce, grup üyelerinden kendi aralarında konuşarak ve tartışarak, problemin doğru hiyerarşini oluşturması beklenmektedir. Grup üyelerinin her biri, kendi tanımlarını yaparak, düşünce ve bakış açısını yansıtarak, hiyerarşinin bütün seviyelerinde rol almalı ve katkı vermelidir. Hiyerarşinin bütünü üzerinde bir anlaşma sağlamak zor olabilir, zira grup üyelerinden bazıları daha önce kararını vermiş olabilir ya da hiyerarşinin yapısının değişmesini isteyebilirler. Bu anlaşmazlıklar sağlıklı bir ortamda problemin çözüm odağına da bağlı kalınarak grup üyeleri arasında çözümlenmelidir. Gruptaki karar vericilerin hiyerarşi üzerinde anlaşmasından sonraki diğer adım, ikili karşılaştırma matrislerinin her seviyede girişler üretilmelidir. Bu girişleri üretebilmenin iki yolu bulunmaktadır : (1) fikir birliğine varılması (2) bireysel kararların alınması.

Karar verme sürecine dâhil olan birden fazla kişi olduğunda, bu bilgileri toplamının birçok yolu bulunmaktadır [34]. Bu yollardan bazıları aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

- Kişisel olarak verilen yargıları, her bir ikili karşılaştırma için toplayarak bir toplama hiyerarşisi şeklinde oluşturulması (AIJ),
- Her bir kişisel hiyerarşinin birleştirilerek, ortaya çıkan öncelikleri toplanılması (AIP),
- Hiyerarşi içerisinde bulunan her bir düğümde, her bir karar vericinin türetilmiş önceliklerinin toplanmasıdır.

Yukarıda belirtilen 3 numaralı metot, uygulanabilir olmasına rağmen, daha az anlamlı bulunmakta ve çok yaygın bir şekilde kullanılmamaktadır [34]. 1 ve 2 numaralı metotlar çok daha yaygın bir şekilde kullanılıp, sırasıyla, Bireysel Yargıların Birleştirilmesi (AIJ) ve Bireysel Önceliklerin Birleştirilmesi (AIP) olarak adlandırılmaktadırlar.

Hangi metodun kullanılacağına ilişkin olarak, Forman ve Peniwati (1998) tarafından, grubun sinerjik olarak mı hareket ettiği yoksa basitçe bireylerin toplanmasıyla oluşturulan bir grup mu olduğunun belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır [34].

Hem geometrik ortalama, hem de aritmetik ortalama metotları bireysel ya da grup kararlarının toplanması işlemi içerisinde kullanılmaktadır. Ramanathan ve Ganesh (1994), AIJ yönteminin, Pareto İlkesi (Pareto Principle) ile çeliştiğini, bunun yerine ağırlıklı AIP yönteminin kullanılmasını ısrarla çalışmalarında vurgulamışlardır. Fakat bu çalışmanın yanlış sonuçlandırıldığı, geometrik ortalama metodunun (GMM), AHP'nin Pareto

Optimalite aksiyomunu ihlal etmediği, daha sonraları diğer çalışmalarda gösterilmiştir [34, 35]. Pareto İlkesi, 19. Yüzyılda, İtalyan ekonomist olan Vilfredo Pareto tarafından türetilmiş, matematiksel bir modellemeye dayandırılan bir çalışmadır. Bu çalışmada, bir sistemde bulunan etkilerin %80' inin, etkenlerin %20' sinden kaynaklandığını göstermektedir. Pareto ilkesinin, AHP ile olan ilişkisine baktığımızda ise şu sonuç karşımıza çıkmaktadır. Esasında, bir sistemde A ve B olarak verilen iki alternatif var ve her bir grup üyesi B alternatifini A' ya tercih etmiş ise, grupta B'yi A' ya tercih etmek zorundadır [34].

Matematiksel formda ifade etmek istenirse;

$$f(x, x, \dots, x) = x \quad (3.11)$$

Burada $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ kararların sentezlenmesinin fonksiyonudur

3.6.1. Toplu karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı

Agregasyon yönteminden bağımsız olarak, toplu karşılaştırma matrisinin tutarlılığı konusu ile ilgili yapılan çalışmalar çok kısıtlıdır [36]. Xu (2000), Ağırlıklı Geometrik Ortalama Kompleks Karar Matrisinin (WGMCM), tüm bireysel karşılaştırma matrislerinin kabul edilebilir tutarlılığa sahip olması durumunda, kabul edilebilir bir tutarlılığa sahip olacağını ispatlamıştır [37]. Groselj ve arkadaşları (2012), yaptıkları çalışma ile Xu'nun çalışmalarının doğruluğunu ispatlayarak, WGMCM' nin tutarlı olabilmesi için, bütün karşılaştırma matrislerinin tutarlı olmasına gerek olmadığını da göstermişlerdir [38]. Buna rağmen, literatürde, toplanmış (birleştirilmiş) karşılaştırma matrisinin tutarlılığının, toplu matrislerin türetildiği bazı ya da tüm bireysel karşılaştırma matrislerinin kabul edilemez tutarlılık oranında olması durumunda, ne olacağı konusunda çalışmalar mevcut değildir [36].

AIJ prosedüründeki tutarlılık göz önüne alındığında dikkat çekici birkaç husus bulunmaktadır. Bütün bireysel yargılar tutarlı olsa bile, AIJ prosedürünün ağırlıklı aritmetik ortalama metodu ile (WAMM) çözümlenmesi sırasında, tutarlı olmayan ikili karşılaştırma matrisleri ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi ise, bu tür bir aritmetik toplama yönteminin karşılıklılık ilkesini sağlamaması, dolayısıyla tutarlı olmayan matrislerin ortaya çıkmasıdır. Bunun yanında, AIJ prosedüründe ağırlıklı geometrik ortalama metodu (WGMM) ile tüm

grup için tutarlılığın arttırılması avantajı sağlanmaktadır. Geometrik toplama yoluyla, tutarsız olan tekli matrislerin, tutarlı grup kararlarına dengelenmesi sağlanmaktadır [36, 39].

3.6.2. Bireysel yargıların toplanması (AIJ)

Bireyler, çoğu zaman, kendi düşüncelerinden ya da tercihlerinden sıyrılıp, bağlı bulundukları organizasyon içerisinde bulunan diğer bireylerle hareket ederek, gurubu, yeni bir birey haline getirirler. Oluşturulan grup yeni bir birey haline geldiğinden dolayı, karşılıklılık şartına uygun olmalıdır. Diğer bir deyişle, oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinin karşılık matrisleri olması sebebiyle, aritmetik ortalama (WAMM) yerine geometrik ortalamanın (WGMM) kullanılması daha doğru olmaktadır [34,40]. Aritmetik formda toplanan AIJ, tüm bireysel yargılar tutarlı olsa bile, tutarsız ikili karşılaştırma matrisleri üretmektedir [36]. Homojen bir grup yapısı içerisinde, karar vericilerin tek bir kişi olarak davranmak istemesi durumlarında, AIJ kullanılması mümkündür [39]. Grupta olmasına karar verilen her bir karar verici, ikili karşılaştırmaları kendi başına yapar. Daha sonra, geometrik ortalama metodu (WGMM) karşılaştırma matrislerinin her bir girişi için, grup kararını elde edebilmek için kullanılabilir [41,42]. Bu yaklaşım için geometrik ortalama metodu kullanımı zaruridir [34].

3.6.3. Bireysel önceliklerin toplanması (AIP)

Bu yaklaşım bireysel olarak ortaya çıkan önceliklerin birleştirilmesine dayanmaktadır [34, 43]. Grup üyeleri bireysel hareket ettiklerinde, her biri, ortalama oranı temsil eden geometrik ortalama ya da, ortaya çıkan önceliklerinin aritmetik ortalamasını alabilirler [34].

Alternatif (A_i) için, oluşturulan grup öncelikleri $P(A_i)$ aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$P^{WAMM}(A_i) = \sum_{r=1}^R w^r \cdot p^r(A_i) \quad (3.12)$$

3.7. Ağırlıklı Aritmetik, Geometrik Ortalama ve Karar Vericilerin Önem Derecesi

Kararların geometrik ortalamalarını (AIJ) ya da önceliklerin (AIP) geometrik ya da aritmetik ortalamalarını hesaplarırken, bireylerin eşit önem derecesine sahip oldukları düşünülür. Peki, grup üyeleri eşit derecede öneme sahip değilse, ağırlıklı geometrik ortalama ya da ağırlıklı aritmetik ortalama aşağıdaki şekilde yazılabilir.

Kararların ağırlıklı geometrik ortalaması (AIJ) :

$$J_g(k, l) = \prod_{i=1}^n J_i(k, l)^{w_i} \quad (3.13)$$

$J_g(k, l)$; k ve l faktörlerinin nispi önemlerinin, grup kararlarını temsil ederken; $J_i(k, l)$; k ve l faktörlerinin nispi önemlerinin, birey i 'nin kararını temsil etmektedir. w_i ; birey i 'nin ağırlığını göstermektedir. n ise, karar verici sayısını göstermektedir.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3.14)$$

3.8. AIJ ve AIP ile İlgili Çözüm Metotları

3.8.1. Ağırlıklı aritmetik ortalama metodu ile hesaplama (WAMM)

Eğer her bir grup üyesinin, bireysel kararı $a_{i,j}^r$ şeklinde gösterilirse;

$r = 1, \dots, R$ olmak üzere; i . karşılaştırma elementi ile j . elementinin toplu ikili karşılaştırma kararı $A(i, j)$ olmak üzere;

$$A^{WAMM}(i, j) = \sum_{r=1}^R w^r . a_{ij}^r \quad (3.15)$$

Bu metodun AIP yaklaşımı için kullanılması uygundur.

3.8.2. Geometrik ortalama metodu ile hesaplama (WGMM)

Geometrik ortalama metodu (GMM), grup içerisinde yer alan kişilerin hükümlerinin toplandığı, AHP’de yaygın olarak kullanılan bir metottur. Eğer grubun, bir birey gibi davranması ya da hareket etmesi istenirse, GMM’ in uygun olduğu söylenmiştir [36]. Bu metot, daha önce de açıklandığı gibi, AIJ yaklaşımı için tek çözüm metodu olarak kullanılmak zorundadır. AIP yaklaşımı için, aritmetik ortalama metodu ile birlikte kullanılabilir. Eğer grup üyeleri eşit öneme sahip değil ise, ağırlıklı geometrik ortalama metodu, AIJ yaklaşımında kullanılmalıdır. w^r , grup üyelerinin ortalaması olmak üzere;

$$A^{WAMM}(i, j) = \prod_{r=1}^n (a_{ij}^r)^{w^r} \quad (3.16)$$

	Karar Verici			
	1	2	...	n
Kararlar	a_{12}^1	a_{12}^2	...	a_{12}^n

Birleştirilmiş Kararlar :

$$a_{12} = [a_{12}^1 \times a_{12}^2 \times a_{12}^3 \times \dots \times a_{12}^n] \quad (2.17)$$

Bu metodun tutarlı olduğu ve AHP teorisinin bağlı olduğu dört aksiyomu karşıladığını kanıtlanmıştır [36, 40].

4. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (BAHP)

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi, yaygın olarak kullanılan, çok kriterli karar verme metodlarından biridir [44, 45]. AHP; politika, sosyal ve yönetim bilimleri ve ekonomi gibi alanlarda, yapılandırılmamış problemlerin modellenmesinde kullanılan bir araçtır [44]. Bu metodun önemli avantajlarından birisi, birden çok kriterli problemlerin üstesinden kolaylıkla gelmesidir [45]. Buna ek olarak, AHP metodu, anlaşılması kolay olan aynı zamanda hem nicel hem de nitel verilerle kolaylıkla çalışabilir. Zor ve hantal işlemler gerektiren matematik içermez. Bunun yerine, ayrışma ilkesi, ikili karşılaştırmalar, öncelik vektörü üretimi ve sentezlemesi işlemlerini içerir [45]. AHP' nin amacı her ne kadar karar vericilerin ya da uzmanların bilgi birikimlerini göstermek ise de, hâlâ, insan düşünme stilini yansıtmamaktadır. Kararlar verilirken, sözel ifadelerin kullanılmasından kaynaklı birçok risk ortaya çıkmaktadır. Kişiler arasındaki farklılıklarda, tercih sıralamalarını etkilemektedir. AHP' deki tercihler esasında, insanların algılarına dayanan yargılarından meydana geldiği için, doğru olmayan sonuçlarla karşılaşılabilir fakat bulanık (fuzzy) yaklaşım, karar verme sürecinin daha doğru tanımlanmasına olanak sağlar [46,47]. Öznel algıdan kaynaklanan kararsızlık ve belirsizlik ile başa çıkabilmek için bulanık mantık ve yaklaşım geliştirilmiştir.

4.2. Bulanık Mantık

Karmaşıklıklar, geçmişten gelerek günümüzde de var olan, insanların, büyük şirketlerin ve devletlerin çözmeye çalıştıkları problem yumakları olarak düşünülebilirler. Belirsizliğin olduğu hemen hemen her durumda karmaşıklık vardır. Belirsizlik; sonucu tam olarak kestirilemeyen, insanlar tarafından farklı algılanan, objektif olmayan bilgiler içeren ve yoruma açık durumlar kümesi olarak tanımlanabilir. Yeni bir ev almak isteyen kişi için, birçok belirsiz durum mevcuttur. Çünkü alınmak istenilen ev için, fiyat, lokasyon, güvenlik, okula ya da metro istasyonuna yakınlığı gibi birçok belirsizlik mevcuttur. Gelecek planlamasında, ihracat pazarını büyütmek isteyen bir firma için de birçok belirsizlik mevcuttur. Kur seviyesi, arz talep dengesi, gümrük işlemleri, güvenlik ve zaman gibi belirsiz durumlar söz konusudur. Verilmiş olan belirsizliklere klasik mantıkta bir çözüm bulmak

hem zordur hem de efektif olmamaktadır. Çünkü klasik mantıkta, ikili bir mantık vardır. Bir şey ya “doğru” ya da “yanlış”, bir sorunun cevabı ya “evet” ya da “hayır” olarak verilebilir. Bulanık mantıkta ise doğru ile yanlışın, evet ile hayır arasında birçok ortalama değerlerler vardır.

Bulanık mantık kavramına göre, faktörler ve kriterler için sınıflandırma yapılırken, kesin sınırlar koyulmaz [48]. Gerçek hayatta da, problemler belirsiz ve çözümleri kesin olmadığı için, bulanık mantık, problemlerin tanımlanması ve çözülmesi için kullanışlı bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü bulanık mantıkta, klasik mantıktan farklı olarak, “orta”, “düşük”, “gri” gibi ortalama değerler kullanılarak, insan düşünme sistemine uygunluk açısından da yakınlık göstermektedir [49].

4.3. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi, kesinlikle doğrudan kesinlikle yanlış olana kadar değişen, kısmi gerçek değerler kavramını ele almak için geliştirilmiştir [50]. Bulanık küme teorisi hakkındaki ilk çalışmalar Lotfi A. Zadeh (1965) ve Joseph Amadee Goguen (1967) tarafından yapılmıştır [51-53]. Bulanık küme teorisi, gerçek dünya problemleri için izlenebilirlik, sağlamlık ve düşük maliyetli çözümleri hedefleyen; belirsizliği ele alan, önemli bir araç haline gelmiştir [50]. Geleneksel yollarla yapılan nicelleştirmeler için, karmaşık durumları makul bir şekilde açıklamak hiç kolay değildir ve doğal veya yapay bir dilde, değerleri kelime ya da cümleler olan dilsel değişkenleri kullanmak gereklidir [54]. Bulanık küme teorisi, karar vericiler tarafından, sabit değerli yargı yerine aralıklı yargı vermeyi sağladığı için daha güvenli bulunmaktadır [44]. Çünkü karşılaştırma sürecinin bulanık yapısı gereği, karar vericiler, tercihleri hakkında net olamamaktadırlar [44]. Son yirmi yıla yakın bir zamanda ise, bulanık küme teorisi, yapay zekâ, bilgisayar, yönetim bilimi, kontrol teorisi ve istatistik gibi alanlarda geniş yelpazede uygulanmakta ve kullanılmaktadır [50].

Literatürde, farklı bilim adamları tarafından önerilen birçok bulanık AHP (BAHP) metotları vardır. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile ilgili ilk çalışmalar Van Laarhoven ve Pedrycz tarafından 1983 yılında yapılmıştır [55]. Bu çalışmada, karar vericilere, düşüncelerini,

üçgensel üyelik fonksiyonları ile bulanık sayılarda ifade etmesi istenmiştir. Buckley (1983) ise, karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini belirlemek için trapezoidal (ikizkenar yamuk) üyelik fonksiyonunu ve geometrik ortalama metodunu kullanmıştır. Daha sonra, bütün alternatifler için, nihai bulanık ağırlıkları hesaplamıştır [47]. Van Laarhoven, Pedrycz ve Buckley, bulanık sayılar ile temsil edilen bulanık programları kullanarak, ikili karşılaştırma süreçlerindeki kararsızlığı ve öznelliği en az indirmek için Saaty' nin çalışmasını [28] geliştirmeye çalışmışlardır [56]. Fakat kullandıkları bulanık programların (fuzzy utility), ilgili alternatiflerin önceliklerini belirleyebilmek için, sıralanması gerekmektedir. Bu da, kullanılan sıralama metotlarının son derece karmaşık olmasından dolayı güvenilir olmayan sonuçlar doğurabilmektedir[56,57]. Bu problemin üstesinden gelmek için Mikhailov tarafından (2003), en uygun öncelikler elde etmek için, bulanık tercih programlama fikrini ortaya atıldı [58]. Bu yaklaşımda, bulanık karşılaştırma matrislerinin karşılaştırılmasına gerek yoktur ve öncelikler, tamamlanmamış bulanık kararlardan türetilmektedir [58]. Fakat bu program, mevcut diğer bulanık önceliklendirme metotlarından [47,55] daha iyi olduğunu iddia etse de, içerdiği karmaşık matematik, uygulanabilirliğini kısıtlayabilmektedir [56].

Stam ve arkadaşları ise (1996), yapay zekâ tekniklerinin AHP' deki tercih edilen derecelendirmeleri belirlemek ve tahmin etmek için nasıl kullanıldığını araştırmışlardır [59]. Sonuç olarak, ileri beslemeli sinirsel ağ formülasyonunun, , bulanık oran ölçekli tercih kararları ile birlikte, ayrı alternatif çok kriterli karar verme problemlerini analiz etmek için, güçlü bir araç olduğunu bulmuşlardır [59]. Chang (1996) ise, bulanık AHP (BAHP) çözümünde, bulanık AHP' nin ikili karşılaştırma değerleri için, üçgensel bulanık sayıların kullanımı ile yeni bir yaklaşım önermiştir [60]. Cheng ise (1996), bulanık analitik hiyerarşi süreci yardımıyla, üyelik fonksiyonunun performans skorlarına göre, denizaltı taktik füze sistemlerini değerlendirmek için, yeni bir algoritma geliştirmişlerdir [61]. Daha sonraları ise, ikizkenar üçgen üyelik fonksiyonları ya da Gauss üyelik fonksiyonları gibi farklı tiplerdeki bulanık rakamlar kullanılarak ta diğer metotlar geliştirilmiştir [62,63].

4.4. Bulanık Küme Teorisi ve Üyelik Fonksiyonları

Birçok dil içerisinde, anlamlarda çokluk ve karmaşıklık bulunmaktadır. Özellikle açık bir şekilde açıklanmamış sıfatlar, anlamlarda karmaşıklığa yol açabilmektedirler. Örnek olarak, şişman insanlar denildiğinde, açık bir şekilde kimin şişman olduğunu belirleyemeyiz. Fakat “şişman” kavramındaki belirsizliği, ifadeyi miktar olarak, yani 80 kg ile 100 kg arasındaki insanlar şişmandır olarak değiştirirsek ve aradaki değerler için [0-1] aralığında derecelendirme yaparsak, belirsizliği ortadan kaldırmış oluruz. Bu şekilde bir sözcüğün temsiline *anlamanın nicelleştirilmesi* denilmektedir [64]. Bulanık küme teorisi de, belirli bir küme teorisi çerçevesiyle beraber, kelimelerin anlamlarının nicelleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bulanık küme teorisinde sıklıkla kullanılan bazı terimler bulunmaktadır. Bu terimlerin özümsemesi durumunda bulanık küme teorisinin daha iyi anlaşılacağı düşünülmektedir.

Bulanık kümeler, üyelik derecesi [0-1] kapalı aralığında, gerçel sayılar ile ifade edilen ve yetersiz tanımlanmış kümeler olarak tanımlanabilir.

Üyelik fonksiyonu ya da *karakteristik fonksiyon*, 0 ile 1 sayıları arasında, tercih kümesine ait olma derecesini ifade etmektedir ve μ ile gösterilmektedir [64]. Kümeye dâhil olmayan, kümenin dışında kalan elemanlar için üyelik değerleri 0, kümeye dâhil olanlar için 1 değeri atanmaktadır. Kümeye kısmi olarak dâhil olan, diğer bir deyişle dâhil olup olmadıkları belirsiz olan elemanlara ise, belirsizlik durumlarına göre, 0 ve 1 arasında değerler atanmaktadır [64] [65]. Basitçe ifade edilecek olursa; bulanık bir A kümesinin μ ile ifade edilen üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir:

$\mu : X \rightarrow [0,1]$ Burada X, evrensel kümeyi göstermektedir.

Herhangi bir A kümesi için, karakteristik fonksiyon şu şekilde tanımlanır [66]:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (4.1)$$

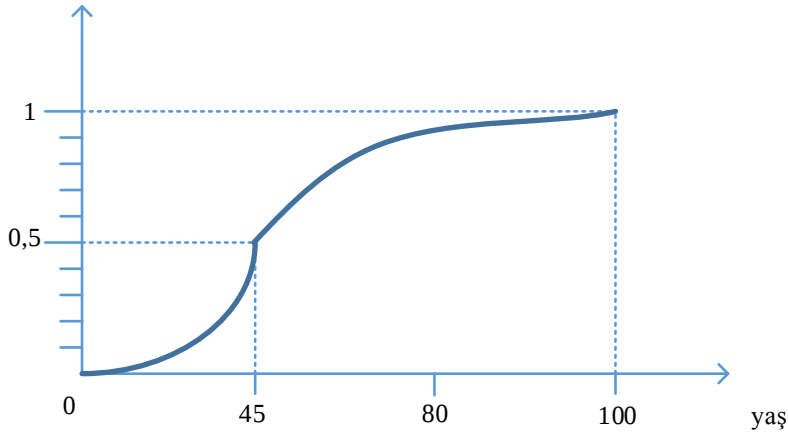
Burada X_A , A kümesine ait olan ve olmayan elemanları göstergesidir. Bir elemanın, kümenin yalnızca kısmi üyeliği olması durumunda ise, küme içindeki bu elemanın üyelik derecesini tanımlayabilmek için, karakteristik fonksiyonun genelleştirilmesi gerekmektedir. Bunun anlamı da, daha büyük değerler, daha yüksek üyelik derecelerini göstermektedir, denilebilir.

Bir başka örnek verilecek olunursa; evren kümesinde var olan, tüm insan kümesini P olarak adlandıralım. O zaman;

$$P_f = \{p \in P \mid p \text{ yaşlı}\}$$

şeklinde yazılsın. Burada P_f , P' nin bulanık alt kümesidir. Çünkü buradaki “yaşlı” sıfatı iyi bir şekilde tanımlanamamıştır, bu yüzden de tam olarak ölçülememektedir. Örnek olarak, 45 yaşındaki bir insanın, P_f kümesinin üyesi olup olmadığı belli değildir. Bu yüzden, alt küme olan P_f ’ in, doğru ve tam tanımlanabilmesi için, iyi açıklanması gerekmekte ve “yaşlı” kavramının miktarı ölçülmesi gerekmektedir.

Yukarıdaki örnekten devam edilecek olursa, “yaşlı” kavramını ele alalım ve 100 yaşında ve daha büyük yaşlarda olan insanları “kesinlikle yaşlı olarak” kabul edilsin. Yeni doğmuş bebekler de “kesinlikle genç” kabul edilsin. Diğer insanlar da yaşlarına bağlı olarak genç ya da yaşlı olarak alınsın. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi, ölçüm eğrisinde, 45 yaşındaki bir kişinin “0,5 mevkiinde” ve “yaşlı” olduğunu ve aynı zamanda da “genç” ve “0,5 mevkiinde” olduğu varsayılsın.



Şekil 4.1. Örnek bir üyelik fonksiyonu

45 yaşında olan bu insanın P_f ile ifade edilen kümenin ne içine alabiliriz ne de dışında tutabiliriz. Bu sebeple, “yaşlılık” ifadesinin tam olarak anlaşılabilmesi için matematiksel bir ölçme oluşturulmalıdır. Daha sonrasında ise, yukarıda açıklanan P_f alt kümesine göre, herhangi bir kişinin kısmi üyeliğini tanımlamak için kullanılabilir.

Şekil 4.1’deki eğride, karakteristik fonksiyon X_{p_f} ’in genellemesi yapılmaktadır. Diğer bir deyişle, kişilerin hangisinin alt küme olan P_f ’in üyesi, hangilerinin üyesi olmadığını anlamak için kullanılabilir. X_{p_f} burada *üyelik fonksiyonu* olarak adlandırılmaktadır. Daha genel bir gösterim ile $[0,1]$ kapalı aralığında, bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonu μ_{P_f} ile gösterilir.

Elemanlarının aldığı üyelik derecelerin farklı olmasından ötürü, bulanık ve bulanık olmayan kümeler arasında farklılık bulunmaktadır. Bulanık olmayan bir kümenin elemanlarının, üyelik dereceleri bakımından değerleri 0 veya 1 sayılarından biri olurken, bulanık küme için üyelik dereceleri $[0,1]$ kapalı aralığında herhangi bir değer olabilmektedir [67]. Buradan hareketle, bulanık bir kümenin üyelik fonksiyonlarının farklı biçimlerde verilebileceği açıktır. Literatürde açıklanan üyelik fonksiyonlarından bazıları aşağıda açıklanmıştır [67]:

- İki Parametrelili Artan Üyelik Fonksiyonu
- İki Parametrelili Azalan Üyelik Fonksiyonu
- Üç Parametrelili Artan Üyelik (S) Fonksiyonu
- Üçgensel (Triangular) Üyelik Fonksiyonu
- Yamuk (Trapezodial) Üyelik Fonksiyonu
- Çan-Şekilli Üyelik Fonksiyonu

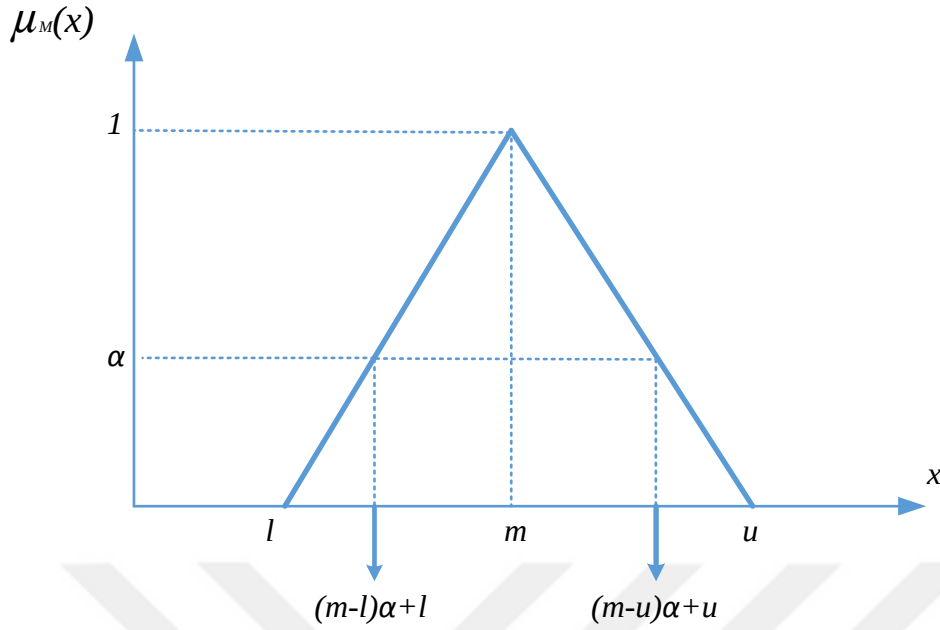
Bu çalışmada üçgensel üyelik fonksiyonlarına odaklanıldığı için, sadece üçgensel üyelik fonksiyonları ile ilgili detay verilmiştir.

4.4.1. Üçgensel (Triangular) üyelik fonksiyonları

Bulanık sayılarda üyelik fonksiyonları farklı şekillerde olabilmektedir. Üçgensel üyelik fonksiyonları, kolay anlaşılır ve uygulanabilir olması, matematiksel işlemlerin karmaşık olmaması ve sayıların lineer olması sebebiyle, yamuk bulanık sayılarla birlikte pratikte en fazla tercih edilen üyelik fonksiyonlarından birisidir.

Üçgensel bulanık sayılar (l, m, u) şeklinde üç parametre ile gösterilirler. Burada l en küçük değeri ya da alt sınırı, m en olası değeri, u en büyük değeri ya da üst sınırı temsil etmektedir. Şekil 4.2’de gösterilen $\tilde{M}$, bir bulanık küme olsun. $x \in M$ ve $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu olmak üzere $\mu(x)$ şu şekilde tanımlanır:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & , \quad l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & , \quad m \leq x \leq u \\ 0 & , \quad x > u \end{cases} \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Üçgensel Bulanık Sayı Gösterimi, $\tilde{M}$

Üçgensel bulanık sayılarda, adından da anlaşılacağı gibi, herhangi bir sayı yazılmak istenirse, bu sayı üç bileşenden oluşmak zorundadır ve bu bileşenler küçükten büyüğe doğru yazılır. Şekil 4' te görülebilir. Üçgensel bir bulanık sayıda, ortadaki bileşen, yazılan kriter yada alternatif için, alabileceği optimum yani en mümkün değeri temsil etmektedir. Ayrıca, yazılan sayının alt ve üst değerleri, optimum değere eşit mesafede olmak zorunda değildir [68].

4.5. Bulanık Sayılar

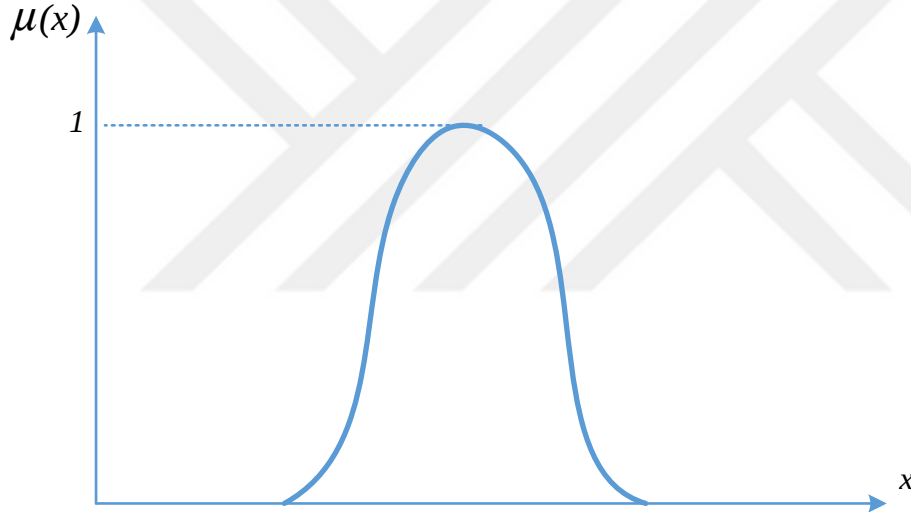
Bir sayının, ya da kümenin, bulanık olarak adlandırılabilmesi için bazı şartları yerine getirmesi gerekmektedir. Bir küme, bulanık sayı olabilmesi için, $[0,1]$ kapalı aralığında, normallik ve dışbükey (konvekslik) özelliklerine sahip olmalıdır [69,70].

Dışbükeylik, bulanık küme teorisinde bir role sahiptir. Klasik küme teorisinin aksine, konvekslik koşulları bir bulanık kümenin desteğinden ziyade, üyelik fonksiyonuna referansı ile tanımlanır [69]. α – kesmeleri, bulanık kümelerin dışbükey olup olmadıkları hakkında önemli bir paya sahiptir. Bulanık bir kümede konvekslik konusu araştırıldığında, öncelikle α – kesmelerinin dışbükeyliğine bakılır [67].

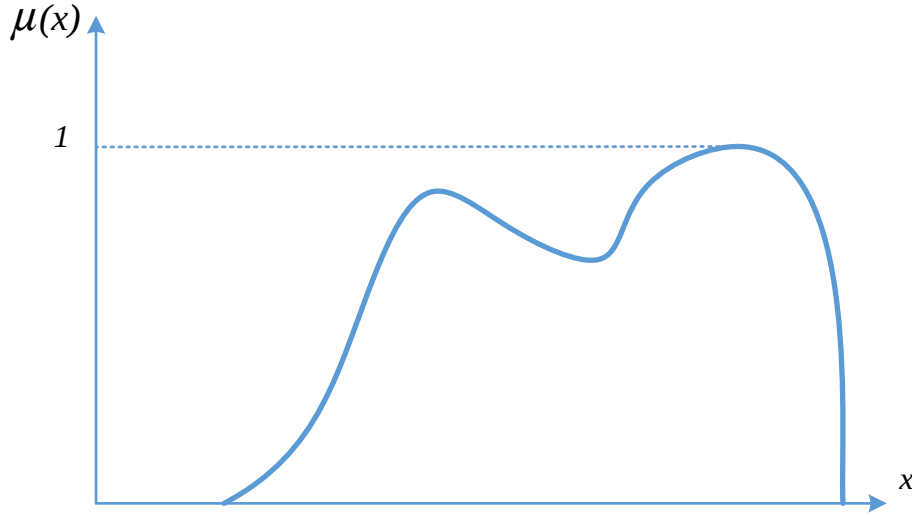
Bulanık bir $\tilde{A}$ kümesi konvektir eğer;

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)), \quad x_1, x_2 \in X, \lambda \in [0,1] \quad (4.3)$$

Alternatif olarak, eğer tüm α – kesmeleri dışbükey ise, bulanık küme dışbükeydir, denilebilir. Şekil 4.3 ve 4.4'te konveks ve konveks olmayan bulanık kümeler, sırasıyla görülmektedir [69]. Şekillerden de görülebileceği üzere, kümede eğer, kümenin içine doğru bir bükeylik var ise, bu kümenin iç bükey olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada aksi söylenmedikçe bulanık küme terimi, konveks bulanık kümeyi temsil edecektir.

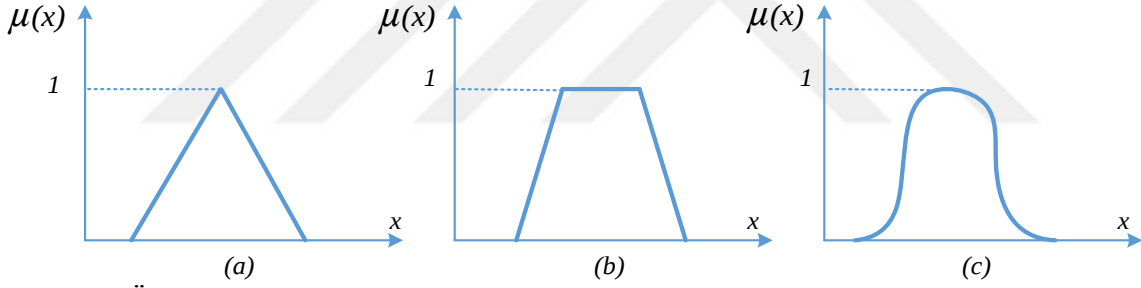


Şekil 4.3. Konveks bulanık küme gösterimi



Şekil 4.4. Konveks olmayan bulanık küme gösterimi

Dış bükey bulanık kümelerle ilişkin diğer üyelik fonksiyonları Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Üçgensel (triangular), yamuk (trapezoidal) ve gaussian üyelik fonksiyonları

Diğer bir bulanık sayı olma şartı ise, kümenin elemanlarının aldığı üyelik derecesinin en üst değerin 1'e eşit olmasıdır. Bu duruma sahip olan bir bulanık küme, *normal bulanık küme* olarak adlandırılır [69]. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\exists x \in \mathbb{R}, \quad \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \quad (4.4)$$

4.6. Üçgensel Bulanık Sayılarda Aritmetik İşlemler

Üçgensel bulanık sayılarda çeşitli ve çok sayıda işlemler gerçekleştirilebilmektedir. İki üçgensel sayı olan $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ verilsin. Bu iki üçgensel bulanık sayı $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde tanımlanmış olsun. Aşağıda bu iki üçgensel bulanık sayı ile gerçekleştirilebilecek operasyonlarla ilgili bilgilere yer verilmiştir [69].

Toplama:

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (4.5)$$

Çıkarma:

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (l_1, m_1, u_1) - (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (4.6)$$

Çarpma:

$$\tilde{A}(x) \tilde{B} = (l_1, m_1, u_1) x (l_2, m_2, u_2) = (l_1 x l_2, m_1 x m_2, u_1 x u_2) \quad (4.7)$$

Bölme:

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ 'nin her ikisinin de pozitif olduğu durumlarda;

$$\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \frac{(l_1, m_1, u_1)}{(l_2, m_2, u_2)} = \left[\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right] \quad (4.8)$$

$\tilde{A}_1$ negatif ve $\tilde{A}_2$ pozitif olduğunda;

$$\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \frac{(l_1, m_1, u_1)}{(l_2, m_2, u_2)} = \left[\frac{l_1}{l_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{u_2} \right] \quad (4.9)$$

Tersini Alma:

$$(\tilde{A})^{-1} \approx (l_1, m_1, u_1)^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right) \quad (4.10)$$

Reel Sayı S ile çarpma:

$$\forall S > 0, S \in \mathbb{R}, \quad S.\tilde{A} = (S.l_1, S.m_1, S.u_1) \quad (4.11)$$

$$\forall S < 0, S \in \mathbb{R}, \quad S.\tilde{A} = (S.u_1, S.l_1, S.m_1) \quad (4.12)$$

Logaritma İşlemi:

$$\ln(\tilde{A}) \approx [\ln(l_1), \ln(m_1), \ln(u_1)] \quad (4.13)$$

Üstel (Eksponansiyel) İşlem:

$$\exp(\tilde{A}) \approx [\exp(l_1), \exp(m_1), \exp(u_1)] \quad (4.14)$$

Negatifini Alma İşlemi:

$$-(\tilde{A}) = (-l_1, -m_1, -u_1) \quad (4.15)$$

Örnek: $\tilde{A} = (1, 4, 5)$ ve $\tilde{B} = \left(2, 3, \frac{7}{2} \right)$ olarak verilsin.

Bu bulanık sayıların aritmetik işlemleri aşağıda örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır.

Toplama İşlemi:

$$\tilde{A} + \tilde{B} = \left[1+2, 4+3, 5+\frac{7}{2} \right] = \left[3, 7, \frac{17}{2} \right]$$

Çıkarma İşlemi:

$$\tilde{A} - \tilde{B} = \left[1 - \frac{7}{2}, 4 - 3, 5 - 2 \right] = \left[-\frac{5}{2}, 1, 3 \right]$$

Çarpma İşlemi:

$$\tilde{A} \times \tilde{B} = \left[1 \times 2, 4 \times 3, 5 \times \frac{7}{2} \right] = \left[2, 12, \frac{35}{2} \right]$$

Bölme İşlemi:

$$\tilde{A} / \tilde{B} = \left[\frac{1}{7/2}, 4/3, 5/2 \right] = \left[\frac{2}{7}, \frac{4}{3}, \frac{5}{2} \right]$$

Tersini Alma İşlemi:

$$(\tilde{A})^{-1} = [1, 4, 5]^{-1} = \left[\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{1} \right]$$

Reel Sayı İle Çarpma İşlemi:

$$S = 3 \text{ için; } S \cdot \tilde{A} = 3 \cdot [1, 4, 5] = [3, 12, 15]$$

4.7. Üçgensel Bulanık Sayılarda Operasyonel İşlemler

X uzayında tanımlanan x elemanı için, $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ üçgensel bulanık sayıları için, en sık kullanılan Operasyonel işlemlerden, birleşim, kesişim ve tümleyen ile ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir:

Birleşim:

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (4.16)$$

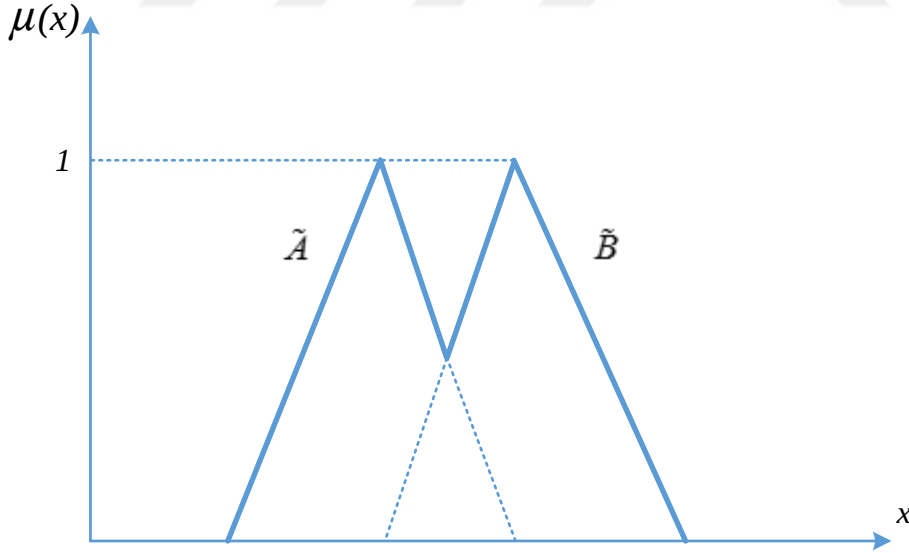
Kesişim:

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (4.17)$$

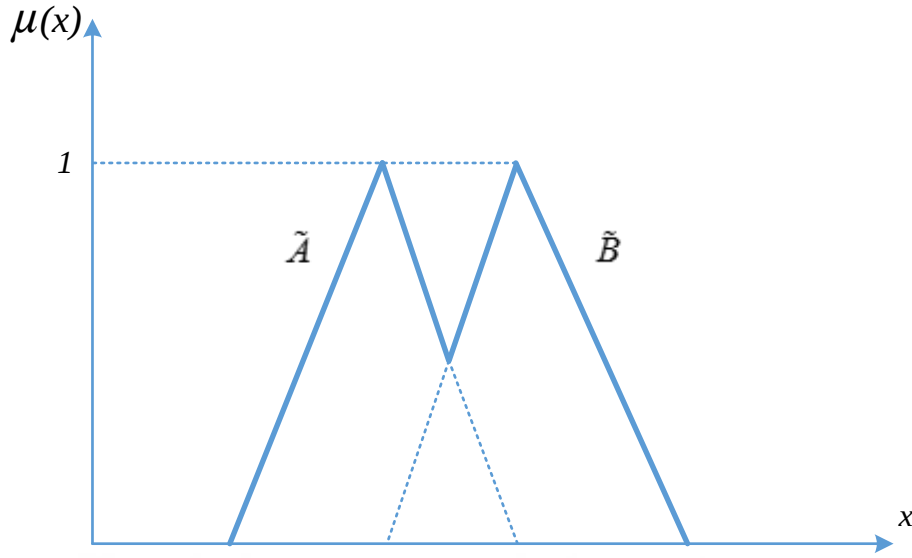
Tümleyen:

$$\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.18)$$

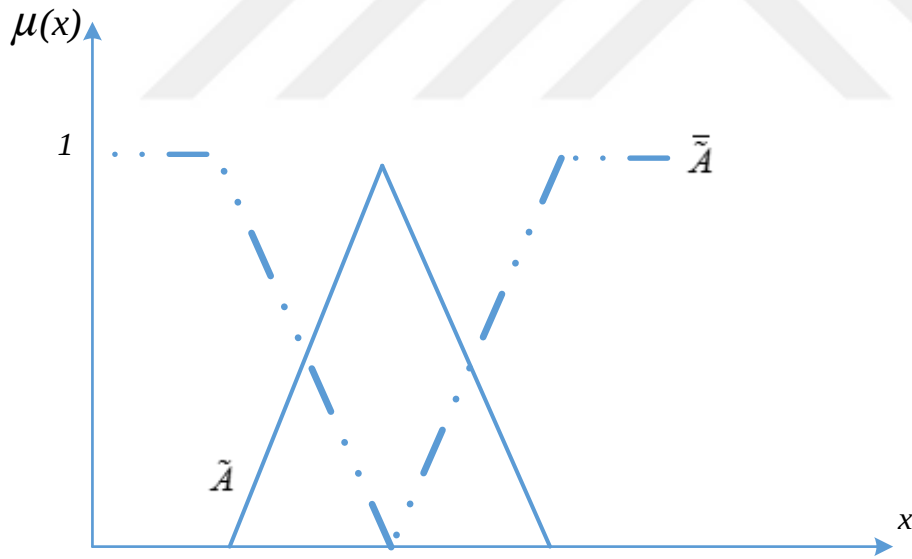
Bu operasyonlar için Venn diyagramları, bulanık kümeler için genişletilebilir. Eş. 4.16, Eş. 4.17 ve Eş. 4.18 ile verilen operasyonlar *standart bulanık operasyonlar* olarak bilinmektedir [71]. Bu diyagramlar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.6. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ Bulanık Kümelerinin Birleşimi



Şekil 4.7. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ bulanık kümelerinin kesişimi



Şekil 4.8. $\tilde{A}$ Bulanık kümesinin tamamlayanı (tümleyeni)

4.8. Bulanık Sayıların Sıralanması

Bilindiği üzere pratik hayatta, dilsel karar verme süreçlerinde bulanık sayıların sıralanması çok önemli bir rol oynamaktadır [72]. Dünyada mevcut olan problemlerin çoğu olasılıksal olmaktan çok bulanıktır. Çoklu karar verme problemlerinde (MADM) kullanılan sayılar bulanık olduğunda, kriter ve alternatiflerin aldıkları son değerlerde bulanık sayılar olmaktadır. Bulanık sayılar, farklı üyelik değerlerine sahip, çok sayıda olası gerçek sayıyı temsil ettiğinden dolayı, alternatif ya da kriterlerin son değerlerini kıyaslayarak hangisinin tercih edileceğine karar vermek çok zordur [73]. Diğer bir deyişle, bulanık sayılar, reel sayılardaki gibi net sıralı bir küme vermez. Bu sebeple, bulanık sayıların sıralanması üzerine yirminin üzerinde, farklı metot geliştirilmiştir [72]. Her bir yöntemin kendi içinde avantaj ve dezavantajları olduğu için, en iyi yöntemi söylemek ya da sıralamak mümkün olmamaktadır.

Bulanık sayıların sıralanma prosedürü ile ilgili yapılan çalışmalar ilk olarak 1976 yılında Ramesh Jain tarafından yapılmıştır [74]. Jain, çalışmasında bulanık sayıları sıralamak için, küme maksimize etme kavramını kullanmıştır. Jain' in metodunda, karar verici, üyelik fonksiyonun sadece sağ tarafını değerlendirmektedir. Baas ve Kwakernaak ise (1977), gerçek sayıların doğal sıralamasının, bulanık sayılar içinde uygulanabilmesi için kanonik bir yol önermiştir [75]. Baldwin ve Guild (1979) yaptıkları çalışmada, bu iki yöntemin bazı dezavantajları olduğunu göstermiştir [76]. Bartolan ve Degani (1985), bazı bulanık sayı sıralama metotlarını karşılaştırmış ve test etmiştir [57]. Chen (1985) ise, küme maksimize ve minimize etme kavramlarını kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmiştir [77]. Liou ve Wang (1992), Chen' in yaklaşımındaki bazı eksiklikleri tamamlamak için, entegral değer yöntemine dayanan bir sıralama yaklaşımı önermişlerdir. Cheng (1998), bulanık sayıları sıralama problemleri için, mesafe metodu yaklaşımını benimsemiş ve varyasyon katsayısını (*coefficient of variation*) tanımlamıştır [78]. Chu ve Tsao (2002) yaptıkları çalışmada, Cheng' in metodunda bazı yanlışları belirlemiş ve bulanık sayıları sıralayabilmek için, merkez ve orijinal noktalar arasında alanı kullanarak bir metot geliştirmişlerdir [79]. Abbasbandy ve Asady (2006) ise, bulanık sayıları işaret mesafesi metodu ile sıralamışlardır [80]. Abbasbandy ve Hajjari (2009) ise, trapezoidal bulanık sayıların sıralamasını yapabilmek için, yeni bir yaklaşım önermişlerdir.

Cheng ve Hwang' a göre sıralama metotları dört ana sınıfa ayrılabilir [73]:

Tercih ilişkisine göre:

- İyimserlik derecesi tekniği
- Hamming mesafesi tekniği
- α – Kesme tekniği

Bulanık ortalama ve yayılma:

- Olasılık dağılımı tekniği

Bulanık puanlama:

- Optimal oran tekniği
- Sol/sağ puanlar yöntemi
- Ağırlık merkezi (centroid) endeksi yöntemi
- Alan ölçümü yöntemi

Dilsel ifadeler:

- Sezgisel yöntem
- Dilsel yaklaşım yöntemi

Nguyen' e göre ise mevcut sıralama yöntemleri iki ana başlıkta toplanabilir [81]:

- Merkez, alan ve sapma odağı gibi sıralama metotlarını kullanarak bulanık sayılara değer atayan yöntemler,
- Sadece bulanık sayıları değerlendirmek yerine, güven ve risk gibi belirli amaçlar için karar vericinin davranışını ölçen yöntemler.

Literatürde, üçgensel bulanık sayıların sıralanması ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmış ve birçok metot önerilmiştir. Bölüm 5' te anlatılan, risk indikatörlerinin sıralaması yapılırken, Chang' ın (1996) sıralama yöntemiyle birlikte, literatürde daha önce kullanılmış bazı metotların yanında, yeni metotlarda kullanılacak ve bu metotların kendi aralarında tutarlı olup olmadıkları da incelenecektir. Bu metotlardan bazıları:

- Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu
- Kuadratik Ortalama Metodu
- Dereceli Ortalama Entegrasyon Temsil Metodu

4.8.1. Geliştirilmiş integral değer metodu

Bulanık sayıları sıralama yaklaşımları arasında, integral değer metodu, geniş uygulama alanları olan, daha yaygın kullanılan ve alıntı yapılan metot olarak karşımıza çıkmaktadır [81,82]. Bu metotta, adından da anlaşılacağı üzere, bulanık sayıları, net olarak ifade edebilmek için integral ifadeler kullanılmaktadır [83]. İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a,b,c)$ olmak üzere toplam integral değer;

$$I_T^\alpha(\tilde{A}) = \frac{1}{2}\alpha(b+c) + \frac{1}{2}(1-\alpha)(a+b) = \frac{1}{2}[\alpha c + b + (1-\alpha)a] \quad (4.19)$$

şeklinde oluşur. Bu ifade, hem normal hem de normal olmayan üçgensel bulanık sayılar için aynıdır ve her iki durumda da kullanılabilir.

İyimserlik endeksi olan α , karar vericinin iyimserlik derecesini temsil etmektedir. İyimserlik endeksi, bir (1) rakamına ne kadar yakın olursa, karar verici o kadar iyimserdir, denilebilir. Diğer şekilde, iyimserlik endeksi, sıfıra yakın olması, karar vericinin herhangi bir $\tilde{A}_i$ ve $\tilde{A}_j$ bulanık sayıları için;

$$I_T^\alpha(\tilde{A}_i) < I_T^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i < \tilde{A}_j \quad (4.20)$$

$$I_T^\alpha(\tilde{A}_i) = I_T^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i = \tilde{A}_j \quad (4.21)$$

$$I_T^\alpha(\tilde{A}_i) > I_T^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i > \tilde{A}_j \quad (4.22)$$

İlk olarak Liou ve Wang (1992) tarafından ortaya atılan ve karar vericinin belirli amaçlar ile ilgili tutumunu dikkate alan bu yöntemin bazı eksiklikleri ve hataları olduğu görülmüştür [78,82]. Bu metot, normal ve normal olmayan üçgensel ve/veya trapezoidal bulanık sayıları arasında bir ayırım yapamamaktadır. Ayrıca, bu metot, bulanık sayının sağ veya sol integral değerleri sıfır olduğunda, iyimserlik endeksinin, bulanık sayının sağ ya da sol integral değerine bir etkisi olmamaktadır [82]. Buna ek olarak, Liou ve Wang'ın yaklaşımı (1992), bulanık sayıların sıralanması ve görünümleri arasında bir tutarsızlık yaratmaktadır [82].

Geliştirilmiş entegral değer metoduna göre [82]:

İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ olmak üzere toplam entegral değer;

$$X = (a, b, c)$$

$x_{\min} = \inf X$ olmak üzere, geliştirilmiş entegral değer;

$$S_r^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2}\right) [\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min}] = \left(\frac{w}{2}\right) [\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min}] \quad (4.23)$$

olarak tanımlanır.

$$S_r^\alpha(\tilde{A}_i) < S_r^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i < \tilde{A}_j \quad (4.24)$$

$$S_r^\alpha(\tilde{A}_i) = S_r^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i = \tilde{A}_j \quad (4.25)$$

$$S_r^\alpha(\tilde{A}_i) > S_r^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i > \tilde{A}_j \quad (4.26)$$

Eğer iki üçgensel bulanık sayının entegral değerleri aynı çıkarsa, geliştirilmiş metoda göre, bulanık sayıların medyan değeri kullanılabilir.

Me bulanık sayıların medyan değeri olmak üzere ve $\tilde{A} = (a, b, c)$ üçgensel bulanık sayısı için [84] :

- Eğer $a \leq Me \leq b$ ise;

$$Me = a + \sqrt{\frac{(b-a)(c-a)}{2}} \quad (4.27)$$

- Eğer $b \leq Me \leq c$ ise;

$$Me = c - \sqrt{\frac{(c-a)(c-b)}{2}} \quad (4.28)$$

Olarak tanımlanır. Buna göre;

$$Me(\tilde{A}_i) < Me(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i < \tilde{A}_j \quad (4.29)$$

$$Me(\tilde{A}_i) < Me(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i < \tilde{A}_j \quad (4.30)$$

$$Me(\tilde{A}_i) < Me(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i < \tilde{A}_j \quad (4.31)$$

olarak bulunur.

4.8.2. Kuadratik ortalama metodu (RMS Metodu)

Kuadratik ortalama formülü, diğer bir adıyla, kare ortalamalarının kökü formülü, verilen bir sayı kümesinin büyüklüğünün göstermek için kullanılabilir.

$\tilde{A} = (a, b, c)$ üçgensel bulanık sayısı için;

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}} \quad (4.32)$$

Yazılabilir. Üçgensel bulanık sayıların sıralamasında literatürde ilk kez 2008 yılında kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [68]. Kuadratik ortalama metodu yardımıyla durulaştırılan üçgensel bulanık sayılar, daha sonra kendi aralarında sıralanabilirler.

4.9. Bulanık Sayılarda Durulaştırma Nedir ve Nasıl Yapılır?

Bazı durumlarda, bulanık kümelerin aksine, bulanık bir işlemin sonucunun, tek ve skaler büyüklükte olması gerekebilir. Basit anlamda, durulaştırma; bulanık bir büyüklüğün, kesin ve net bir büyüklüğe dönüştürülmesi işlemidir. Son yıllarda, literatürde, bulanık üyelik

fonksiyonların durulaştırmasıyla ilgili birçok metot uygulanmıştır. Bu metotlardan bazıları şunlardır [71]:

- Maksimum Üyelik Prensibi (Max-membership Principle)
- Sentroid (Ağırlık Merkezi) Metodu (Centroid Method)
- Ağırlıklı Ortalama Metodu (Weighted Average Method)
- Ortalama-Maksimum Üyelik (Mean-max Membership)
- Toplamların Merkezi (Centre of Sums)
- En Büyük Alan Merkezi (Centre of Largest Area)
- İlk veya Son Maksima (First of Maxima or Last of Maxima)
- Derecelendirilmiş Ortalama Entegrasyon Temsili Yöntemi (Graded Mean Integration Representation Method)

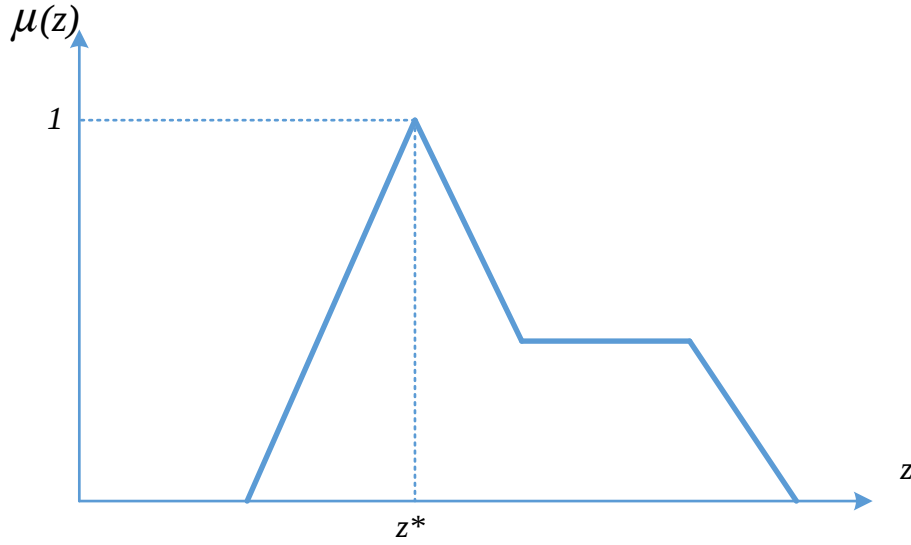
Yaygın bir şekilde kullanılan durulaştırma metotlarından bazıları, aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır [71,85].

4.9.1. Maksimum üyelik prensibi

Bu metot “*yükseklik*” metodu olarakta bilinir. Bu metottaki plan, en yüksek düzeydeki (peak noktası) çıkış fonksiyonlarıyla ilgilidir. Yöntemle ilgili matematiksel ifade şu şekilde ifade edilir:

$$\mu_{\bar{A}}(z^*) \geq \mu_{\bar{A}}(z), \quad \forall z \in Z, \quad (4.33)$$

Burada z^* durulaştırılmış değeri göstermektedir ve Şekil 4.9’da görülebilir.

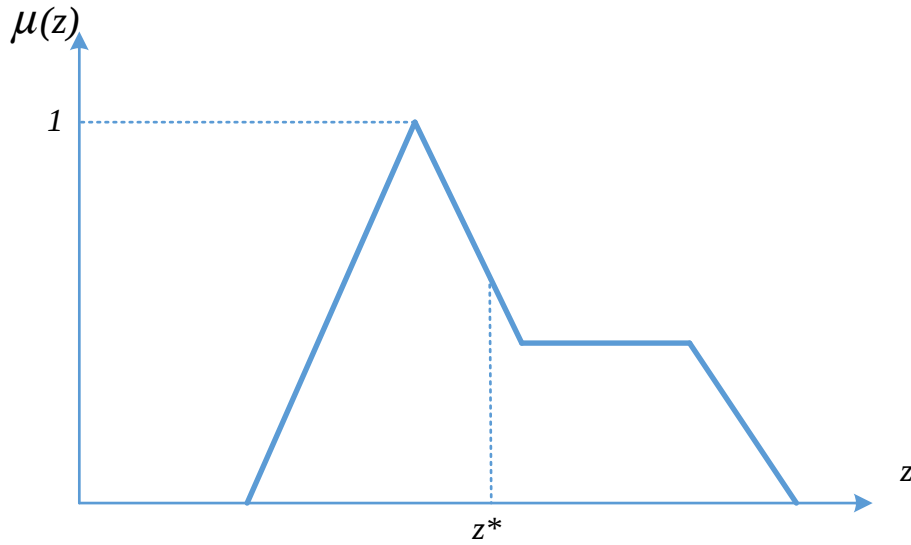


Şekil 4.9. Maksimum üyelik durulaştırma metodu

4.9.2. Ağırlık merkezi metodu

Bu metot ayrıca, “alan merkezi” ya da “sentroid” metodu olarakta adlandırılmaktadır. Tüm durulaştırma metotların içerisinde, en yaygın olarak kullanılan metot olarak kabul edilmektedir ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir [71,86]. Bu yöntem Şekil 4.10’da gösterilmektedir.

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{A}}(z) \cdot z dz}{\int \mu_{\tilde{A}}(z) dz} \quad (4.34)$$



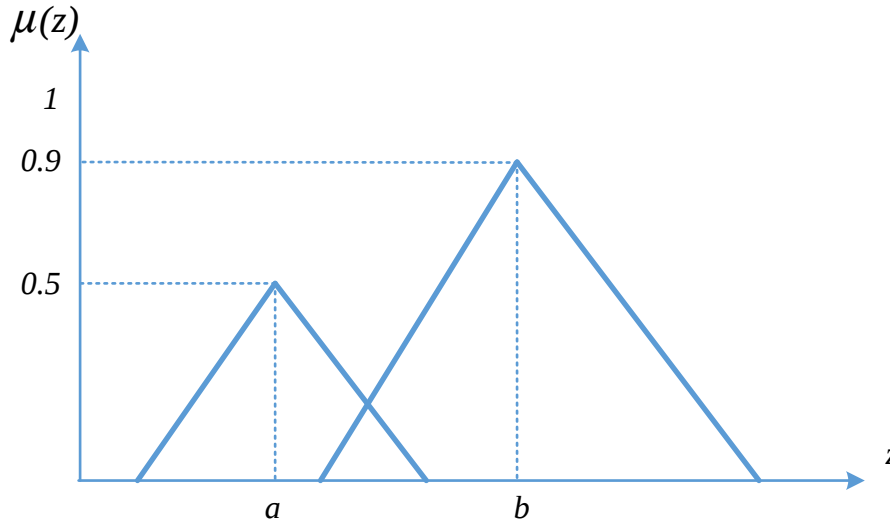
Şekil 4.10. Ağırlık merkezi durulaştırma metodu

4.9.3. Ağırlıklı ortalama metodu

Bu metot, hesaplamalarda sayısal olarak verimli olması sebebiyle, bulanık uygulamalarda en sık kullanılan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [71]. Buna rağmen, genellikle simetrik çıkışlı üyelik fonksiyonlarına uygulanabilmesi bu metodun zayıflığıdır. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{z}) \bar{z}}{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{z})} \quad (3.35)$$

Burada, $\bar{z}$, her bir simetrik üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezini (orta noktasını) temsil etmektedir. Şekil 4.11’de ağırlıklı ortalama metodu ile durulaştırma gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Ağırlıklı ortalama durulaştırma metodu

Bu yöntem, her bir üyelik fonksiyon çıkışının, ilgili maksimum üyelik değeri ile ağırlıkları alınarak oluşturulur. Örnek olarak, Şekil 4.10’da verilen iki fonksiyonun durulaştırma işlemi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

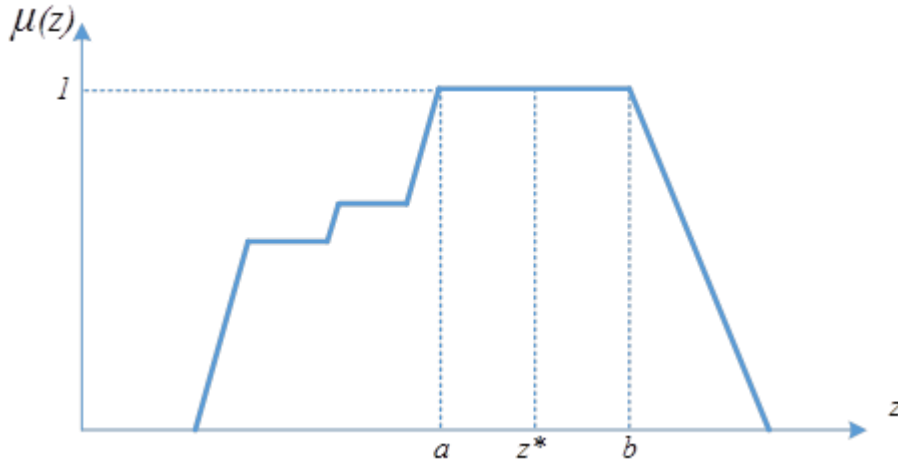
$$z^* = \frac{a(0.5) + b(0.9)}{0.5 + 0.9} \quad (4.36)$$

Bu metodun simetrik üyelik fonksiyonları ile sınırlı olması sebebiyle a ve b değerleri kendi şekillerinde ağırlık merkezleridir. Bu yöntem, bazı durumlarda simetrik olmayan fonksiyonlara ve çeşitli skaler çıkışlara uygulanmaktadır.

4.9.4. Ortalama maksimum üyelik

Bu yöntem, maksimum üyelik prensibi metoduyla benzerdir. Aralarındaki tek fark, maksimum üyeliğin yeri tek olmayabilir. Diğer bir deyişle, maksimum üyelik, tek bir noktadan ziyade, bir aralıkta olabilir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [86]. Formülde kullanılan değerler, Şekil 4.12’de görülmektedir.

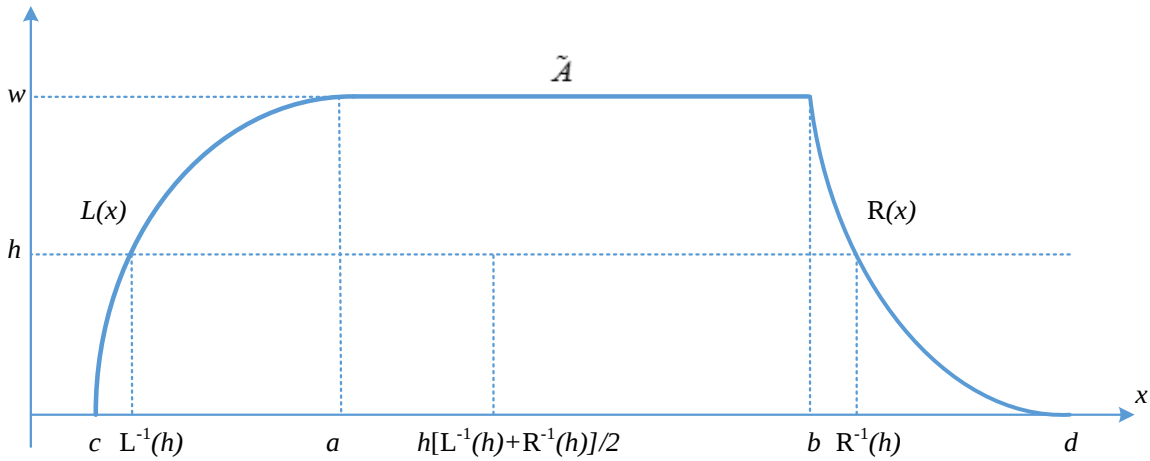
$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (4.37)$$



Şekil 4.12. Ortalama maksimum üyelik durulaştırma metodu

4.9.5. Derecelendirilmiş ortalama entegrasyon temsili yöntemi

Hem yamuk (trapezoidal) hem de üçgensel bulanık sayıların durulaştırılması için kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu metot, Şekil 4.13’de de gösterildiği gibi, genelleştirilmiş bulanık bir sayının derecelendirilmiş ortalama h -seviyesindeki integrasyonunun alınması esasına dayanmaktadır [87-89].



Şekil 4.13. Derecelendirilmiş ortalama h -seviyesi değerinin gösterimi

L^{-1} ve R^{-1} ’in, L ve R fonksiyonlarının tersi olduğunu düşünelim. Genelleştirilmiş bulanık bir sayının $\tilde{A} = (c, a, b, d; w)$ derecelendirilmiş ortalama h seviyesindeki değeri;

$$= \frac{h}{2} [L^{-1}(h) + R^{-1}(h)] \quad (4.38)$$

Olarak yazılabilir.

Daha sonra, durulaştırılmış $P(A)$ değeri;

$$P(\tilde{A}) = \frac{\int_0^w h \left[\frac{L^{-1}(h) + R^{-1}(h)}{2} \right] dh}{\int_0^w h dh}, \quad 0 < h < w, \quad 0 < w \leq 1 \quad (4.39)$$

şeklinde yazılır.

$\tilde{B} = (c, a, b, d; w)$ genelleştirilmiş trapezoidal bulanık bir sayı olsun. Bu durumda;

$$L(x) = w \left(\frac{x-c}{a-c} \right), \quad c \leq x \leq a, \quad (4.40)$$

$$R(x) = w \left(\frac{x-d}{b-d} \right), \quad b \leq x \leq d,$$

Daha sonra;

$$L^{-1}(h) = \frac{c + (a-c)h}{w}, \quad 0 \leq h \leq w, \quad (4.41)$$

$$R^{-1}(h) = \frac{d - (d-b)h}{w}, \quad 0 \leq h \leq w,$$

$$\frac{L^{-1}(h) + R^{-1}(h)}{2} = \frac{[c + d + (a-c-d+b)] \frac{h}{w}}{2} \quad (4.42)$$

Eş. 4.42'de bulunan sonuç, Eş. 3.39'da yerine konulursa;

$$P(\tilde{B}) = \frac{\int_0^w h \left[\frac{c+d+(a-c-d+b)}{2} \right] dh}{\int_0^w h dh} \quad (4.43)$$

$$= \frac{c+2a+2b+d}{6} \quad (4.44)$$

olarak bulunur.

Genelleştirilmiş üçgensel bulanık sayı olan $\tilde{Y} = (c, a, d; w)$; $b = a$ olduğunda, genelleştirilmiş trapezoidal bulanık sayısının özel bir durumudur. Bu durumda üçgensel bulanık sayısı için, Eş. 4.44'te durulaştırma işlemi yapıldığında;

$$P(\tilde{Y}) = \frac{c+4a+d}{6} \quad (4.45)$$

olur.

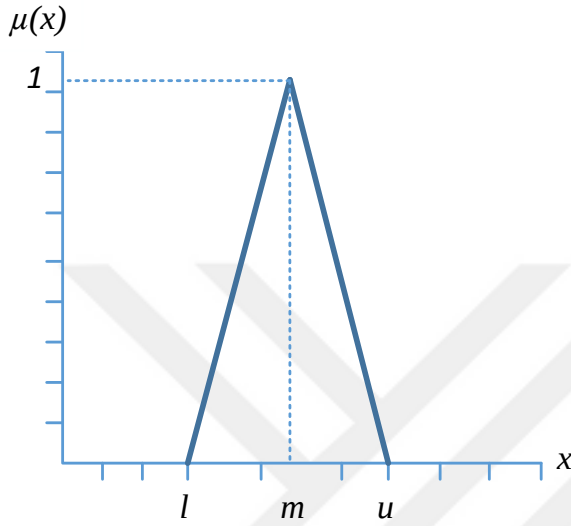
Yapılan bir çalışmada ise, ağırlık merkezi metodu uygulanırken, durulaştırma işleminden sonraki değerleri bulmak için aşağıdaki formül kullanılmıştır [90].

4.10. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde Farklı Yaklaşımlar

4.10.1. Laarhoven ve pedrcyz yaklaşımı

Van Laarhoven ve Pedrycz, karşılaştırma matrislerini, üçgensel bulanık sayılarla kullanarak, Analitik Hiyerarşi Prosesi'ni (AHP), farklı bir algoritma ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) olarak geliştirmeye çalışmışlardır [55]. Ağırlıklar, AHP adımları üzerinden tespit edilmeye çalışılır. Çalışmalarında, üçgensel bulanık sayılar kullanmışlardır ve hesaplama adımları AHP' de uygulanan adımlarla aynıdır [73].

Karşılıklı matrisdeki (reciprocal matrix) elemanlar, Şekil 4.14'deki gibi üçgensel bulanık sayılarla temsil edilmektedir. Bulanık ağırlıkları ve performans skorlarını türetebilmek için, Lootsma 'nın uygulamış olduğu en küçük kareler tekniği kullanılır [73, 91, 92]. Karşılıklı matriste birden fazla karar vericinin kararları uygulanabilir ve modellenenabilir.



Şekil 4.14. Üçgensel bulanık sayılar (l, m, u)

Bu metodun algoritma adımları aşağıda gösterilmiştir:

Adım 1: Bir grup karar vericinin dâhil olduğu, bulanık karşılaştırma matrisi $A = [\tilde{a}_{ij}]$ aşağıdaki gibi oluşturulsun:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12}^{\delta_{ij}} & \dots & \tilde{a}_{1n}^{\delta_{ij}} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \dots & \tilde{a}_{2n}^{\delta_{ij}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^{\delta_{ij}} & \tilde{a}_{n2}^{\delta_{ij}} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Burada $\tilde{a}_{ij}^{\delta_{ij}}$, çoklu karar verici tarafından değerlendirilmiş bulanık kararları göstermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus ise; eğer hiçbir karar verici yaptığı karşılaştırmaları ifade etmez ise δ_{ij} değeri sıfır olur. Eğer iki ya da daha fazla karar verici yaptığı karşılaştırmaları ifade eder ise, bu değer 1'den büyük olur.

Adım 2: Üçgensel bulanık sayılar için lineer denklemler $\bar{x}_i = (l_i, m_i, u_i)$ ve $\bar{y}_{ijk} = \ln a_{ijk} = (l_{ijk}, m_{ijk}, u_{ijk})$ aşağıdaki gibi çözülür.

$$l_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \delta_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \delta_{ij} u_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{\delta_{ij}} l_{ijk}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, \delta_{ij} \quad (4.46)$$

$$m_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \delta_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \delta_{ij} m_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{\delta_{ij}} m_{ijk}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, \delta_{ij} \quad (4.47)$$

$$u_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \delta_{ij} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \delta_{ij} l_j = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{\delta_{ij}} u_{ijk}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, \delta_{ij} \quad (4.48)$$

Eş. 4.46 ve Eş. 4.47 arasında l_{ijk} ve u_{ijk} erimleri, $\tilde{\alpha}_{ijk} = -\ln \tilde{a}_{ijk}$ 'nın alt ve üst değerlerini göstermektedir.

Genellikle, eşitlik (3.46) ve (3.47) arasındaki lineer denklemlerin çözümü aşağıdaki gibi yapılabilir.

$$x_i = (l_i + p_1, m_i + p_2, u_i + p_1); \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.49)$$

Buradaki p_1 ve p_2 değerleri, keyfi değerlerdir.

Adım 3: Eş. 4.49'daki X_i ifadesinin üstel değeri aşağıdaki gibi alınır:

$$\beta_i = \exp(x_i) = (\exp(l_i + p_1), \exp(m_i + p_2), \exp(u_i + p_1)); \quad i = 1, 2, \dots, n$$

β_i 'nin normalizasyonu neticesinde, $\tilde{\alpha}_i$ şu şekilde hesaplanır.

$$\tilde{\alpha}_i = \beta_i \left(\sum_{i=1}^n \beta_i \right)^{-1}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (4.50)$$

Burada $\tilde{\alpha}_i$, ağırlıklar w_i , $i=1,2,\dots,n$ için bulanık tahminleri göstermektedir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\tilde{\alpha}_i = (\gamma_1 \exp(l_i), \gamma_2 \exp(m_i), \gamma_3 \exp(u_i)), \quad i=1,2,\dots,n \quad (4.51)$$

Adım 4: Ağırlıklar w_i , $i=1,2,\dots,n$, $\tilde{\alpha}_i$ 'lerin herhangi bir durulaştırma metodu kullanılarak durulaştırılmasıyla elde edilirler. Burada tercih edilen yöntem, alan merkezi (CoA) yöntemidir ve aşağıdaki gibi hesaplama yapılır.

$$w_i = \frac{\gamma_1 \exp(l_i) + \gamma_2 \exp(m_i) + \gamma_3 \exp(u_i)}{3}, \quad i=1,2,3,\dots,n$$

4.10.2. Buckley yaklaşımı

Buckley de, bulanık karşılaştırma oranlarını a_{ij} birleştirmek için, Satty' nin yaklaşımını [28] geliştirmiştir [47]. Buckley' e göre, Van Laarhoven ve Pedrcyz' in metodu, iki (2) problemle karşı karşıya kalabilir. İlki, elde edilen denklemlerin, lineer denklemleri, üçgensel bulanık sayılar için, her zaman tek bir çözüme sahip değildir. İkincisi ise, ağırlıkları için üçgensel bulanık sayıların elde edilmesinde, ısrar etmektedirler. Buckley çalışmasında, karar vericiler tarafından daha iyi anlaşıldığını düşündüğü için, Şekil 4.15'te gösterilen trapezoidal bulanık sayıları $(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij})$ kullanmıştır [47]. Buckley ayrıca, bulanık ağırlıkları (w_i) , önceliklendirme süreci ve performans skorlarını (r_{ij}) türetirken geometrik ortalama metodunu kullanmıştır [58]. İlk kez Buckley (1985) tarafından geliştirilen geometrik ortalama metodu aşağıda adımlar halinde gösterilmiştir [47,50]:

Adım 1: Karşılaştırma matrisi $A = [\tilde{a}_{ij}]$ aşağıdaki şekilde olsun.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12}^{\delta_{ij}} & \dots & \tilde{a}_{1n}^{\delta_{ij}} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \dots & \tilde{a}_{2n}^{\delta_{ij}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1}^{\delta_{ij}} & \tilde{a}_{n2}^{\delta_{ij}} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Burada $\tilde{a}_{ij} \times \tilde{a}_{ji} \approx 1$ ve $\tilde{a}_{ij} \cong w_i/w_j$, $i=1,2,\dots,n$ ’ dir.

Adım 2: Geometrik ortalama değerleri $\tilde{r}_i$, her bir kriter için şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{r}_i = (a_{i1} \times a_{i2} \times \dots \times a_{in})^{1/n}$$

Adım 3: Her bir kriter için, bulanık ağırlıklar $\tilde{w}_i$ aşağıdaki gibi hesaplanır:

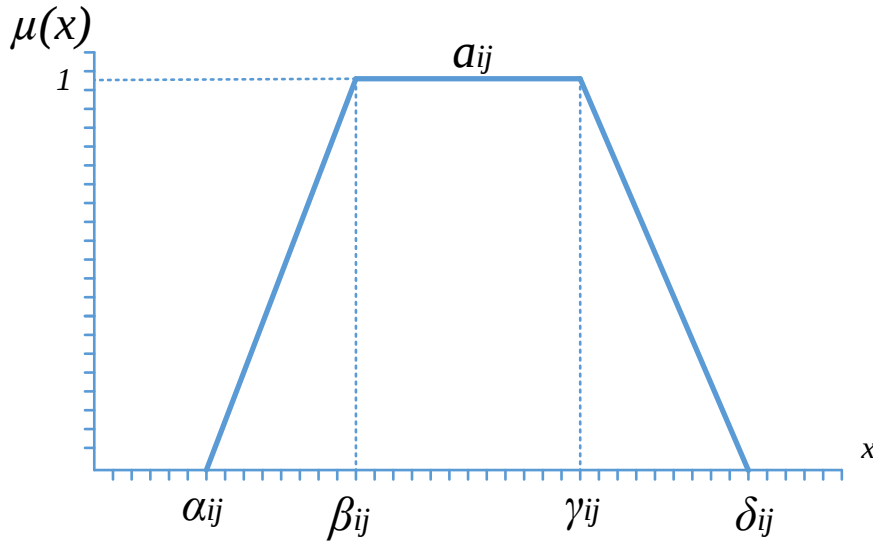
$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \dots + \tilde{r}_n)^{-1}$$

Burada $\tilde{r}_k = (l_k, m_k, u_k)$ ve $(\tilde{r}_k)^{-1} = (1/u_k, 1/m_k, 1/l_k)$

Adım 4: Bulanık ağırlıklar $\tilde{w}_i = (l_i, m_i, u_i)$ herhangi bir durulaştırma işlemi ile durulaştırılır.

Burada CoA metodu kullanılmıştır ve aşağıda gösterilmektedir:

$$\tilde{w}_i = \frac{l_i + m_i + u_i}{3}$$



Şekil 4.15. Yamuk bulanık sayılar $(\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij})$

4.10.3. Lootsma'nın logaritmik en küçük kare yöntemi

Logaritmik en küçük kareler metodu, diğer bir adıyla Geometrik Ortalama Metodu, en küçük kareler metodunun farklı bir türüdür ve uygulanmasının kolay olması sebebiyle geniş ölçüde kullanılmaktadır [31,93]. Bu ağırlık değerlendirme yöntemi, çoklu karar vericilerin fikirlerini kolaylıkla ele alabildiği ve bulanık modellere kolay bir şekilde genişletilebildiği için de ayrıca uygundur [73].

Pozitif karşılık A matrisinin aşağıdaki şekilde gösterildiğini düşünelim.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Burada a_{ij} gerçekte sayılardır. $\underline{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ vektörü, aşağıda verilen formül minimize edilerek türetilir:

$$\sum_{i < j} \left(\ln a_{ij} - \ln \left(w_i / w_j \right) \right)^2$$

Birden çok karar vericinin olduğu durumda ağırlık vektörü $\underline{w}$, aşağıdaki formül minimize edilerek türetilir.

$$\sum_{i < j} \sum_{k=1}^{P_{ij}} \left(\ln a_{ijk} - \ln(w_i/w_j) \right)^2$$

Burada, a_{ijk} , $k=1,2,\dots,p_{ij}$, w_i/w_j için p_{ij} adet tahminidir. P_{ij} , a_{ij} için fikir sunan karar verici sayısını göstermektedir. P_{ij} , hiçbir karşılaştırma oranının belirtilmediği durumlarda sıfır, bir (1) ya da birkaç karar vericinin kendi karşılaştırma oranlarını belirttikleri durumlarda birden büyük olabilir [73].

Eğer $y_{ijk} = \ln a_{ijk}$, $z_i = \ln w_i$ ve $z_j = \ln w_j$ şeklinde değiştirilirse, fonksiyon aşağıdaki gibi olur:

$$\sum_{i < j} \sum_{k=1}^{P_{ij}} \left(y_{ijk} - z_i - z_j \right)^2$$

z_i değerlerinin üstel (eksponansiyel) fonksiyonları alınarak ve çıkan sonuçları normalize ederek $\underline{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ağırlık vektörleri için tahminler oluşturulabilir [73].

4.10.4. Genişletilmiş bulanık AHP analiz metodu

Bulanık önceliklendirmeler için diğer bir yaklaşım, Chang (1996) tarafından geliştirilen *sentetik genişletilmiş analiz* adı verilen yaklaşımdır [58,60]. Bu yöntemde, elemanları üçgensel bulanık sayılar olan, karşılaştırma matrislerinden oluşturulan bulanık öncelikleri bulmak için, karmaşık olmayan aritmetik ortalama algoritması kullanılır. Bu yöntemde, her bir kriter ya da alternatif, dilsel değişkenlerle değerlendirdikten sonra genişletilmiş analiz yapılır. Fakat aritmetik ortalama yaklaşımının oldukça sık (toy) bir yaklaşım olduğu ve sadece karşılaştırma matrislerinin tutarlı olduğu durumlarda geçerli olduğu Saaty tarafından gösterilmiştir [58].

Chang' ın genişletilmiş analiz yöntem algoritması aşağıdaki gibi verilebilir [50, 60, 91]:

Adım 1: Bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{B} = [\tilde{a}_{ij}]$ olarak verilsin:

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Burada:

$$\tilde{a}_{ij} \times \tilde{a}_{ji} \approx 1,$$

$$\tilde{a}_{ij} \cong w_i / w_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, n,$$

Tüm $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ üçgensel bulanık sayılardır.

Adım 2: Bulanık yapay büyüklük değeri, i . kritere göre şu şekilde tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} \quad (4.52)$$

Eş. 4.52'deki denklemde $\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}$ ve $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1}$ değerleri, n değerleri üzerinde, bulanık ekleme işlemi kullanılarak, bulanık ikili karşılaştırma matrisi için şu şekilde hesaplanır:

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j \right)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4.53)$$

Daha sonrasında ise (2.8) denkleminin tersinin hesaplanması gerekir.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

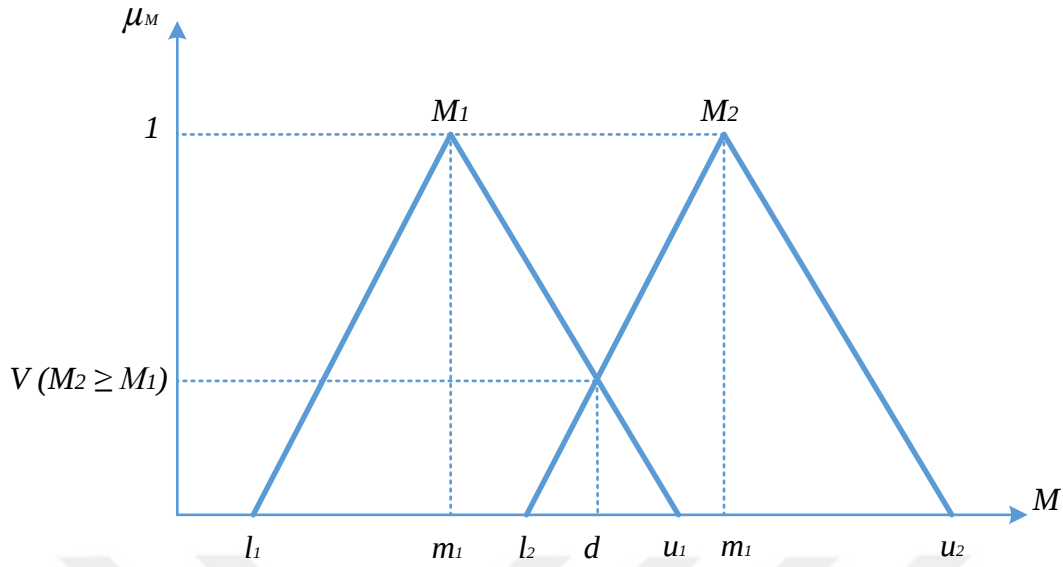
Bulanık sayıların karşılaştırılmasına ilişkin ilkeler, hiyerarşinin bütün seviyelerinde, bulanık yapay değerler kullanılarak, tüm elemanların ağırlık vektörlerinin türetilmesi için tanımlanmıştır.

Adım 3: Bulanık sayıları karşılaştırmak için, $M_2 \geq M_1$ ifadesinin olasılık derecesi, şu şekilde hesaplanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min(\mu_{M_1(x)}, \mu_{M_2(y)}) \right] = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2(d)}$$

$$= \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

Burada $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ ve d ise en yüksek kesişim noktası olan D' nin ordinatıdır, yani üyelik fonksiyonun değeridir. Şekil 4.16'da d ordinatı görülebilir. M_1 ve M_2 'yi karşılaştırmak için, $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerinin her ikisine de ihtiyaç duyulur.



Şekil 4.16. M_1 ve M_2 arasındaki kesişme

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından S_i ($i=1,2,3,\dots,k$) daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i=1,2,\dots,k$$

Varsayalım ki;

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad i, k=1,2,\dots,n; \quad k \neq i$$

O zaman ağırlık vektörü şu şekilde verilir:

$$W' = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T$$

4.10.5. Mikhailov'un bulanık tercih programlama yöntemi

Bulanık Tercih Programlama (BTP) yöntemi, Mikhailov (2000) tarafından, bulanık karşılaştırma kararlarından ağırlıkları türetmek için önerilmiştir [94]. BTP yönteminde,

başlangıçtaki kararlar, α kesimleri (α cuts) kullanılarak, aralıklara dönüştürülür ve bu aralıklı kararlardan net ağırlıklar türetmek için uygulanır [50]. Daha sonra, ağırlıkların değerlendirilmesi, herhangi bir optimizasyon probleminin çözülmesiyle ve karar vericilerin memnuniyetin, spesifik net ağırlık vektörü ile, en üst düzeye çıkarılmasıyla elde edilir [50,58].

BTP metodunun algoritması aşağıdaki şekildedir:

Adım 1: Bulanık karşılaştırma matrisi $A = [a_{ij}]$, aşağıdaki gibi oluşturulsun:

$$A = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Burada $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ üçgensel bulanık sayılar kullanılarak karar verici tarafından sağlanan bulanık kararlardır.

Adım 2: Maksimin (maximin) önceliklendirme problemi şu şekilde düşünülebilir;

Max λ

$$\lambda \leq 1 - \frac{R_k w}{d_k} = d_k \lambda + R_k w \leq d_k \quad (4.54)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, 2m$$

Eş. 4.54’de,

$$R_k w = \begin{cases} w_i - w_j u_{ij}(\alpha) \leq 0 \\ -w_i - w_j l_{ij}(\alpha) \leq 0 \end{cases} \quad (4.55)$$

ve üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mu_k(R_k w) = \begin{cases} 1 - \frac{R_k w}{d_k}, & R_k w \leq d_k \\ 0, & R_k w \geq d_k \end{cases}$$

Eş. 4.55'te, tüm α kesim seviyelerindeki öncelik değerleri, $l_{ij}(\alpha) \leq \frac{w_i}{w_j} \leq u_{ij}(\alpha)$ sağlamalıdır. Ayrıca, α kesim aralıklarının sınırları şu şekilde tanımlanır:

$$l_{ij}(\alpha) = \alpha(m_{ij} - l_{ij}) + l_{ij}$$

$$u_{ij}(\alpha) = \alpha(m_{ij} - u_{ij}) + u_{ij}$$

Adım 3: Bir λ değişkenini tanıtarak, üçgensel bulanık sayılar için, üyelik fonksiyonlarını hesaba katarak, Eş. 4.54, lineer programlama problemine dönüştürülür:

Max λ

$$\lambda d_k + w_i - u_{ij}(\alpha) w_j \leq d_k \quad (4.56)$$

$$\lambda d_k - w_i + l_{ij}(\alpha) w_j \leq d_k \quad (4.57)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i > 0; \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, 2m$$

Adım 4: Eş. 4.56 ve 4.57'deki Lineer programlama problemi için verilen ideal çözüm (λ^*, w^*) elde edilir.

Tutarlılık indeksi λ^* , memnuniyet derecesini göstermektedir. Eğer $\lambda^* \geq 1$ ise, aralıklı şekilde verilen kararlar tutarlıdır. $0 \leq \lambda^* \leq 1$ durumunda ise, verilen kararlar tutarsızdır ve tolerans parametreleri olan d_k değerlerine bağlı olarak değişir [50,58,94,95].

4.10.6. Mikhailov'un bulanık önceliklendirme metodu

Bulanık önceliklendirme metodu için çözüm önerisi Mikhailov (2003) tarafından maximin karar kuralına dayanarak getirilmiştir [58]. Maximin kuralı, alternatifleri, onların mümkün olan en kötü sonuçlarına göre sıralanması ile ilgilidir. Alternatifleri, diğer en kötü sonuçlar arasından daha üstün olanın, diğer bir deyişle, en kötü sonucun faydasını en üst düzeye çıkaracak bir yolun benimsenerek seçilmesi gerektiğini söylemektedir [96].

Bulanık önceliklendirme yönteminin adımları aşağıdaki gibi verilmiştir [55]:

Adım 1: Bulanık karşılaştırma matrisi $A = [a_{ij}]$, aşağıdaki gibi oluşturulsun:

$$A = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \cdots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Burada $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ üçgensel bulanık sayılardır.

Adım 2: Maksimin (maximin) önceliklendirme problemi şu şekilde düşünülebilir,

Max λ

$$\lambda \leq \mu_{ij}(w); \quad i=1,2,\dots,n-1; \quad j=1,2,\dots,n; \quad j>i \quad (4.58)$$

$$\sum_{l=1}^n w_l = 1 \quad w_l > 0; \quad l = 2, 3, \dots, n-1$$

Adım 3: Üçgensel bulanık sayılar için, üyelik fonksiyonlarını hesaba katarak, Eş. 4.58 lineer olmayan programlama problemine dönüşür.

Max λ

$$(m_{ij} - l_{ij})\lambda w_j - w_i + l_{ij}w_j \leq 0 \quad (4.59)$$

$$(u_{ij} - m_{ij})\lambda w_j + w_i - u_{ij}w_j \leq 0 \quad (4.60)$$

$$\sum_{k=1}^n w_k = 1 \quad w_k > 0; \quad k = 2, 3, \dots, n-1$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1; \quad j = 2, 3, \dots, n-1; \quad j > i$$

Adım 4: Eş. 4.59 ve Eş. 4.60' taki Lineer programlama problemi için verilen ideal çözüm (λ^*, w^*) , lineer olmayan optimizasyon için, uygun sayısal metot yardımı ile elde edilir. Optimal değer olan λ^* , bulanık kararların başlangıç kümesinin tutarlılığını ölçmek için kullanılabilir. Eğer, optimal değer λ^* , pozitif ise, bulanık kararların başlangıç kümesi tutarlıdır. Eğer bu optimal değer, negatif ise, bulanık kararlar önemli ölçüde tutarsızdır [50, 58, 97].

Çizelge 4.1 Farklı FAHP yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları

FAHP Metodu	Yöntemin Karakteristiği	Avantajlar (A) & Dezavantajlar(D)
Van Laarhoven Ve Pedrycz (1983)	1- Saaty' nin AHP metodu üçgensel bulanık sayılarla birlikte direkt uygulanmıştır. 2- Lootsma' nın logaritmik en küçük kareler metodu Bulanık ağırlıkları ve performans skorlarını türetmek için kullanılır. 3- Çoklu karar vericinin değerlendirilmesi yapılabilir.	* (A) Çoklu karar vericinin değerlendirilmesi modellenabilir. * (D) Lineer denklemler için her zaman bir çözüm yoktur. * (D) Sadece üçgensel bulanık sayılara izin verir. * (D) Hesaplama gereksinimi yüksektir. * (D) Durulaştırmaya ihtiyaç duyulur.
Buckley (1985)	1- Saaty'nin AHP metodunu, trapezoidal bulanık sayılarla Genişletilmiştir. 2- Bulanık ağırlıkları ve performans skorlarını türetmek için Geometrik ortalama metodunu kullanır.	* (A) Bulanık durumlara genişletmek kolaydır. * (A) Tek bir çözüm garantisi vermektedir. * (D) Hesaplama gereksinimi oldukça yüksektir.
Chang (1996)	1- Bulanık standartlar oluşturur. 2-Üyelik Fonksiyonlarıyla performans skorları temsil edilir. 3- Toplanmış ağırlıkları hesaplamak için entropi kavramını kullanır.	* (A) Hesaplama gereksinimi oldukça azdır. * (A) Hesaplama kolaylığı vardır. * (A) AHP ile çok benzerdir. * (A) Net ağırlıklar türetir. * (D) Sadece üçgensel bulanık sayıların kullanımına izin verilir. * (D) Sıfır (0) ağırlık atanması sebebiyle yanlış bir karar verilebilir
Mikhailov (2000)	1- Kararlar aralıklı hale dönüştürülür ve net ağırlıklar türetilir.	* (A) Hesaplama gereksinimi oldukça düşüktür. * (A) Tam Bulanık karşılaştırma matrisine gerek duymaz. * (A) Net ağırlıklar elde edilir. * (D) Sadece üçgensel bulanık sayılara izin verilir.
Mikhailov (2003)	1- Maksimin karar kuralı kullanılmıştır.	* (A) Hesaplama gereksinimi oldukça düşüktür. * (A) Tam bulanık karşılaştırma matrislerine ihtiyaç duymaz. * (A) Net ağırlıklar türetilir. * (D) Sadece üçgensel bulanık sayılara izin verilir.

4.11. Bulanık AHP’de kullanılan ölçekler

BAHP’ de kullanılan metotlarda, bulanık ikili karşılaştırma matrisleri yapılmak zorundadır. Bu matrisler oluşturulurken, uygulanan yöntemeye göre, karar vericilerin kararları ile ilgili dilsel değerlendirmeleri kullanılır. İkili karşılaştırma matrislerinde kullanılmak üzere, her bir kriter için, literatürdeki farklı dilsel değişkenler kullanılmıştır. Literatürde en çok kullanılan bulanık önem dereceleri aşağıdaki gibi Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4’ te gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Karşılaştırma matrisleri için kullanılan dilsel değişkenler [98]

Dilsel İfadeler	Üçgensel Bulanık Ölçek	Üçgensel Bulanık Karşılık Ölçek
Eşit Önemli	(1,1,1)	(1, 1, 1)
Orta Derecede Önemli	(2,3,4)	(1/4, 1/3, 1/2)
Önemli	(4,5,6)	(1/6, 1/5, 1/4)
Çok Önemli	(6,7,8)	(1/8, 1/7, 1/6)
Çok Aşırı Önemli	(9,9,9)	(1/9, 1/9, 1/9)
Ara Değerler	(1,2,3)	(1/3, 1/2, 1/1)
	(3,4,5)	(1/5, 1/4, 1/3)
	(5,6,7)	(1/7, 1/6, 1/5)
	(7,8,9)	(1/9, 1/8, 1/7)

Çizelge 4.3. Karşılaştırma matrisleri için kullanılan dilsel değişkenler [60] [99]

Dilsel İfadeler	Üçgensel Bulanık Ölçek	Üçgensel Bulanık Karşılık Ölçek
Tam Olarak Eşit	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Eşit Derecede Önemli	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Zayıf Derecede Önemli	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Güçlü Derecede Önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok Güçlü Derece Önemli	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Kesinlikle Daha Önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

Çizelge 4.4. Karşılaştırma matrisleri için kullanılan dilsel değişkenler [56] [100]

Dilsel İfadeler	Üçgensel Bulanık Ölçek	Üçgensel Bulanık Karşılık Ölçek
Tam Olarak Eşit	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf Derecede Önemli	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
Oldukça Önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok fazla Önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
Kesinlikle Önemli	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/5)

4.12. Dilsel değişkenler kullanılarak oluşturulan ölçekler ve bulanık karşılıkları

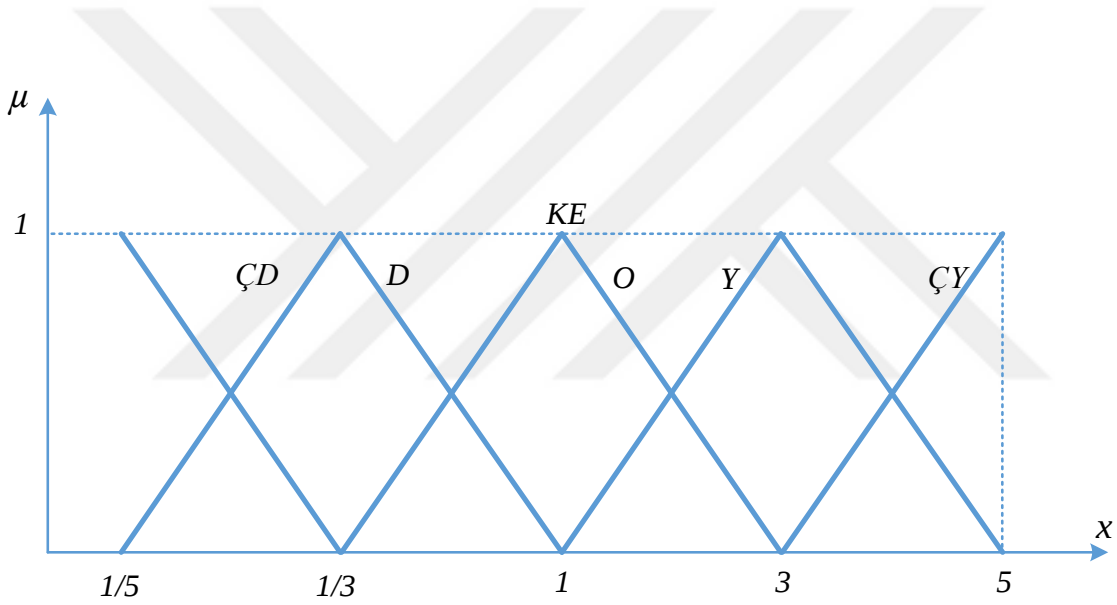
Dilsel (sözel) değişken/değişkenler ifadesini kullanırken, değerleri kelimeler ya da cümleler olan değişkenlerden bahsedilmektedir. Örneğin, “yaş” ifadesi, sayısal olarak “20”, “40”, “80” şeklinde ifade edilmek yerine; “genç”, “yaşlı”, “çok yaşlı” gibi dilsel kelimeler kullanılarak tanımlanabilmektedir.

Oluşturulan hiyerarşilerde çok fazla kriter ya da alternatiflerin kullanılması durumunda, oluşturulması gereken karşılaştırma matrislerinin boyutları da büyüyecek ve karar vericilerin ikili karşılaştırmalar yapması zorlaşacaktır. Böyle durumlarda, oluşturulmak istenen karşılaştırma matrislerinde dilsel (sözel) ifadelerin kullanılması daha uygundur. Bu şekilde oluşturulan karşılaştırma matrislerinin, bulanık sayılara dönüştürülmesi için, uygun bir dönüşüm ölçeği kullanılmak zorundadır.

Gerçek dünyada, alternatiflerin değerlendirilmesi net ya da bulanık sayılarla ya da sözel şekilde olabilir. Bazı durumlarda da, özellikler sıralanırken sayılar ile ifade edilemezler. Örnek olarak, büyük bir holdingin kendisine danışman olarak akademisyen aradığı düşünülün. Şirketin kriterlerinden bazılarının; yaratıcılık, farklı düşünme kabiliyeti ve akademik yayın sayısı olması gerektiği düşünülmektedir. Buradaki ilk iki kriterin, sayılarla ifade edilemeyeceği aşikârdır. Bu sebeple, bu tarz kriter ya da alternatifler için, “iyi”, “orta” ya da “zayıf” gibi dilsel (sözel) terimler oluşturmak gerekmektedir. Çizelge 4.5’te bunun bir örneği gösterilmektedir. Şekil 4.17’de ise, dilsel değişkenler kullanılarak oluşturulan üyelik fonksiyonu görülebilir.

Çizelge 4.5. Üçgensel bulanık dönüşüm skalası [101]

Dilsel İfadeler	Dilsel Skala	Üçgensel Bulanık Skala
Çok Yüksek	ÇY	(3, 5, 5)
Yüksek	Y	(1, 3, 5)
Orta	O	(1/3, 1, 3)
Kesinlikle Eşit	KE	(1, 1, 1)
Düşük	D	(1/5, 1/3, 1)
Çok Düşük	ÇD	(1/5, 1/5, 1/3)



Şekil 4.17. Dilsel değerler için üyelik fonksiyonu gösterimi [101]

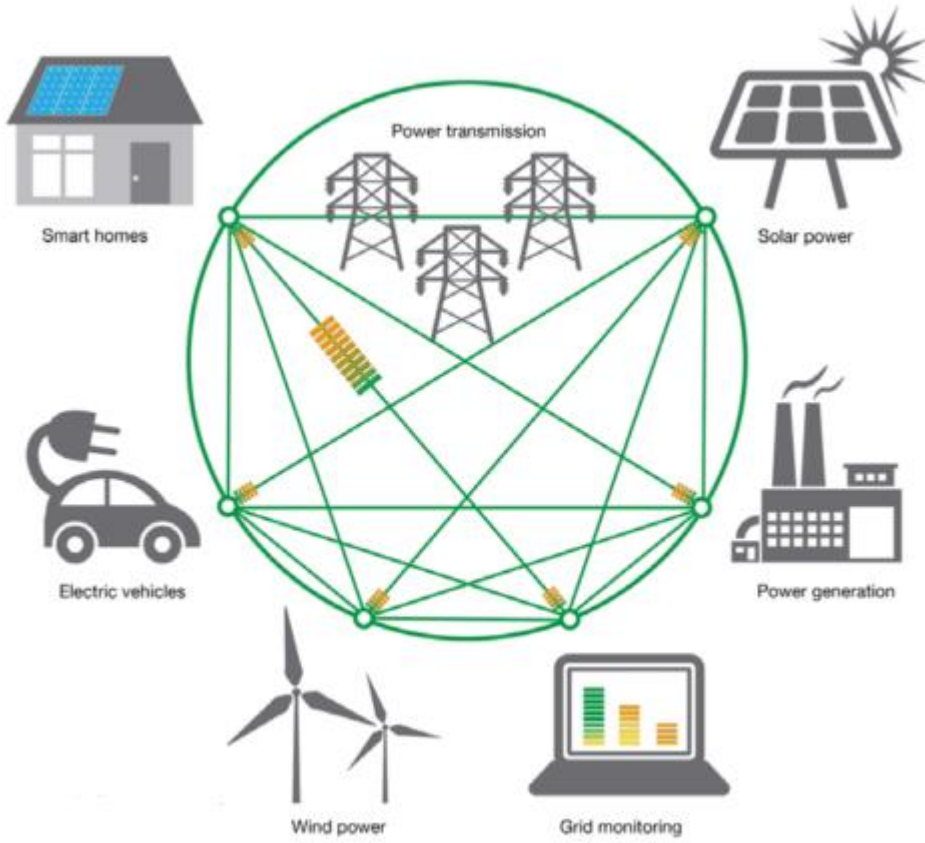
5. AKILLI ŞEBEKE SİSTEMLERİ

5.1. Akıllı Şebeke Nedir?

Akıllı şebeke sistemleri ile ilgili bilgi vermeden önce, akıllı şebekenin ne anlama geldiği veya şebekelerin nasıl daha akıllı yapıldığı gibi tanım ve kavramların açıklanmasının, konunun anlaşılabilirliği açısından yararlı olduğu düşünülmektedir.

Bu konuyla ilgili ilk kıvılcım, 2001 yılında, *Wired Magazine* 'de yayımlanan bir makale ile başlamıştır [102]. Makalede, gelecekteki elektrik ağları, şimdiki adıyla *Akıllı Şebekeler* ile ilgili tanımlama yapılırken, gelecek yıllardaki güç şebekesindeki her düğümün (nokta); duyarlı, uyarlanabilir, çevreci, esnek ve fiyat tarifiendirmesi bakımından da akıllı olarak tasarlanabileceğinden bahsedilmiştir. Şekil 5.1'de akıllı bir güç şebekesinin elementleri gösterilmektedir.

Avrupa Enerji Düzenleyiciler Kurulu (ERGEG), 2009 yılında şu şekilde bir tanım yapmıştır: “*Akıllı bir elektrik şebekesi, hem üretici hem de tüketici olan; üretici, tüketici ve aktörlerini içeren tüm bağlantılı kullanıcıların hareket ve davranışlarını, daha az kayıplar ile kalitesi, teknik güvenliği ve arz güvenliği yüksek, ekonomik olarak verimli bir elektrik ağı sağlamak için, uygun bir maliyetle bütünleştirebilen, elektrik şebekesi olarak tanımlanır* [103].”



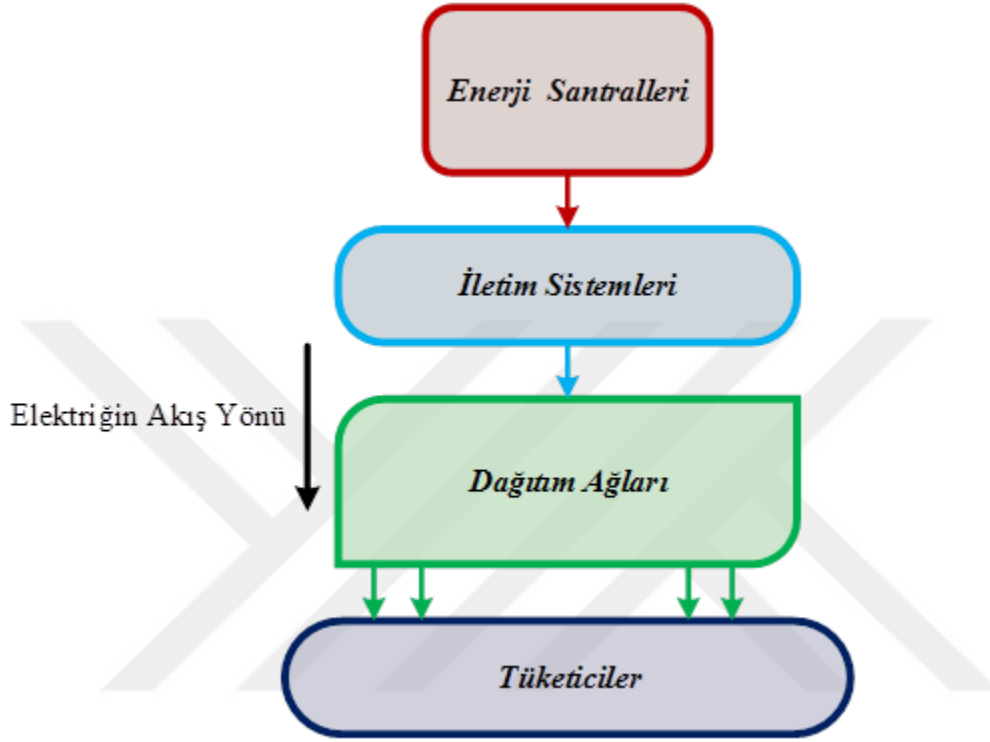
Şekil 5.1. Akıllı güç şebeke sisteminin gösterimi

Bir elektrik şebekesinin akıllı hale getirilmesi demek, fayda sağlayıcıları (üreticiler) ile tüketiciler arasında iki yönlü bir iletişim ağının kurulması demektir. İletim hatları boyunca yapılan algılama sayesinde, şebeke akıllı hale gelmektedir.

5.2. Mevcut Şebekedeki Durum ve Eksiklikler

Günümüzde de kullanılan mevcut elektrik şebekesinin, ilk olarak 1886 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanmaya başlayan, uzun mesafelerde yüksek gerilim altında taşınan alternatif akım (AC) iletim hattının devamı olduğu bilinmektedir [104]. Günümüzde kullanılan geleneksel elektrik şebekesi, genel olarak *üretim*, *iletim*, *dağıtım* ve *tüketici (yük)*, kısımlarından oluşur.

Mevcut elektrik şebeke sistemi, Şekil 5.2’de gösterildiği gibi, üretim sisteminden başlayarak, iletim ve dağıtım sistemleri üzerinden geçerek tüketiciye ulaşan tek yönlü bir elektrik akışının olduğu şebekelerdir.



Şekil 5.2. Mevcut elektrik şebekesinin tek yönlü dikey yapı gösterimi

Özellikle dağıtım ağı tarafında tek yönlü güç akışının olması, tüketicilerin elektriğini nereden aldıklarını seçme şanslarının olmadığı, dolayısıyla pasif durumda kaldıkları; mevcut elektrik şebekelerinin genel karakteristik yapılarından bir kaçıdır.

Son yıllarda elektrik şebekelerinin maruz kaldığı değişikliklerin, bugün kullanılmakta olan şebekeyi kullanışsız bırakacağı ve şebekenin, gelecekte karşılaşılabilecek zorluklarla baş edemeyeceği çok açıktır [105]. İletim ve dağıtım kayıplarının 1970-2001 yılları arasında %5 seviyesinden %9,5 seviyelerine gelmesi de, şebekenin eskisi kadar iyi bir performans sergilemediğini göstermektedir [106]. Ayrıca, elektrikli araçlar, ısı pompaları, akıllı ev ve bina gibi, elektrik ağlarının yönetimini ve çalışmasını etkileyebilecek yeni uygulamaların, elektrik ağları üzerinde önemli bir etkiye sahip olacağı düşünülmektedir [105]. Buna ek olarak, günümüz dünyasında, güç kalitesinin 15-20 yıl öncesine göre çok daha büyük bir öneme sahip olması, yonga üreten fabrikalar gibi üreticiler tarafından daha çok

önemsenmektedir [106]. Tüm bu faktörlerin hesaba katılmasıyla, mevcut şebekenin, gelecek için hizmet etmede yetersiz kalacağı aşikârdır. Bu sebeple, mevcut elektrik şebekelerinin hızlı bir şekilde modernize edilerek, akıllı şebeke kavramının benimsenmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.1. Mevcut elektrik şebekesi ve akıllı şebeke arasındaki temel farklar [107]

Özellik/Bileşen	Mevcut Şebeke Ağı	Akıllı Şebeke
Haberleşme	Yok veya tek yön, genelde gerçek zamanlı değil	Çift Yönlü Gerçek Zaman
Müşteri Etkileşim Kontrolü	Kısıtlı Elektromekanik	Kapsamlı Dijital (Gerçek zaman) fiyatlandırma
İşletme ve Bakım	Manuel Ekipman	Uzaktan izleme, Kestirimci Bakım
Üretim	Merkezi	Merkezi ve Dağılmış
Güç Akış Kontrolü	Kısıtlı	Ayrıntılı, Otomatik
Güvenilirlik	Arızalara Maruz Kalma, Bağlantılı Kesintiler	Otomatik, Proaktif Koruma, Kesintiyi Önleme
Arıza Sonrası Onarım	Manuel	Kendi Kendini Onarma
Dağıtım Ağı Topolojisi	Radyal, Genellikle Tek Yön Güç Akışı	Ağ Şeklinde, Çoklu Güç Akış Yolları

Çizelge 5.1’de, konvansiyonel elektrik şebekeleriyle akıllı şebekeler arasındaki temel farklar ortaya konulmuştur. Söz konusu tablodan da anlaşılacağı üzere, akıllı şebeke sisteminin, mevcut sisteme göre, birçok üstün özellikleri bulunmaktadır. Bu faydalar sebebiyle, ülke devletleri ve şirketler, üretim, dağıtım ve iletim hatlarında karşılaştıkları ciddi kayıpları en aza indirerek, daha verimli ve az maliyetli, akıllı bir elektrik şebekesi elde etmiş olacaklardır. Yukarıdaki tabloda verilmiş olan Akıllı Şebekenin faydalarını farklı başlıklarda ve detaylı olarak açıklamak, sistemin anlaşılabilirliğini daha iyi kılacaktır.

5.3. Akıllı Şebeke Sisteminin Faydaları

Akıllı Şebekenin başarılı bir şekilde uygulanmaya konmasıyla birlikte birçok pozitif etki ve faydaları olacaktır [108]. Bu faydalar; Şekil 5.3’deki gibi; teknik, çevresel ve elektrik pazarlama faydaları olarak gruplandırılabilir.

5.3.1. Teknik faydalar

Akıllı Şebekenin mevcut şebekeye oranla birçok teknik faydaları bulunmaktadır. Bunlar [105]:

- Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi: Verimlilik, kayıpların azaltılması, enerji talebinin yoğun olduğu saatlerdeki taleplerin kontrolü ve AMI sisteminin uygulanması ile artırılır.
- Şebeke güvenilirliğinin iyileştirilmesi: Güvenirliğinin artırılması, frekansın ve güç kesinti sürelerinin azaltılmasıyla sağlanır.
- Operasyonel verimliliğin iyileştirilmesi: Dağıtım şebekesi içerisindeki, aktif kontrol, otomasyon, yönetim hizmetleri ile ev otomasyonu ve akıllı ev aletlerinin kullanımı konusunda kullanıcıları daha güçlü bir konuma getirerek sağlanır.
- Güvenlik ve emniyet iyileştirilmesi: Sensörler ve otomatik işlemler ile elektrik kesintisi tehdidini düşürerek, iletim ve dağıtım sistem çalışmasını akıllı önleyici ve acil durum kontrolü ile koordine ederek, sağlanır.
- Arzın Kalitesi: Arz kalitesi; kanuni sınırlar içerisinde, voltaj büyüklüğünün korunması bakımından, sensör, iki yönlü iletişim ve haberleşme teknolojileri gibi Akıllı Şebeke sistemleriyle sağlanır.
- Geliştirilmiş bağlantı ve şebekeye erişim: Şebekeye erişim ve geliştirilmiş bağlantı özellikle, yenilenebilir enerji kaynakları ve hibrid elektrikli araçlar gibi, dağılmış enerji kaynakları için önemlidir.

5.3.2. Çevresel faydalar

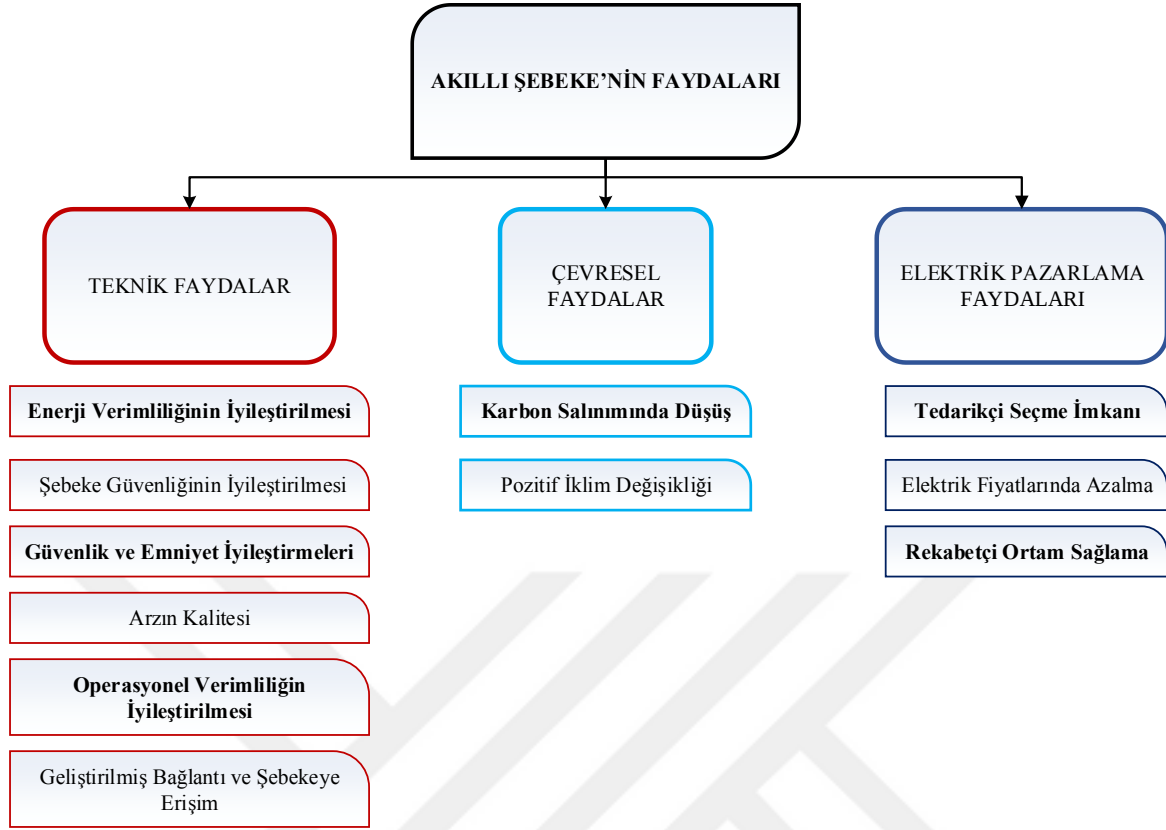
Çevresel faydalar iki kısımda toplanabilir.

- Karbon Salınımında düşüş: Karbon salınımındaki düşüş, yenilenebilir ve dağıtılmış üretimin entegrasyonu, şebeke kayıplarındaki azalış ve elektrik araçların yaygınlaşmasıyla sağlanır.

- İklim Değişikliği faydaları: Elektrik üretiminde rüzgâr, güneş ve hidro gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılmasıyla, karbondioksit salınımının azaltılması sağlanır.

5.3.3. Elektrik Pazarlama Faydaları

Elektrik sağlayıcıları ile tüketiciler arasındaki dinamik etkileşim sebebiyle, mevcut elektrik şebekesine kıyasla, elektrik fiyatları düşürülebilir. Bu etkileşim, tüketicilere, farklı tedarikçilerin bulunduğu ortamda, en ucuz elektriği satan tedarikçiye seçme imkânı sunmaktadır. Bu da, daha sağlıklı bir rekabet ortamı yaratılmasına olanak sağlar ve güç sistem ağıının iyileştirilmesine katkı yapar.



Şekil 5.3. Akıllı şebeke faydalarının gösterimi

5.4. ABD, AB ve Çin Ekseninde Ortaya Konulan Akıllı Şebeke Konsepti

Birçok kuruluş ve ülke devletleri, yaptıkları çalışmalarla, Akıllı Şebeke sistemlerinin yararlarını araştırma ve geliştirmeye devam etmektedir. Özellikle Avrupa Birliği (AB) ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD), *Akıllı Şebeke* konseptini geliştirmek için daha fazla özen göstermekte ve ortak bir vizyon ortaya koymaya çalışmaktadırlar.

Konulan bu vizyona göre, AB; Akıllı bir Şebekenin aşağıdaki özellikleri taşıması gerektiğini vurgulamıştır [109]:

Esneklik: Kullanıcıların isteklerini yerine getirirken, sistemdeki değişikliklere de doğru zamanda cevap verme kabiliyeti olmalıdır.

Erişilebilirlik: Şebekedeki tüm kullanıcılar, özellikle de yenilenebilir enerji kaynakları için, bağlantı izni verme kabiliyeti olmalıdır.

Güvenilirlik: Arz güvenliği ve kalitesini geliştirme yeteneğine sahip olmalı ve sistemdeki kararsızlıklara karşı tutarlı olmalıdır.

Ekonomiklik: Verimli enerji yönetimi, sistem alanı yenileme gibi konularda en iyi değeri sağlama yeteneği olmalıdır.

Benzer şekilde ABD’ de, Akıllı Şebeke sistemini geliştirmek için bir program başlatmış ve Akıllı Şebekenin aşağıdaki temel özellikleri taşıması gerektiğine vurgu yapmıştır [110, 111]:

Verimlilik: En az düzeyde iletim ve dağıtım kayıpları, fiyat kontrolü ve daha verimli güç üretimine olanak sağlamalıdır.

Emniyet: Halka ya da şebeke çalışanlarına zarar vermemelidir. Şebekeye, tıbbi sebeplerle bağlı olan kullanıcılara karşı hassas yapıda olmalıdır.

Çabuk Toparlanma: Siber saldırı ve deprem gibi doğal afetlere karşı çabuk toparlanma kabiliyetine sahip olmalıdır.

Çevre Dostu: Verimlilikteki iyileştirmelerle birlikte, çevresel etkileri düşürerek, yenilenebilir kaynakların kullanımını daha fazla oranda sisteme katarak CO₂ salınımını düşürmelidir.

Ekonomiklik: Adil fiyat ve yeterli arzla sonuçlanacak şekilde, arz ve talebin temel yasaları altında çalışmalıdır.

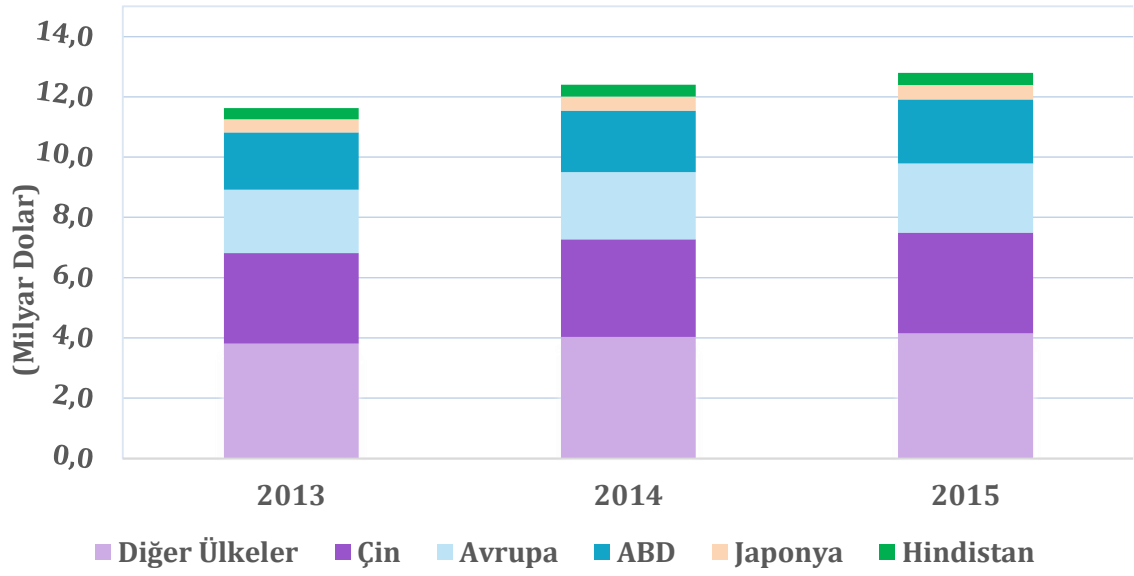
Çin Halk Cumhuriyeti’nde, elektrik üretiminin çoğunluğu, fosil yakıt kaynaklı termik santraller ile sağlanmaktadır. Bu sebeple yaratılan hava kirliliği, bir önlem alınmaz ise hızlı bir şekilde yükselecek ve geri alınamaz noktalara kadar gidebilecek seviyelere gelecektir. Çevreyi korumak ve ekonomik gelişmeyi hızlandırmak için, daha verimli, alternatif ve temiz enerji kaynaklarına yönelme politikaları üretilmek zorundadır. Bu noktada devlet, 2006 yılında konunun önemine vararak, ülkenin *ilk* yenilenebilir enerji kanununu çıkarmış ve kanunda, teşvikler ile beraber, yenilenebilir enerji gelişimini destekleyen yasal bir çerçeve belirlenmiştir [112,113]. 2020 yılına kadar ülkenin birincil enerji tüketiminin %15’lik kısmının, yenilenebilir enerjilerden sağlanmasını kararlaştırmıştır [114]. Bu hedeflerin tutturulması içinde Akıllı Şebeke kavramına geçiş yapılması gerekliliği görülmüş ve bu noktada çalışmalar yoğunlaşmıştır. 21 Mayıs 2009 yılında, Ultra Yüksek Voltaj (UHV) Güç

İletimi konferansında açıkladıkları “*Güçlü Akıllı Şebeke*” planında da bu konuya ne kadar önem verdikleri görülmüştür [105].

Çin’in devlete bağlı en büyük elektrik şirketi ise (State Grid Corporation of China), 2020 yılına kadar, güçlü ve akıllı güç şebekelerin uygulanması için detaylı bir strateji ve plan ortaya koymuştur. Bu plana göre, 2009-2020 yılları arasında, Çin’ in güçlü ve akıllı güç şebekesi, 3 geliştirme evresine, 2009-2010, 2011-2015, 2016-2020 arasında olmak üzere bölünmüş ve her bir evrede yapılacaklar detaylı olarak anlatılmıştır [114].

5.5. Dünyadaki Akıllı İletim Ağları ile Akıllı Sayaç Kurulumuna Genel Bir Bakış

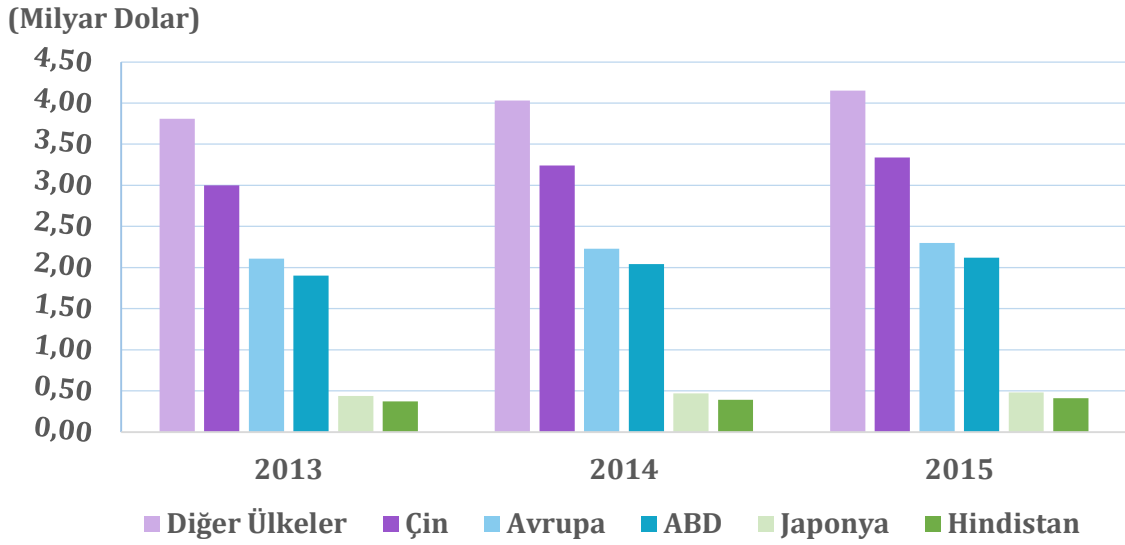
Elektrik güç iletim sistemleri, trafo merkezlerinden, müşterilere güç iletmek için tasarlanan sistemlerdir. Bu tür sistemlerde, verimlilik ve güvenilirlik, çok kritik önemlere sahiptir. İletim sistemlerindeki, tehlikeler, sistemin durmasına, dolayısıyla da devlet ekonomileri üzerinde çok ciddi zararlar doğurmaktadır. 2012 yılında ABD’de meydana gelen Sandy Kasırgası sonrasındaki elektrik kesintilerinin ABD ekonomisine yıllık maliyetinin 35-55 milyar dolar arasında olduğu rapor edilmiştir [115]. İklim değişikliği sebebiyle meydana gelen bu tip kasırga ve fırtına gibi olağanüstü hava olayları, iletim sistemlerinin doğu ve güvenilir bir şekilde çalışmasını engelleyebilir.



Şekil 5.4. Farklı ülkeler için akıllı iletim ağları yatırımlar

Bu tür olayların etkilerini, en hafife indirmek için, devletler ve kuruluşlar, şebekeler üzerinde modernizasyon yaparak, akıllı dağıtım sistemlerine (SDS) geçiş için yatırımlar yapmaktadırlar [116].

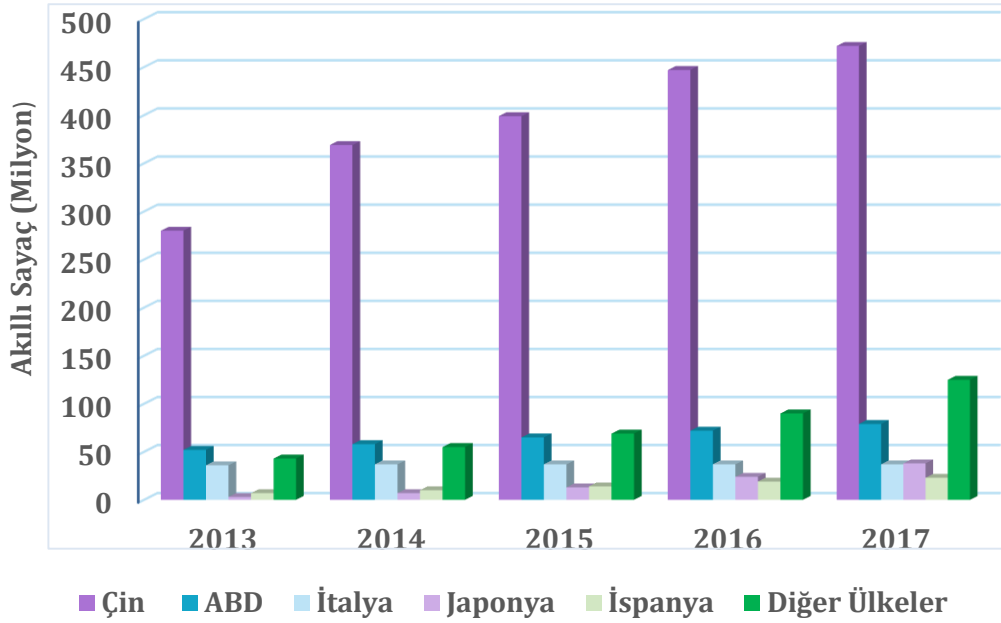
Şekil 5.4 ve 5.5'te görülebileceği gibi, 2013-2015 yılları arasında, özellikle Çin Halk Cumhuriyeti, ABD ve AB'nin, akıllı iletim ağları ile ilgili önemli ve artarak devam eden yatırımlar yaptıkları görülmektedir [117].



Şekil 5.5. Farklı ülkelerin yıllara göre akıllı iletim ağları için yaptıkları yatırımlar

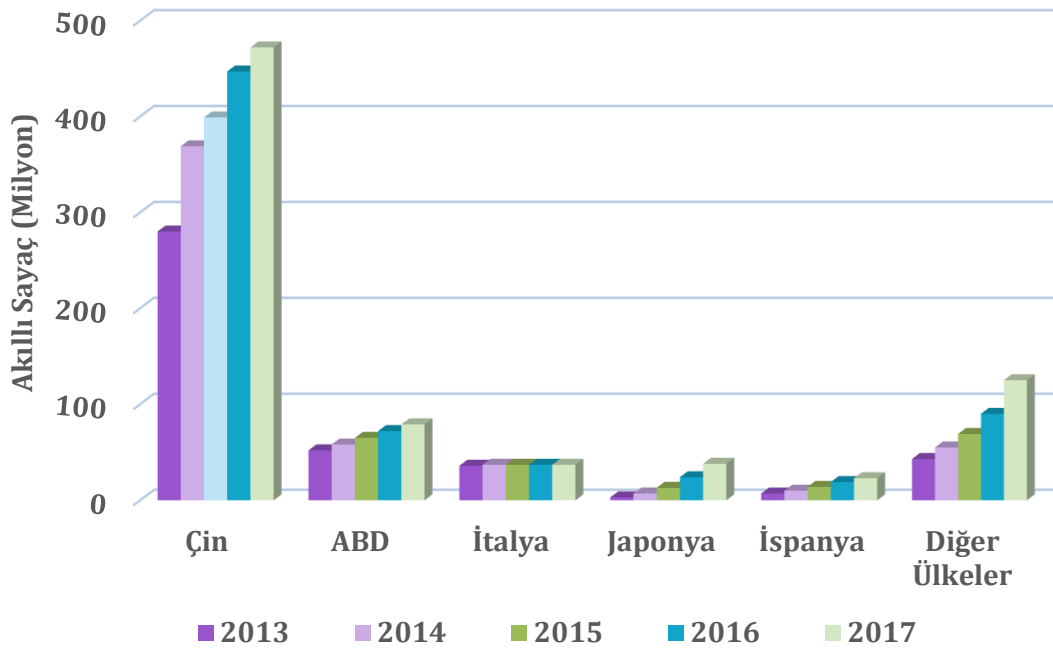
Üç yılın ortalamasına bakıldığında, akıllı iletim ağları için yapılan yatırımların değeri, Çin Halk Cumhuriyeti, AB ve ABD için sırasıyla, 3.19 milyar dolar; 2.21 milyar dolar ve 2,02 milyar dolardır.

Akıllı iletim hatlarının kontrol edilebilmesi ve izlenmesi, gelişmekte olan akıllı cihaz, sensör ve akıllı şebeke uygulamaları tarafından sağlanabilir. Gelişmiş ölçüm altyapısının (AMI) en önemli faydalarından biri, elektrik dağıtım ağındaki elektrik kesintisi bulma ve arızanın yerini tespit etmesidir. Diğer bir deyişle, akıllı iletim hatlarında kesintilerin yaşanmaması ya da bu kesintilerin çözüm sürelerinin en aza indirilmesi için, akıllı sayaçların sistemde kullanılması gerekmektedir.



Şekil 5.6. 2013-2017 yılları arasındaki akıllı sayaç kurulumu sayısı

Bu konunun önemine varan ülkelerden bazıları, yaptıkları çalışmalar ile akıllı sayaçlar kurulumuna ve kullanımına önem vermişlerdir. Şekil 5.6 ve 5.7’de gösterildiği gibi, Çin, ABD ve İtalya, akıllı sayaç altyapısını kurarak, kullanmaya başlayan ülkeler olarak göze çarpmaktadır [117]. Özellikle AB üyesi olan İspanya ve İtalya’nın buradaki çalışmaları çok dikkat çekicidir. 2014 yılından beri İtalya’da kullanılan yaklaşık 37 milyon akıllı sayaç, ülke nüfusunun 60 milyon olması [118] göze alındığında, çok çarpıcı bir oran olarak öne çıkmaktadır. Buna ek olarak, İspanya’nın da 2017 yılında toplam 23 milyon akıllı sayaç kurulum sayısına ulaşması, ülkenin toplam nüfusuna oranla %50 seviyelerine ulaşmıştır. Kullanılan akıllı sayaçlar sayesinde, tüketiciler, harcadıkları enerji hakkında daha çok bilgiye sahip olacak ve tükettikleri enerji hakkında akıllıca tercihler yaparak, enerjiyi daha verimli ve az bir şekilde kullanacaklardır. Bu da, özellikle enerji ithal eden ülkeler için, paranın ülke içerisinde kalmasını sağlayarak, çok büyük miktarlarda para girdisi oluşturacaktır. Türkiye’ nin, 2016 ve 2017 yıllarında, elektrik enerjisi ithalatına ödediği para miktarının sırasıyla, 213 milyon USD ve 85,5 milyon USD olduğu düşünüldüğünde [119], akıllı sayaç kurulumunun ve kullanımının, ülkemiz için ne kadar önemli olduğu bir kez daha görülmektedir.



Şekil 5.7. Ülke bazında 2013-2017 yılları arasındaki akıllı sayaç kurulumu sayısı

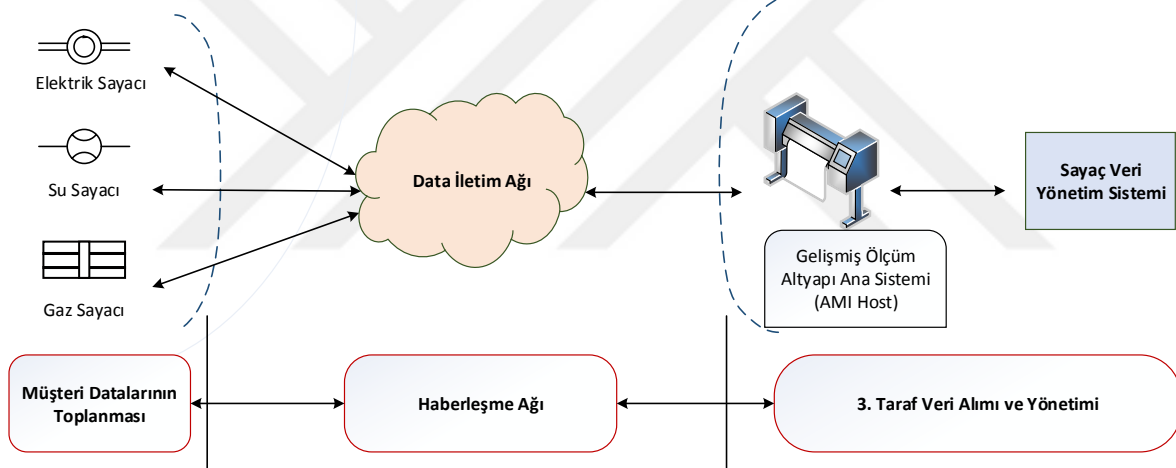
Buna ek olarak, akıllı sayaçlar, ileride üretici konumuna geçme ihtimali bulunan tüketiciler (prosumer) ve şebeke arasındaki çift taraflı olan güç akışı ölçerek, enerji alışverişinin doğru bir şekilde izlenmesini ve kaydedilmesini sağlarlar.

5.6. Akıllı Şebekelerin Önemi ve İçerdiği Unsurlar

Çevremize zarar veren ve limitli bir ömrü olan fosil yakıtlara olan bağıllığımızı ve CO₂ salınımını azaltmak ve kurulu olan güç altyapısının ömrünü uzatmak için, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili olarak büyük bir gayret gösterilmektedir. Avrupa Birliği' nin (EU), 2030 yılı hedefleri arasında, sera gazı salınımını %40 oranında azaltma ve enerji verimliliğini %27-30 oranında artırma hedefleri bulunmaktadır [120]. Bu hedeflerin desteklenmesi için, elektrik ve güç şebekelerinin daha akıllı hale getirilerek, diğer bir deyişle, *akıllı şebekeler* şeklinde bir dönüşüm yaşaması gerekmektedir [121]. Burada şebekenin daha akıllı hale getirilmesinden kasıt, güç şebekesindeki, özellikle daha düşük voltaj kısımlarında, izleme ve kontrol cihazlarının kullanımının artmasıdır. Böylelikle, daha detaylı kontrol imkânı sunulması ve daha doğru durum değerlendirmesi yapılmasına olanak sağlanmaktadır.

Akıllı şebekelerde, izleme ve kontrol işlemleri, Bilgi ve Haberleşme Teknolojileri (ICT) ve Denetimsel Kontrol ve Veri Toplama (SCADA) sistemleriyle desteklenmektedir [121]. Bu

sistemlerin, gelecekteki elektrik dağıtım şebekelerinde artan bir şekilde kritik bir öneme sahip olacakları öngörülmektedir. Ayrıca, bugüne kadar yapılan çalışmalarda, daha çok, akıllı şebeke sistemlerinin önemli bir parçası olan, tüketim ve fiyatlama açısından da önemli olan akıllı sayaçlar ve Gelişmiş Ölçüm Altyapıları (AMI) gibi konulara odaklanılmıştır [121]. Mevcut elektrik güç sistemlerinin modernize edilmesinde AMI sisteminin geliştirilmesi, bir dönüm noktası olarak düşünülmektedir. Bir Akıllı Şebekede AMI kısacası, tüketici ve sistem operatörleri arasında akıllı bağlantı sağlayan birçok teknolojinin bütünleşmesi ve tek bir sistem gibi hareket etmesi anlamına gelmektedir [105, 122]. Bu teknolojilerin bazıları arasında, akıllı sayaçlar (smart meters), geniş alan iletişim altyapısı, ev (yerel) alan ağları (HAN) ve Operasyonel ağ geçitleri gösterilebilir. AMI' nin üç ana unsuru Şekil 5.8'de gösterilmiştir [123].



Şekil 5.8. AMI sisteminin üç ana parçası

5.6.1. Akıllı şebeke referans modeli

Akıllı şebekelerin yapısını tanımlayabilmek için birçok önerilen taslak çerçeve [framework] bulunmaktadır. ABD'de bulunan, Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından, kavramsal Akıllı Şebeke referans modeli önerilmiştir [124]. Önerilen modelde, Akıllı Şebekede bulunan ve rol oynayan aktörlerin yanı sıra bunlar arasındaki olası haberleşme hatları ve gösterimleri bulunmaktadır. Şekil 5.9'da kavramsal model gösterilmiştir. Bu kavramsal modelde, Akıllı Şebeke, yedi (7) farklı alana (domain) ayrılmıştır. Bunlar:

Müşteriler:

Elektriğin son kullanıcılarıdır. Sadece tüketim olarak değil, enerji üretme, depolama ve yönetme kabiliyetleri vardır. Konutsal, ticari ve endüstriyel olabilirler.

Marketler:

Arz ve talep arasındaki denge sağlayıcılarıdır. Bu alanda, perakendeciler, elektrik sağlayıcıları ve elektriği satın alarak perakendecilere satan tüccarlar bulunur.

Servis Sağlayıcıları:

Elektriği, müşterilere ve kamuya, fatura hizmeti ve müşteri hesap yönetim servisleri ile birlikte sunan organizasyonlardır.

Operasyonlar (İşletme):

Elektrik akışını, iletim ve dağıtım alanlarını kontrol eden ve izleyen yetkili personeli temsil etmektedir.

Üretim:

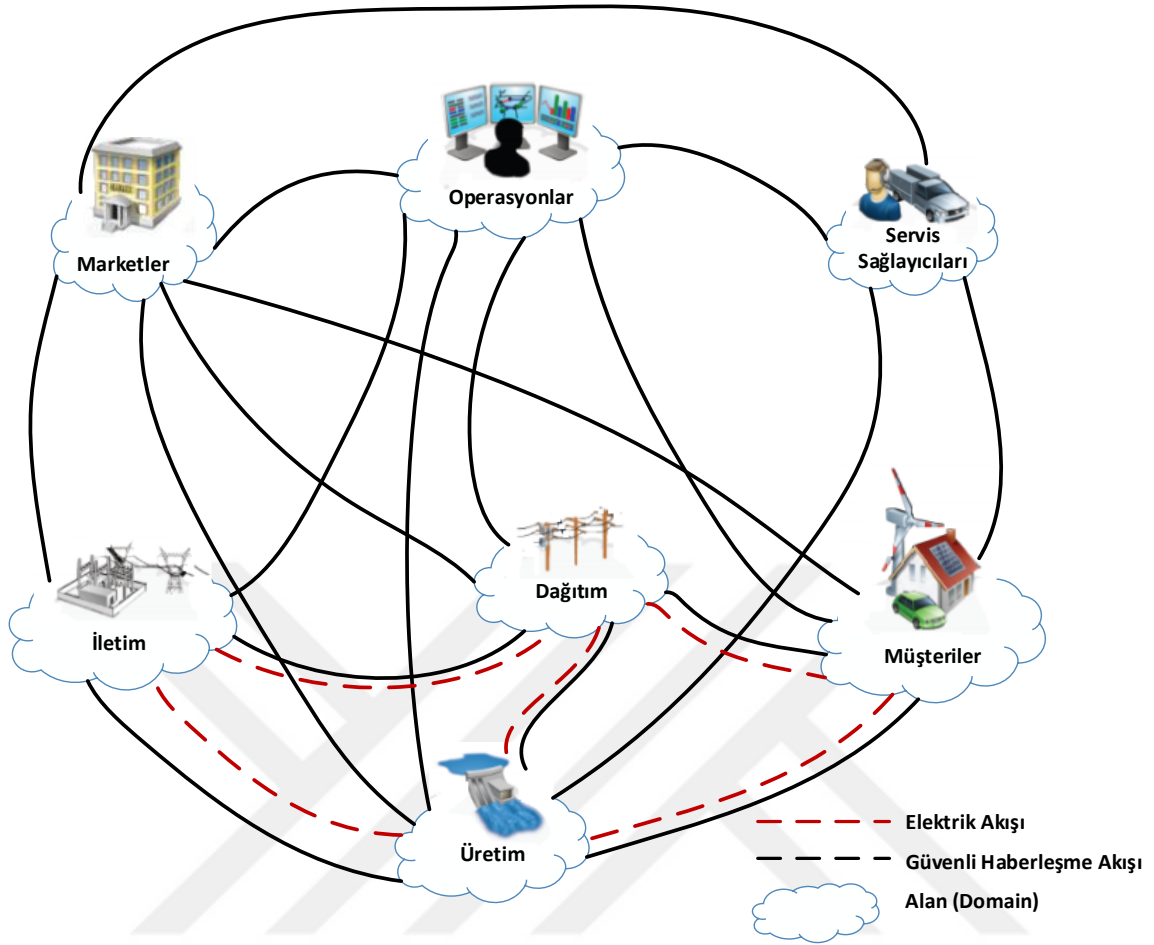
Elektrik genellikle kömür ve doğal gaz gibi yenilenebilir olmayan kaynaklardan üretilir. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları tarafından, geleneksel enerji üretim yerine, artan talebi karşılamak ve karbondioksit salınımını düşürmek için kullanılır.

İletim:

Elektriği tüketicilere ulaştırırken, uzun mesafelerde, elektrik taşıyıcıları da elektriği üretebilir ve depolayabilme özelliğine sahip olabilirler.

Dağıtım:

Elektrik distribütörlerinden müşterilere ve müşterilerden de distribütörlere, haberleşme altyapısı sayesinde, elektriği depolama ve üretme yeteneğine sahip olabilirler.

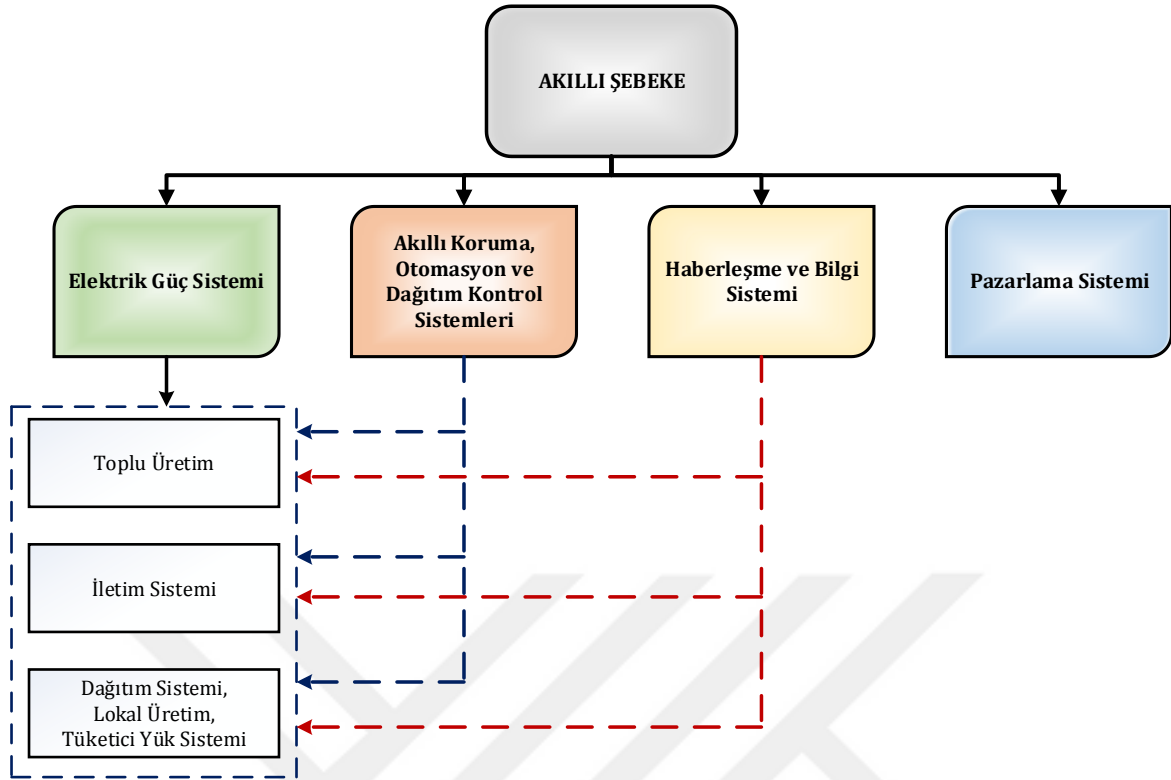


Şekil 5.9. Güvenli iletişim üzerinde akıllı şebeke alanlarındaki rollerin etkileşimi [105]

5.6.2. Akıllı şebeke altyapısı

Daha önceki bölümde, Akıllı Şebeke konseptinin farklı teknolojilerin bir araya getirilerek, elektrik güç sisteminin daha akıllı hale getirilmesi olduğu anlatılmıştı. Akıllı Şebeke içerisinde, bu farklı teknolojilerin ait olduğu birkaç alt sistem vardır. Akıllı Şebeke temel altyapısının, Şekil 5.9’da gösterildiği gibi, dört (4) sisteminin bir araya getirilmesiyle oluşturulduğu söylenebilir [105]. Bunlar:

- Elektrik güç sistemi
- Haberleşme ve bilgi sistemi,
- Akıllı koruma, otomasyon ve dağıtım kontrol sistemi
- Elektrik pazarlama sistemi



Şekil 5.10. Akıllı şebeke altyapı gösterimi [105]



6. AKILLI BİR ŞEBEKEDEN RİSKLER VE ANALİZİ

Akıllı şebeke sistemi, önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, faydaları çok önemli olmasına rağmen, büyük ve karmaşık bir sistemdir. İçerdiği birçok farklı sistem ve bu sistemlerin birbirleriyle olan karmaşık bağlantıları sebebiyle, çözümü zor ve zaman alıcı bir problem olarak görünmektedir.

Akıllı şebeke sistemi, kompleks bir sistem olması sebebiyle, yeni bir takım önemli riskler barındırmaktadır. Güç üretimi tarafındaki yenilenebilir enerji kaynakları ile tüketici tarafındaki yeni elektriksel aygıtlar arasındaki etkileşimi daha elverişli, verimli ve çift taraflı yapabilmek, sistemde, çok çeşitli riskler doğurmaktadır. Bu yüzden, akıllı şebekelerin risk yönetiminin önemi daha fazla artmakta ve akıllı şebekedeki risklerin bilimsel bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

2014-2016 yılları arasında akıllı şebeke teknolojisi yatırımları, akıllı sayaç kullanımının yayılmasıyla beraber, %12 oranında artmış fakat akıllı dağıtım ağları (smart distribution networks) gibi önemli alanlarda yatırımlar 2017 yılında, %3 civarında kalmıştır [117]. Bu da, akıllı sayaç dışındaki diğer başlıklarda, akıllı şebeke teknolojisinin pratik uygulamalarının, dolayısıyla da karşılaşılabilecek risklere karşı alınan önemlerin yavaş ilerlediğini göstermektedir.

Günümüzde, enerjinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarından geçip son tüketiciye ulaşana kadar, verimli bir şekilde kullanılması, hem ülke hem de hane ekonomisi düşünüldüğünde çok önemli hale gelmiştir. Daha önceki bölümde anlatıldığı üzere, mevcut şebeke yapısı ile verimlilik arttırılamamakta ve istenen hedeflere ulaşılamamaktadır. Akıllı Şebekelerin en önemli kazanımlarından biri, enerji verimliliğini arttırmasıdır. Örneğin, reaktif gücün en aza indirilerek, dağıtım hatlarındaki kaybı azaltması ve daha hassas bir gerilim kontrolü sağlaması verimlilik artışına direkt katkısı olan özellikleri arasında gösterilebilir [125].

2005 yılında, Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA), Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler departmanı (DESA), Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Avrupa İstatistik Komisyonu Genel Müdürlüğü (Eurostat) ve Avrupa Çevre Ajansı' nın (EEA) katkılarıyla

hazırlanan ve yayımlanan raporda, enerji verimliliğini arttırabilmek adına, bir takım enerji performans indikatörleri tanımlanmıştır [126]. Tanımlanan bu enerji performans göstergeleri; 4 tanesi *sosyal*, 16 tanesi *ekonomik* ve 10 tanesi de *çevresel indikatörler* olmak üzere, toplam 30 adet göstergeden oluşmaktadır. İndikatörlerin her biri, kendi başlığı altında, gerek üretim, iletim dağıtım, gerekse de kullanıcı tarafındaki verimliliğin arttırılması için tanımlanmış ve açıklanmıştır. Ayrıca, Global Enerji Enstitüsü (GEI) tarafından, yaklaşık 10 yıldır, Amerika ve uluslararası ülkeler için yapılan ve yayımlanan, Enerji Güvenlik Risk Endeksi raporlarında enerji güvenliği konusundaki önemli başlıklara değinilmiştir ve ülkeler hakkında ayrı ayrı değerlendirmeler yapılarak, gelecekte oluşabilecek risklerden bahsedilmektedir [127].

Daha önce de bahsedildiği üzere, güç sisteminin karmaşıklığı sebebiyle, sistemdeki riskleri tek bir indikatör ile göstermek mümkün değildir [12]. Çoklu risk indikatörleri ile sistemin farklı seviyelerindeki ilişkileri, aynı anda ve tam olarak yansıtarak, sistem üzerindeki etkileri daha doğru kıyaslanabilir. Bu sebeple, doğru ve bilimsel bir risk endeks sistemi kurmak ve hedefe yönelik önlemler almak gerekli oldukça önemlidir. Şu ana kadar yapılan çalışmalarda, bu göstergelerin sınıflandırılmasındaki sistematik yaklaşım eksikliğinden dolayı, bir bütün olarak değerlendirilememiş ve sadece tekli göstergeler (indikatörler) kullanılarak çözüm bulunmaya çalışılmıştır [16]. Tek indikatör barındıran çalışmalarda, siber güvenlik indikatörü [6, 128, 129] içerisinde tek başına analiz edilmeye çalışılmıştır. Diğer bir çalışmada ise, elektrikli araçların şarjı ile akıllı dağıtım sisteminin fayda/maliyet değerlendirilmesi yapılmıştır [130].

Bu çalışmanın amacı, Akıllı Şebeke ile ilgili, gelişmiş ülkelerin koydukları vizyon ve konsept çalışmaları, dünya çapında kararlar alan, iyi bilinen ve otorite sayılabilecek kuruluşların yayımladıkları detaylı değerlendirme raporlar doğrultusunda ve literatür çalışmalarından elde edilen bulgular ışığında, Akıllı Şebekelerde, gelişmiş, çoklu ve detaylı bir Risk Değerlendirme Endeks çerçevesi oluşturmak ve bu çerçevede oluşturulan riskleri ayrı başlıklar halinde ve aralarındaki ilişkileri çözümleyerek, sistemdeki, en riskli ve risksiz noktaları uygun bir metotla belirleyebilmektir.

6.1. Akıllı Şebeke Değerlendirme Sistemleri

6.1.1. Akıllı şebeke olgunluk modeli

Daha önceki bölümlerde, Avrupa ve diğer gelişmiş ülkelerin yaptıkları çalışma ve uygulamalar sayesinde, Akıllı Şebeke sisteminde, inşa etme, geliştirme, işletme yönetimi ve değerlendirme konularında, tecrübe sahibi olduğu söylenmişti. Akıllı şebeke sisteminin sistematik bir şekilde gelişmesi için, birçok ülke ve otoriter kuruluş, kapsamlı bir değerlendirme sistemi oluşturulmasının önemli bir parametre olduğunu düşünmüşler ve bununla ilgili detaylı çalışmalar yapmışlardır.

2011 yılında, ABD Enerji Departmanı (DOE) ve Carnegie Mellon Üniversite'sinin birlikte hazırladıkları, *Akıllı Şebeke Olgunluk Modeli* (Smart Grid Maturity Model) ortaya konulmuştur [131]. Bu Değerlendirme modelinde, Akıllı Şebekelerin mevcut durumun anlaşılması, uygulamalar ile ilgili gelecek stratejilerinin sağlıklı bir şekilde yapılması için bir yapı (framework) sunmaktadır. SGMM'i, her biri tanımlı 5 olgunluk seviyesinden oluşan, 8 alan oluşturmaktadır. Bahsedilen alanlar, akıllı şebeke ile ilgili karakteristiklerin ve yeterliklerin mantıksal gruplandırılmalarıdır. Olgunluk seviyeleri ise, kuruluşların; verimlilik, otomasyon, tasarruf ve güvenilirlik gibi alanlarda, akıllı şebeke vizyonuna ulaşma yolundaki ilerlemelerini göstermektedir ve her seviye kendinden önce bir önceki seviye üzerine kurulmuştur.

Bu modeldeki 8 farklı alan aşağıda sıralanmıştır [131]:

- Strateji Yönetim ve Düzenlemeler
- Organizasyon ve Yapı
- Şebeke Operasyonları
- İş ve Kazanç Yönetimi
- Teknoloji
- Müşteri Yönetimi
- Değer Zinciri Entegrasyonu
- Toplumsal ve Çevresel

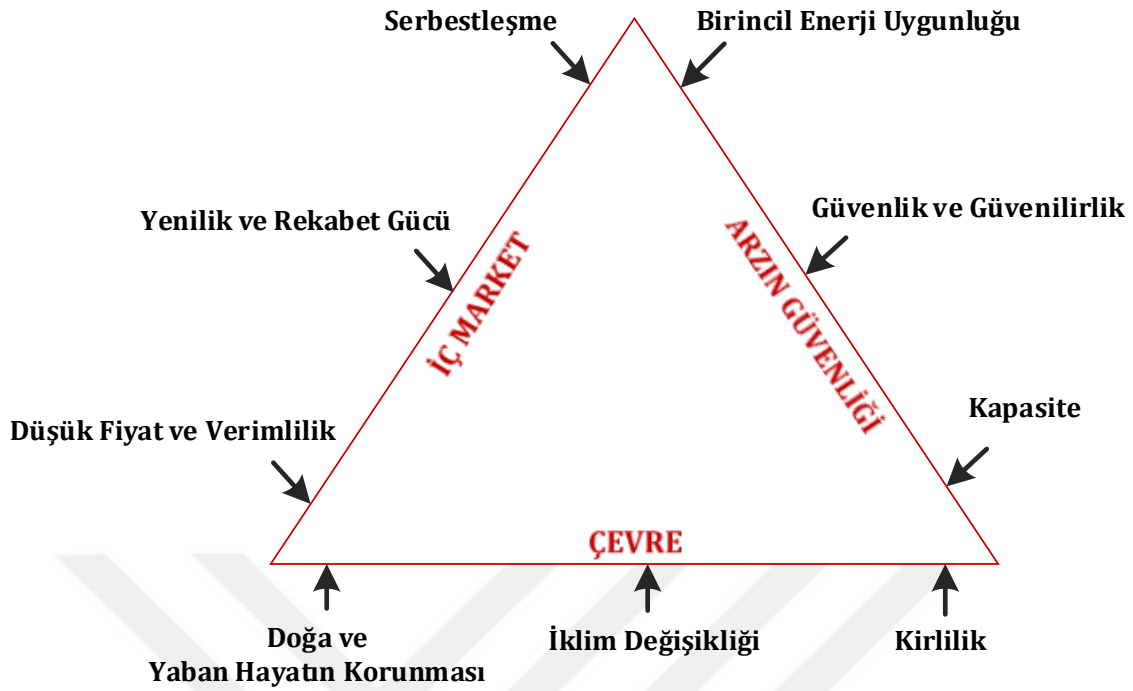
Bu modelde, ayrıca, yukarıda sıralanmış olan sekiz alan; *insan ve teknoloji alanları* ve *etki alanları* özelliklerine göre ikiye ayrılmıştır [10,132]. Çizelge 6.2’de bu alanlar gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Akıllı şebeke olgunluk modeli (Smart Grid Maturity Model)

İnsan ve Teknoloji Alanları	Etki Alanları
Strateji, Yönetim ve Düzenlemeler	Şebeke Operasyonları
Organizasyon ve Yapı	İş ve Kazanç Yönetimi
Teknoloji	Müşteri Yönetimi
Toplumsal ve Çevresel	Değer Zinciri Entegrasyonu

6.1.2. AB’nin Akıllı şebeke fayda değerlendirme sistemi

AB’de, Akıllı Şebeke gelişiminin üç özelliğe bağlı olduğu düşünülmektedir. Bunlar; Şekil 6.1’de görülebildiği gibi, iç market, güvenlik ve güç kalitesi ve çevresel faktörlerdir [109]. İklim değişikliği ve fosil yakıtların azalması gibi etkenler, elektrik tedarikinde değişiklik yapma zorunluluğu doğurmuştur. Bu nedenle, AB; düşük karbon yayımlı enerji sistemlerine geçerek, Kyoto Protokolü çerçevesinde, temiz, güvenli ve uygun maliyetli bir elektrik ağı kurmayı hedeflemektedir. Ayrıca, hızla eskiyen ve yaşlanan iletim ve dağıtım altyapısı, güvenlik ve arz kalitesini tehdit etmektedir.



Şekil 6.1. AB'deki akıllı şebeke gelişim faktörleri [109]

Bu sebeple, AB tarafından sunulan Akıllı Şebekede; güvenli, ekonomik, akıllı izleme sistemi bulunan, kontrol, haberleşme ve kendi kendini iyileştirme özelliğini barındırması hedeflenmektedir [10]. Bu bağlamda, Avrupa İletim Sistemi Ağı Operatörleri (ENTSO) ve Avrupa Ağ Dağıtım Sistemi Operatörleri (EDSO), enerji performans göstergeleriyle (KPI) birlikte, Akıllı Şebekelerin bir dizi yararlarından bahsetmiştir [133].

Çizelge 6.3. AB akıllı şebeke fayda değerlendirme sistemi

Faydalar	Enerji İndikatörleri
1. Artan Sürdürülebilirlik	CO ₂ yayılımının azaltılması
2. Üretilen Elektrik Tüketicilere Ulaştırmak İçin, Yeterli İletim ve Dağıtım Şebeke Kapasitesi	Dağıtılmış Güç Kapasitesi
3. Her Türlü Şebeke Kullanıcısına Erişim Sağlayan Şebeke Bağlantı Prosedürlerinin Uyumlaştırılması ve Standardizasyonu	Yeni Kullanıcıların Bağlantı Süresinde Kısalma
4. Daha Yüksek Güvenlik ve Tedarik Kalitesi	Yoğun talep Oranında Azalma, Yenilenebilir Kaynakların Paylaşımında Artma, Voltaj Kalitesinde Artma, Acil Durum Verimliliğinin Kontrolü
5. Elektrik Tedariki ve Şebeke İşletiminde Geliştirilmiş Verimlilik ve Daha iyi Servis	Şebeke Kayıplarında Azalma, Elektrikli Araç Sayısının Arttırılması, Sistem Güvenilirliğinin Arttırılması
6. Pan-Avrupa Elektrik Piyasalarının Döngü Akışlarını ve Ara Bağlantı Kapasitelerini Hafifletmek İçin Yük Akış Kontrolü İle Etkin Desteklenmesi	Sınır Ötesi Ara Bağlantı Kapasitesinin Arttırılması
7. Ortak Avrupa, Bölgesel ve Yerel Şebekeyi İçeren Koordineli Şebeke Planlama ve Geliştirme	
8. Kullanılan Çözümlerin Maliyet Verimliliği	
9. Yeni İş Modellerinin ve Yenilikçi Ürün ve Servislerin Geliştirilmesi	

6.2. Risk Değerlendirme Sistemi Belirleme Esasları

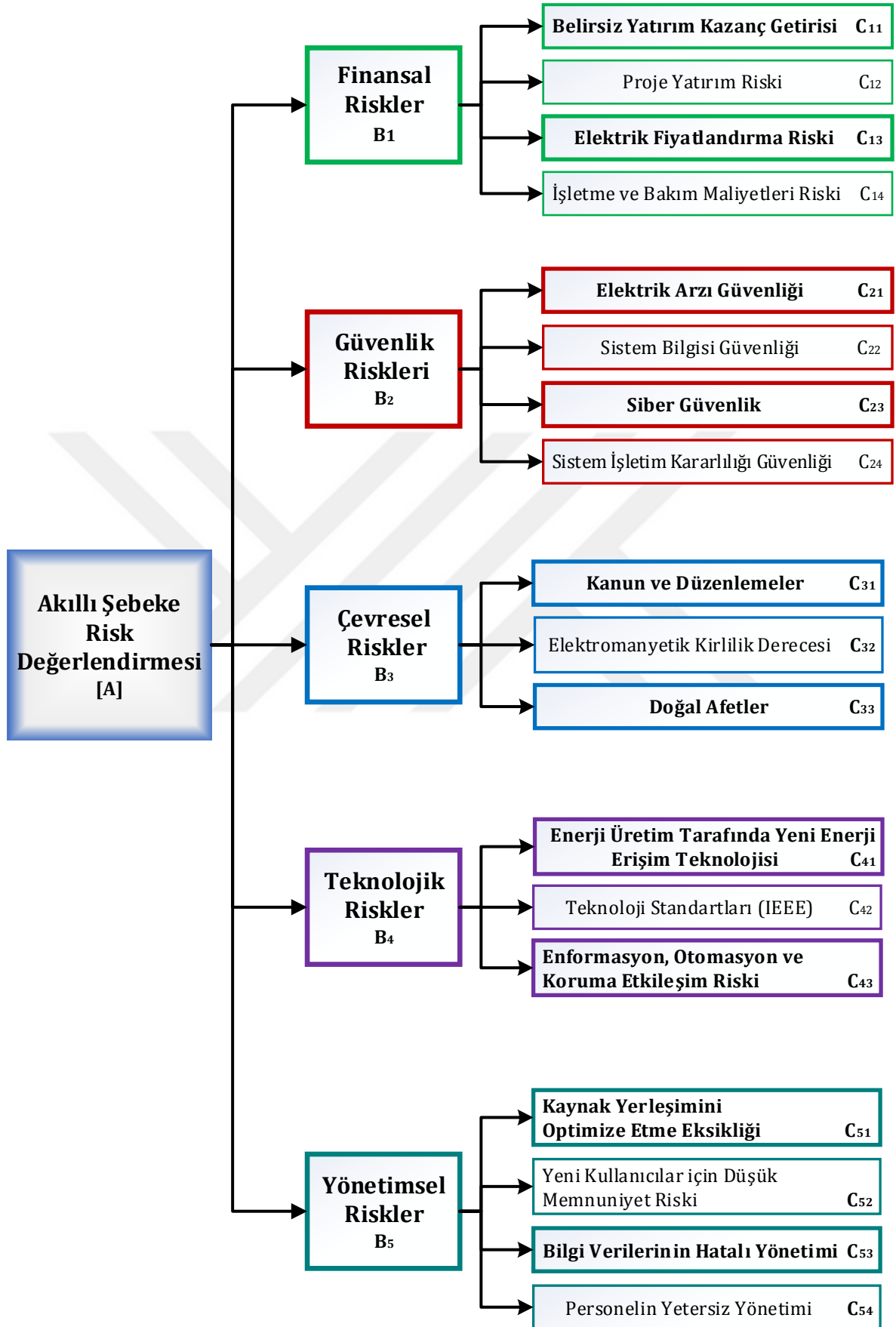
Akıllı bir şebekedeki risk değerlendirmesini doğru ve gerçekçi bir şekilde yapabilmek için, oluşturulacak endeks sistemi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Akıllı şebekelerdeki risk seviyelerinin detaylı ve sistemli bir analizi sonucu oluşturulmalıdır.
- Akıllı şebekelerin karakteristik özelliklerine göre oluşturulmalı ve kapsamlı olmalıdır.
- Sistemdeki riskler, açık ve belirleyici olmalıdır.
- Risklerin kapsadıkları alanlar mümkün olduğunca birbirleriyle kesişmemelidir.
- Sistem, anlaşılması kolay ve uygulanabilirlik anlamında pratik olmalıdır.

Ayrıca, Akıllı bir güç şebekesi ele alındığında, teknik ve ekonomik faktörlerin diğer faktörlerden daha önemli olduğu ve öncelikle ele alınması gerektiği de literatürde vurgulanmıştır [10].

Bu çalışmada, yukarıdaki prensipler ışığında oluşturulan, akıllı şebeke risk değerlendirme sistemi; finansal, güvenlik, çevresel, teknolojik ve yönetsel riskler olarak 5 farklı risk grubuna ayrılmıştır. Riskler, Şekil 6.2’de gösterilmektedir.

Türkiye gibi hızlı gelişmekte olan ülkelerde, jeopolitik konumunda etkisiyle beraber, politik risklerinde hesaba katılması gerekmektedir. Bu risk kriterinin ve altındaki alternatiflerinin, bu çalışma kapsamına girmediği için, politik risk ve etkilerinden bahsedilmeyecektir.



Şekil 6.2. Risk değerlendirme sistemi ve risk indikatörlerinin gösterimi

6.3. Risk İndikatörlerinde Ana Kriterlerin Tanımlanması

6.3.1. Finansal riskler

Mevcut elektrik şebekesinin, modernizasyonu ve altyapısının yenilenerek, akıllı şebeke sistemi oluşturmanın, şirketler ve devletler üzerinde önemli bir maliyet oluşturacağı kesindir. Proje yatırım riski, yapılan yatırımların getireceği belirsiz kazanç getirisi gibi riskler, altyapının kurulmadan önceki karşılaşılabilecek potansiyel riskler olarak karşımıza çıkmaktadır. İşletme bakım maliyetleri ve elektrik fiyatlandırmanın doğru yapılabilmesi de, akıllı şebeke sistemi tam olarak uygulanmaya başlamasıyla birlikte karşılaşılabilecek riskler olarak karşımıza çıkmaktadır.

6.3.2. Güvenlik riskleri

Akıllı şebeke sistemindeki ana risk gruplarından bir diğeri de, güvenlik riskleridir. Akıllı şebeke sistemi kullanılırken, bazı iç ve dış güvenlik tehditleri oluşma riski her zaman mevcuttur. Bunlar; elektrik arzı, sistem bilgisi, siber ve sistem işletim kararlılığı olarak gruplandırılabilir. Siber güvenlik her ne kadar, kendi başına incelenmesi gereken önemli bir başlık olmasına rağmen, bu çalışmada, güvenlik riski altında bir alternatif olarak kalmasına karar verilmiştir.

6.3.3. Çevresel riskler

Akıllı şebeke sisteminin çevresel riskleri olduğu ve bunları göz ardı edilmemesi gerekliliği önemlidir. Doğal afet, kanun ve düzenlemeler nedeniyle sistemin durması ya da aksama riski her zaman mevcuttur. Sistemin devredeyken, kullanılan donanımlar nedeniyle, çevreye yayılacak manyetik alanın bir risk oluşturduğu ve üzerinde çalışılması gereken bir konu olduğu düşünülmektedir.

6.3.4. Teknolojik riskler

Akıllı şebeke sisteminin geliştirilmesi için, teknoloji; hayati bir öneme sahiptir. Bu sebeple, akıllı şebeke sistemindeki teknolojik riskler yüksektir. Teknolojik riskler, enerji üretim tarafındaki yeni enerji erişimi, teknoloji standartları ve bilgi, otomasyon ve koruma etkileşimi yüzünden meydana gelir.

6.3.5. Yönetimsel riskler

Akıllı şebeke sistemlerinde, hem üreticiler, tedarikçi firmalar ve kullanıcılar üzerinde olmak üzere farklı tiplerde riskler mevcuttur. Bunlar; yeni kullanıcılar için düşük memnuniyet riski, bilgi verilerinin hatalı yönetimi, kaynak yerleşimini optimize etme ve personelin yetersiz yönetimi gibi riskler olacaktır.

7. UYGULAMA

Altıncı bölümde oluşturulan risk değerlendirme endeks çerçevesi, dördüncü bölümde anlatılan yöntemlerin uygulamaları ile bu bölümde çözümlenmeye çalışılmıştır. Ana ve ara risk başlıkları için, karar vericilerin görüşlerine göre oluşturulan matrislerin çözüm aşamaları adım adım gösterilmiştir. Çözümlemelerde öncelikle Chang'ın BAHF metodu, daha sonra sırasıyla geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metotlarının matematiksel adımları uygulanmış ve karşılaştırılmaları yapılmıştır. Durulaştırma işlemlerinin yanında, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama yöntemlerinin tutarlılık oranları hesaplanarak, bulunana değerlerin doğruluğu gösterilmeye çalışılmıştır.



7.1. Ana Kriterlerin Değerlendirilmesi

Ana Risk Gruplarının Matrisi:

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
B ₁	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (5/2, 3, 7/2) (2/7, 1/3, 2/5)	(7/2, 4, 9/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)	(2/7, 1/3, 2/5) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)
B ₂	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (2/7, 1/3, 2/5) (5/2, 3, 7/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (2/3, 1, 3/2) (5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5) (3/2, 2, 5/2) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1) (5/2, 3, 7/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)
B ₃	(2/9, 1/4, 2/7) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5) (2/3, 1, 3/2) (2/7, 1/3, 2/5)	(1, 1, 1)	(2/7, 1/3, 2/5) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1)
B ₄	(5/2, 3, 7/2) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1)	(5/2, 3, 7/2) (2/5, 1/2, 2/3) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2)
B ₅	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1) (2/7, 1/3, 2/5) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)

	B₁	B₂	B₃	B₄	B₅
B₁	(1, 1, 1)	(0.5814, 0.7071, 0.8881)	(1.3677, 1.6818, 2.0268)	(0.6606, 0.7596, 0.8801)	(0.9036, 1.1892, 1.5400)
B₂	(1.1259, 1.4142, 1.7199)	(1, 1, 1)	(1.3811, 2.0598, 2.6034)	(0.6434, 0.7598, 0.9036)	(1.2574, 1.5651, 1.9034)
B₃	(0.4934, 0.5946, 0.7311)	(0.3841, 0.4855, 0.6325)	(1, 1, 1)	(0.5254, 0.6389, 0.7953)	(0.9036, 1, 1.1067)
B₄	(1.1362, 1.3160, 1.5137)	(1.1067, 1.3161, 1.5541)	(1.2574, 1.5651, 1.9034)	(1, 1, 1)	(0.7186, 1, 1.3916)
B₅	(0.6434, 0.8409, 1.1067)	(0.5254, 0.6389, 0.7953)	(0.9036, 1, 1.1067)	(0.7186, 1, 1.3916)	(1, 1, 1)
	(4.4048, 5.1661, 6.0714)	(3.5976, 4.1476, 4.87)	(6.1098, 7.3067, 8.6403)	(3.548, 4.1583, 4.9706)	(4.7832, 5.7543, 6.9417)

(1+0,5814+1,3677+0,6606+0,9036),(1+0,7071+1,6818+0,7596+1,1892),(1+0,8881+2,0268+0,8801+1,5400)

=(4,5133, 5,3377, 5,4549)

((4,4048+3,5976+6,1098+3,548+4,7832),(5,1661+4,1476+7,3067+4,1583+5,7543),
(6,0714+ 4,87+8,6403+4,9706 + 6,9417) = (22,4434 + 26,533 + 31,494)

$$S_{B_1} = (4,5133, 5,3377, 6,3350) \times (22,4434, 26,533, 31,494)^{-1}$$

$$S_{B_1} = \left(4,5133 / 31,494, 5,3377 / 26,533, 6,3350 / 22,4434 \right)$$

$$S_{B_1} = (0,1433, 0,2012, 0,2823)$$

$$S_{B_2} = (5,6078, 6,7989, 8,1303) \times (22,4434, 26,533, 31,494)^{-1}$$

$$S_{B_2} = (0,1781, 0,2562, 0,3623)$$

$$S_{B_3} = (3,3065, 3,719, 4,2656) \times (22,4434, 26,533, 31,494)^{-1}$$

$$S_{B_3} = (0,1050, 0,1402, 0,1901)$$

$$S_{B_4} = (5, 2189, 6, 1972, 7, 3628) \times (22, 4434, 26, 533, 31, 494)^{-1}$$

$$S_{B_4} = (0, 1657, 0, 2336, 0, 3281)$$

$$S_{B_5} = (3, 7969, 4, 4798, 5, 4003) \times (22, 4434, 26, 533, 31, 494)^{-1}$$

$$S_{B_5} = (0, 1206, 0, 1689, 0, 2406)$$

$$S_{B_1} = (0, 1433, 0, 2011, 0, 2823)$$

$$S_{B_2} = (0, 1781, 0, 2562, 0, 3623)$$

$$S_{B_3} = (0, 1050, 0, 1401, 0, 1901)$$

$$S_{B_4} = (0, 1657, 0, 2336, 0, 3281)$$

$$S_{B_5} = (0, 1206, 0, 1688, 0, 2406)$$

Elde edilen bu vektörler kullanılarak karşılaştırma işlemleri yapılırsa:

****** $m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ sağlayan durumlar için;

$V(S_{B_1} \geq S_{B_3}) = 1$	$V(S_{B_2} \geq S_{B_1}) = 1$
$V(S_{B_1} \geq S_{B_5}) = 1$	$V(S_{B_2} \geq S_{B_3}) = 1$
	$V(S_{B_2} \geq S_{B_4}) = 1$
	$V(S_{B_2} \geq S_{B_5}) = 1$

$V(S_{B_4} \geq S_{B_1}) = 1$	$V(S_{B_5} \geq S_{B_3}) = 1$
$V(S_{B_4} \geq S_{B_3}) = 1$	

$$V(S_{B_4} \geq S_{B_5}) = 1$$

** $u_2 \leq l_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ sağlayan durumlar için;

Yukarıdaki eşitliği sağlayan herhangi bir durum yoktur.

** Diğer durumlar için $V(M_2 \geq M_1)$; $\frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$ ifadesi kullanılacaktır. Buna göre;

$$V(S_{B_1} \geq S_{B_2}) = \frac{0,1781 - 0,2823}{(0,2012 - 0,2823) - (0,2562 - 0,1781)} = 0,6545$$

$$V(S_{B_1} \geq S_{B_4}) = \frac{0,1657 - 0,2823}{(0,2012 - 0,2823) - (0,2336 - 0,1657)} = 0,7826$$

$$V(S_{B_3} \geq S_{B_1}) = \frac{0,1433 - 0,1901}{(0,1402 - 0,1901) - (0,2012 - 0,1433)} = 0,4341$$

$$V(S_{B_3} \geq S_{B_2}) = \frac{0,1781 - 0,1901}{(0,1402 - 0,1901) - (0,2562 - 0,1781)} = 0,093$$

$$V(S_{B_3} \geq S_{B_4}) = \frac{0,1657 - 0,1901}{(0,1402 - 0,1901) - (0,2336 - 0,1657)} = 0,2071$$

$$V(S_{B_3} \geq S_{B_5}) = \frac{0,1206 - 0,1901}{(0,1402 - 0,1901) - (0,1608 - 0,1206)} = 0,7714$$

$$V(S_{B_4} \geq S_{B_2}) = \frac{0,1781 - 0,3281}{(0,2336 - 0,3281) - (0,2562 - 0,1781)} = 0,8690$$

$$V(S_{B_5} \geq S_{B_1}) = \frac{0,1433 - 0,2406}{(0,1688 - 0,2406) - (0,2012 - 0,1433)} = 0,7501$$

$$V(S_{B_5} \geq S_{B_2}) = \frac{0,1781 - 0,2406}{(0,1688 - 0,2406) - (0,2562 - 0,1781)} = 0,4169$$

$$V(S_{B_5} \geq S_{B_4}) = \frac{0,1657 - 0,2406}{(0,1688 - 0,2406) - (0,2336 - 0,1657)} = 0,5361$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından S_i ($i=1,2,3,\dots,k$) daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Buna göre;

$$\min(S_{B1} \geq S_{B2}, S_{B3}, S_{B4}) = 0,6545$$

$$\min(S_{B2} \geq S_{B3}, S_{B4}, S_{B5}) = 1$$

$$\min(S_{B3} \geq S_{B1}, S_{B2}, S_{B4}, S_{B5}) = 0,093$$

$$\min(S_{B4} \geq S_{B1}, S_{B2}, S_{B3}, S_{B5}) = 0,8690$$

$$\min(S_{B5} \geq S_{B1}, S_{B2}, S_{B3}, S_{B4}) = 0,4169$$

$$w = (0,6545, 1, 0,093, 0,8690, 0,4169)^T \text{ 'dir.}$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü:

$$w = \left(\frac{0,6545}{3,0334}, \frac{1}{3,0334}, \frac{0,093}{3,0334}, \frac{0,8690}{3,0334}, \frac{0,4169}{3,0334} \right)^T$$

$$= 0,2157, 0,3296, 0,0306, 0,2865, 0,1374$$

Ana kriterleri kıyaslamamanın sonucunda, uzmanlar için, ana kriterlerin önem dereceleri yüzde olarak ifade edilirse;

- Finansal Riskler %22,
- Güvenlik Riskleri %33,
- Çevresel Riskler %3,
- Teknolojik Riskler %29
- Yönetimsel Riskler % 14 öneme sahip olduğu görülmektedir.

İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ olmak üzere toplam entegral değer;

$$X = (a, b, c; w)$$

$x_{\min} = \inf X$ Olmak üzere ve iyimserlik indeksi $\alpha = 0.5$ için, geliştirilmiş entegral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min} \right] = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min} \right]$$

$$S_{B_1} = (0,1433, 0,2011, 0,2823)$$

$$S_T^\alpha(B_1) = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha(0,2011+0,2823) + (1-\alpha)(0,2011+0,1433) - 2(0,1433) \right] =$$

$$= \left(\frac{1}{2} \right) \left[\alpha(0,2823) + 0,2011 + (1-\alpha)0,1433 - 2(0,1433) \right]$$

$$S_T^\alpha(B_1) = 0,0695\alpha + 0,0289 = 0,0636$$

$$S_{B_2} = (0,1781, 0,2562, 0,3623)$$

$$S_T^\alpha(B_2) = \left(\frac{w}{2}\right) [\alpha(0,2562 + 0,3623) + (1-\alpha)(0,2562 + 0,1781) - 2(0,1781)] =$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0,3623) + 0,2562 + (1-\alpha)0,1781 - 2(0,1781)]$$

$$S_T^\alpha(B_2) = 0,0921\alpha + 0,0391 = 0,0852$$

$$S_{B_3} = (0,1050, 0,1401, 0,1901)$$

$$S_T^\alpha(B_3) = \left(\frac{w}{2}\right) [\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min}]$$

$$S_T^\alpha(B_3) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0,1901) + 0,1401 + (1-\alpha)0,1050 - 2(0,1050)]$$

$$= 0,0426\alpha + 0,0176 = 0,0389$$

$$S_{B_4} = (0,1657, 0,2336, 0,3281)$$

$$S_T^\alpha(B_4) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0,3281) + 0,2336 + (1-\alpha)0,1657 - 2(0,1657)]$$

$$= 0,0812\alpha + 0,034 = 0,0746$$

$$S_{B_5} = (0,1206, 0,1688, 0,2406)$$

$$S_T^\alpha(B_5) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0,2406) + 0,1688 + (1-\alpha)0,1206 - 2(0,1206)]$$

$$= 0,06\alpha + 0,0241 = 0,0541$$

Değerleri elde edilir. Elde edilen bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$w = (0,0636, 0,0852, 0,0389, 0,0746, 0,0541)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = (0,0636/0,3164, 0,0852/0,3164, 0,0389/0,3164, 0,0746/0,3164, 0,0541/0,3164)^T$$

$$w = (0,2010, 0,2693, 0,1229, 0,2358, 0,171)^T$$

Ana kriterler ile ilgili yapılan gelişmiş integral yöntemine göre sıralama yapıldığında;

- Finansal Riskler %20,
- Güvenlik Riskleri % 27,
- Çevresel Riskler %12,
- Teknolojik Riskler %24
- Yönetimsel Risklerin % 17 öneme sahip olduğu gözükmemektedir. Bulanık analitik hiyerarşi prosesindeki sıralamamıza paralel bir sıralama sonucu görmekteyiz.

Geliştirilmiş toplam entegral değer metodunda tutarlılık analizi yapılabilmektedir. Analizle birlikte bulanacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır.

Durulaştırma sonucunda elde edilen 5x5 boyutlu matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,72 & 1,69 & 0,76 & 1,20 \\ 1,42 & 1 & 2,07 & 0,76 & 1,57 \\ 0,60 & 0,49 & 1 & 0,65 & 1 \\ 1,32 & 1,32 & 1,57 & 1 & 1,02 \\ 0,85 & 0,65 & 1 & 1,02 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,72 & 1,69 & 0,76 & 1,20 \\ 1,42 & 1 & 2,07 & 0,76 & 1,57 \\ 0,60 & 0,49 & 1 & 0,65 & 1 \\ 1,32 & 1,32 & 1,57 & 1 & 1,02 \\ 0,85 & 0,65 & 1 & 1,02 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,20 \\ 0,27 \\ 0,12 \\ 0,24 \\ 0,17 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,98 \\ 1,25 \\ 0,70 \\ 1,22 \\ 0,88 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{0,98}{0,20} + \frac{1,25}{0,27} + \frac{0,69}{0,12} + \frac{1,22}{0,24} + \frac{0,88}{0,17} = 21,83$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, $T.I = \frac{5,12 - 5}{5 - 1} = 0,03$ olarak

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$T.O = \frac{0,03}{1,11} = 0,027$ olarak bulunur. Bu oran 0,1'den küçük olduğu için oluşturulan matris

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Kuadratik ortalama metoduna göre ise;

$$S_{B_1} = (0,1433, 0,2011, 0,2823)$$

$$S_{B_2} = (0,1781, 0,2562, 0,3623)$$

$$S_{B_3} = (0,1050, 0,1401, 0,1901)$$

$$S_{B_4} = (0,1657, 0,2336, 0,3281)$$

$$S_{B_5} = (0,1206, 0,1688, 0,2406) \text{ olmak üzere,}$$

Elde edilen bu vektörler, Eş. 4.32 ile Kuadratik ortalamalarının alınmasıyla,

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}$$

$$S_{B_1\,rms} = \sqrt{\frac{0,1433^2 + 0,2011^2 + 0,2823^2}{3}} = 0,217$$

$$S_{B_2\,rms} = \sqrt{\frac{0,1781^2 + 0,2562^2 + 0,3623^2}{3}} = 0,276$$

$$S_{B_3\,rms} = \sqrt{\frac{0,1050^2 + 0,1401^2 + 0,1901^2}{3}} = 0,149$$

$$S_{B_4\,rms} = \sqrt{\frac{0,1657^2 + 0,2336^2 + 0,3281^2}{3}} = 0,251$$

$$S_{B_{s_{rms}}} = \sqrt{\frac{0,1206^2 + 0,1668^2 + 0,2406^2}{3}} = 0,183$$

Buna göre ağırlık vektörü,

$w = (0,217, 0,276, 0,149, 0,251, 0,183)^T$ şeklinde elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$$w = (0,201, 0,257, 0,138, 0,233, 0,17)^T \text{ olur.}$$

Kuadratik ortalama sonucunda, ana kriterlerin önem dereceleri;

- Finansal Riskler %20,
- Güvenlik Riskleri % 26,
- Çevresel Riskler %14,
- Teknolojik Riskler %23,
- Yönetimsel Risklerin % 17 olarak gözükmektedir.

Kuadratik ortalama metodunda da tutarlılık analizi yapılabilmektedir. Analizle birlikte bulunacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır.

Durulaştırma sonucunda elde edilen 5x5 boyutlu matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,72 & 1,69 & 0,76 & 1,20 \\ 1,42 & 1 & 2,07 & 0,76 & 1,57 \\ 0,60 & 0,49 & 1 & 0,65 & 1 \\ 1,32 & 1,32 & 1,57 & 1 & 1,02 \\ 0,85 & 0,65 & 1 & 1,02 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,72 & 1,69 & 0,76 & 1,20 \\ 1,42 & 1 & 2,07 & 0,76 & 1,57 \\ 0,60 & 0,49 & 1 & 0,65 & 1 \\ 1,32 & 1,32 & 1,57 & 1 & 1,02 \\ 0,85 & 0,65 & 1 & 1,02 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,20 \\ 0,26 \\ 0,14 \\ 0,23 \\ 0,17 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1,28 \\ 0,71 \\ 1,23 \\ 0,88 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{1}{0,20} + \frac{1,28}{0,26} + \frac{0,71}{0,14} + \frac{1,23}{0,23} + \frac{0,88}{0,17}}{5} = 5,10$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{5,10-5}{5-1} = 0,025 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,025}{1,11} = 0,023 \text{ olarak bulunur. Bu oran 0.1'den küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

7.1. Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

7.1.1. Finansal riskler

	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
C ₁₁	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)	(5/2, 3, 7/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (2/3, 1, 3/2)	(2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2)
C ₁₂	(3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2) (5/2, 3, 7/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (5/2, 3, 7/2) (3/2, 2, 5/2)
C ₁₃	(2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5) (2/3, 1, 3/2)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5) (2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)
C ₁₄	(5/2, 3, 7/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3)	(3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)

	C₁₁	C₁₂	C₁₃	C₁₄
C₁₁	(1, 1, 1)	(0.4624, 0.5373, 0.6493)	(1.5811, 0.7596, 0.8801)	(0.4747, 0.6389, 0.8801)
C₁₂	(1.5400, 1.8612, 2.1627)	(1, 1, 1)	(1.9365, 0.7598, 0.9036)	(1.3916, 1.5651, 1.7199)
C₁₃	(0.3841, 0.4855, 0.6325)	(0.3381, 0.4082, 0.5164)	(1, 1, 1)	(0.6999, 0.8409, 1.0267)
C₁₄	(1.1362, 1.5651, 2.1064)	(0.5814, 0.6389, 0.7186)	(0.9740, 1.1892, 1.4287)	(1, 1, 1)
	(4.0604, 4.9118, 5.9015)	(2.3819, 2.5845, 2.8843)	(5.4916, 6.6985, 7.9902)	(3.5662, 4.0449, 4.6267)

$$S_{C_{11}} = (0,1644, 0,2322, 0,3311)$$

$$S_{C_{12}} = (0,2742, 0,3770, 0,5058)$$

$$S_{C_{13}} = (0,1132, 0,1499, 0,2049)$$

$$S_{C_{14}} = (0,1725, 0,2409, 0,3389)$$

Elde edilen bu vektörler kullanılarak karşılaştırma işlemleri yapılırsa:

**** $m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{11}} \geq S_{C_{13}}) = 1$$

$$V(S_{C_{12}} \geq S_{C_{11}}) = 1$$

$$V(S_{C_{14}} \geq S_{C_{11}}) = 1$$

$$V(S_{C_{12}} \geq S_{C_{13}}) = 1$$

$$V(S_{C_{14}} \geq S_{C_{13}}) = 1$$

$$V(S_{C_{12}} \geq S_{C_{14}}) = 1$$

**** $u_2 \leq l_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{13}} \geq S_{C_{12}}) = 0$$

** Diğer durumlar için $V(M_2 \geq M_1)$; $\frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$ ifadesi kullanılacaktır. Buna göre;

$$V(S_{C_{11}} \geq S_{C_{12}}) = \frac{0,2742 - 0,3311}{(0,2322 - 0,3311) - (0,3770 - 0,2742)} = 0,2821$$

$$V(S_{C_{11}} \geq S_{C_{14}}) = \frac{0,1725 - 0,3311}{(0,2322 - 0,3311) - (0,2409 - 0,1725)} = 0,948$$

$$V(S_{C_{13}} \geq S_{C_{11}}) = \frac{0,1644 - 0,2049}{(0,1499 - 0,2049) - (0,2322 - 0,1644)} = 0,3298$$

$$V(S_{C_{13}} \geq S_{C_{14}}) = \frac{0,1725 - 0,2049}{(0,1499 - 0,2049) - (0,2409 - 0,1725)} = 0,2626$$

$$V(S_{C_{14}} \geq S_{C_{12}}) = \frac{0,2742 - 0,3389}{(0,2409 - 0,3389) - (0,3770 - 0,2742)} = 0,3222$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından $S_i (i=1,2,3,\dots,k)$ daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i=1, 2, \dots, k$$

Buna göre;

$$\min(S_{C_{11}} \geq S_{C_{12}}, S_{C_{13}}, S_{C_{14}}) = 0,2821$$

$$\min(S_{C_{12}} \geq S_{C_{11}}, S_{C_{13}}, S_{C_{14}}) = 1$$

$$\min(S_{C_{13}} \geq S_{C_{11}}, S_{C_{12}}, S_{C_{14}}) = 0$$

$$\min(S_{C_{14}} \geq S_{C_{11}}, S_{C_{12}}, S_{C_{13}}) = 0,3222$$

$$w = (0.28, 1, 0, 0.32)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = \left(\frac{0.28}{1.6}, \frac{1}{1.6}, \frac{0}{1.6}, \frac{0.32}{1.6} \right)^T$$

$$w = (0.175, 0.625, 0, 0.2)^T \text{ dir.}$$

Bu sonuçlara göre, *Finansal Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Belirsiz Yatırım Riski %17,5
- Proje Yatırım Riski %62,5
- Elektrik Fiyatlandırma Riski %0,
- İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski ise %20 öneme sahiptir.

İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ olmak üzere toplam integral değer;

$X = (a, b, c; w)$ ve $x_{\min} = \inf X$ Olmak üzere ve iyimserlik endeksi $\alpha = 0.5$ için, geliştirilmiş integral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min} \right] = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min} \right]$$

şeklinde hesaplanabilir. Buna göre,

$$S_{C_{11}} = (0,1644, 0,2322, 0,3311) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{11}) = \left(\frac{1}{2} \right) \left[\alpha(0,2322 + 0,3311) + (1-\alpha)(0,2322 + 0,1644) - 2(0,1644) \right] =$$

$$= \left(\frac{1}{2} \right) \left[\alpha(0,3311) + 0,2322 + (1-\alpha)0,1644 - 2(0,1644) \right] =$$

$$S_T^\alpha(C_{11}) = 0,0833\alpha + 0,0339 = 0,0755$$

$$S_{C_{12}} = (0,2742, 0,3770, 0,5058) \text{ olmak üzere;}$$

$$S_T^\alpha(C_{12}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,5058 + 0,3770 + (1-\alpha)0,2742 - 2(0,2742)]$$

$$S_T^\alpha(C_{12}) = 0,1158\alpha + 0,0514 = 0,1093$$

$S_{C_{13}} = (0,1132, 0,1499, 0,2049)$ olmak üzere;

$$S_T^\alpha(C_{13}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,2049 + 0,1499 + (1-\alpha)0,1132 - 2(0,1132)]$$

$$S_T^\alpha(C_{13}) = 0,0458\alpha + 0,0183 = 0,0412$$

$S_{C_{14}} = (0,1725, 0,2409, 0,3389)$ olmak üzere;

$$S_T^\alpha(C_{14}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,3389 + 0,2409 + (1-\alpha)0,1725 - 2(0,1725)]$$

$$S_T^\alpha(C_{14}) = 0,0832\alpha + 0,0342 = 0,0758$$

Değerleri elde edilir. Elde edilen bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$w = (0,0755, 0,1093, 0,0412, 0,0758)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = (0,2502, 0,3622, 0,1365, 0,2512)^T \text{ olarak bulunur.}$$

Buna göre Finansal Risk ana kriteri altındaki alternatiflerin önem dereceleri;

- Belirsiz Yatırım Riski % 25,
- Proje Yatırım Riski %36,
- Elektrik Fiyatlandırma Riski % 14,
- İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski ise %25 öneme sahiptir.

Chang' ın genişletilmiş BAHP metodunda tutarlılık analizi yapılamamaktadır. Geliştirilmiş toplam entegral değer metodu ise tutarlılık analizine izin vermektedir. Analizle birlikte bulunacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,54 & 2,07 & 0,65 \\ 1,86 & 1 & 2,45 & 1,56 \\ 0,49 & 0,41 & 1 & 0,85 \\ 1,58 & 0,64 & 1,19 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,54 & 2,07 & 0,65 \\ 1,86 & 1 & 2,45 & 1,56 \\ 0,49 & 0,41 & 1 & 0,85 \\ 1,58 & 0,64 & 1,19 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,25 \\ 0,36 \\ 0,14 \\ 0,25 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,90 \\ 1,56 \\ 0,62 \\ 1,04 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,90}{0,25} + \frac{1,56}{0,36} + \frac{0,62}{0,14} + \frac{1,04}{0,25}}{4} = 4,13$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{4,13-4}{4-1} = 0,043 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,043}{0,89} = 0,048 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Kuadratik ortalama metoduna göre ise;

$$S_{C_{11}} = (0,1644, 0,2322, 0,3311)$$

$$S_{C_{12}} = (0,2742, 0,3770, 0,5058)$$

$$S_{C_{13}} = (0,1132, 0,1499, 0,2049)$$

$$S_{C_{14}} = (0,1725, 0,2409, 0,3389)$$

Elde edilen bu vektörler, Eş. 4.32 ile Kuadratik ortalamalarının alınmasıyla,

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}$$

$$S_{C_{11}rms} = \sqrt{\frac{0,1644^2 + 0,2322^2 + 0,3311^2}{3}} = 0,252$$

$$S_{C_{12}rms} = \sqrt{\frac{0,2742^2 + 0,3770^2 + 0,5058^2}{3}} = 0,397$$

$$S_{C_{13}rms} = \sqrt{\frac{0,1132^2 + 0,1499^2 + 0,2049^2}{3}} = 0,16$$

$$S_{C_{14}rms} = \sqrt{\frac{0,1725^2 + 0,2409^2 + 0,3389^2}{3}} = 0,26$$

Buna göre ağırlık vektörü,

$w = (0,252, 0,397, 0,16, 0,26)^T$ şeklinde elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$w = (0,2357, 0,3713, 0,1497, 0,2432)^T$ olur.

Chang' ın genişletilmiş BAHF metodunda tutarlılık analizi yapılamamaktadır. Kuadratik ortalama metodu ise tutarlılık analizine izin vermektedir. Analizle birlikte bulunacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,54 & 2,07 & 0,65 \\ 1,86 & 1 & 2,45 & 1,56 \\ 0,49 & 0,41 & 1 & 0,85 \\ 1,58 & 0,64 & 1,19 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,54 & 2,07 & 0,65 \\ 1,86 & 1 & 2,45 & 1,56 \\ 0,49 & 0,41 & 1 & 0,85 \\ 1,58 & 0,64 & 1,19 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,24 \\ 0,37 \\ 0,15 \\ 0,24 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,91 \\ 1,56 \\ 0,62 \\ 1,03 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,91}{0,24} + \frac{1,56}{0,37} + \frac{0,62}{0,15} + \frac{1,03}{0,24}}{4} = 4,11$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{4,11 - 4}{4 - 1} = 0,037 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,037}{0,89} = 0,042 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

7.1.2. Güvenlik riskleri

	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
C_{21}	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (7/2, 4, 9/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1)
C_{22}	(2/5, 1/2, 2/3) (2/9, 1/4, 2/7) (2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)
C_{23}	(1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(3/2, 2, 5/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)
C_{24}	(1, 1, 1) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (2/7, 1/3, 2/5) (2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)
	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}
C_{21}	(1, 1, 1)	(1.8539, 2.3784, 2.8957)	(0.9036, 1.1892, 1.5400)	(0.9036, 1, 1.1067)
C_{22}	(0.3453, 0.4204, 0.5394)	(1, 1, 1)	(0.8165, 1, 1.2247)	(0.7186, 1, 1.3916)
C_{23}	(0.6493, 0.8409, 1.1067)	(0.8165, 1, 1.2247)	(1, 1, 1)	(0.8801, 1.1892, 1.5811)
C_{24}	(0.7186, 1, 1.3916)	(0.7186, 1, 1.3916)	(0.6325, 0.8409, 1.1362)	(1, 1, 1)
	(2.7133, 3.2613, 4.0377)	(4.2394, 5.2134, 6.3357)	(3.3526, 4.0301, 4.9010)	(3.5023, 4.1892, 5.0794)

$$S_{C_{21}} = (0,2217, 0,3336, 0,4611)$$

$$S_{C_{22}} = (0,1415, 0,2049, 0,3010)$$

$$S_{C_{23}} = (0,1644, 0,2414, 0,3558)$$

$$S_{C_{24}} = (0,1508, 0,2301, 0,2417)$$

Elde edilen bu vektörler kullanılarak karşılaştırma işlemleri yapılırsa:

****** $m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ sağlayan durumlar için;

$$V(S_{C_{21}} \geq S_{C_{22}}) = 1$$

$$V(S_{C_{23}} \geq S_{C_{22}}) = 1$$

$$V(S_{C_{24}} \geq S_{C_{22}}) = 1$$

$$V(S_{C_{21}} \geq S_{C_{23}}) = 1$$

$$V(S_{C_{23}} \geq S_{C_{24}}) = 1$$

$$V(S_{C_{21}} \geq S_{C_{24}}) = 1$$

****** $u_2 \leq l_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ sağlayan durumlar için;

Yukarıdaki eşitliği sağlayan herhangi bir durum yoktur.

****** Diğer durumlar için $V(M_2 \geq M_1)$; $\frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$ ifadesi kullanılacaktır. Buna göre;

$$V(S_{C_{22}} \geq S_{C_{21}}) = \frac{0,2270 - 0,2977}{(0,2029 - 0,2977) - (0,3302 - 0,2270)} = 0,3571$$

$$V(S_{C_{22}} \geq S_{C_{23}}) = \frac{0,1630 - 0,2977}{(0,2029 - 0,2977) - (0,2390 - 0,1630)} = 0,7886$$

$$V(S_{C_{22}} \geq S_{C_{24}}) = \frac{0,1495 - 0,2977}{(0,2029 - 0,2977) - (0,2278 - 0,1495)} = 0,8562$$

$$V(S_{C_{23}} \geq S_{C_{21}}) = \frac{0,2270 - 0,3520}{(0,2390 - 0,3520) - (0,3302 - 0,2270)} = 0,5734$$

$$V(S_{C_{24}} \geq S_{C_{21}}) = \frac{0,2270 - 0,2396}{(0,2278 - 0,2396) - (0,3302 - 0,2270)} = 0,1096$$

$$V(S_{C_{24}} \geq S_{C_{23}}) = \frac{0,1630 - 0,2396}{(0,2278 - 0,2396) - (0,2390 - 0,1630)} = 0,8724$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından $S_i (i=1,2,3,\dots,k)$ daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Buna göre;

$$\min(S_{C_{21}} \geq S_{C_{22}}, S_{C_{23}}, S_{C_{24}}) = 1$$

$$\min(S_{C_{22}} \geq S_{C_{21}}, S_{C_{23}}, S_{C_{24}}) = 0,3571$$

$$\min(S_{C_{23}} \geq S_{C_{21}}, S_{C_{22}}, S_{C_{24}}) = 0,5734$$

$$\min(S_{C_{24}} \geq S_{C_{21}}, S_{C_{22}}, S_{C_{23}}) = 0,1096$$

$$w = (1, 0,3571, 0,5734, 0,1096)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = \left(\frac{1}{2,0401}, \frac{0,3571}{2,0401}, \frac{0,5734}{2,0401}, \frac{0,1096}{2,0401} \right)^T$$

$$w = (0.49, 0.18, 0.28, 0.05)^T$$

Bu sonuçlara göre, *Güvenlik Riskleri* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Elektrik Arzı Güvenliği % 49
- Sistem Bilgisi Güvenliği % 18
- Siber Güvenlik % 28,
- Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği ise % 5 öneme sahiptir.

İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ olmak üzere toplam entegral değer;

$X = (a, b, c; w)$ ve $x_{\min} = \inf X$ Olmak üzere ve iyimserlik endeksi $\alpha = 0.5$ için, geliştirilmiş entegral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2}\right) [\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min}] = \left(\frac{w}{2}\right) [\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min}]$$

şeklinde hesaplanabilir. Buna göre,

$S_{C_{21}} = (0, 2217, 0, 3336, 0, 4611)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{21}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0, 4611 + 0, 3336 + (1-\alpha) 0, 2217 - 2(0, 2217)]$$

$$S_T^\alpha(C_{21}) = 0,1197\alpha + 0,056 = 0,1159$$

$S_{C_{22}} = (0,1415, 0,2049, 0,3010)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{22}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,3010 + 0,2049 + (1-\alpha) 0,1415 - 2(0,1415)]$$

$$S_T^\alpha(C_{22}) = 0,0798\alpha + 0,0317 = 0,0716$$

$S_{C_{23}} = (0,1644, 0,2414, 0,3558)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{23}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,3558 + 0,2414 + (1-\alpha) 0,1644 - 2(0,1644)]$$

$$S_T^\alpha(C_{23}) = 0,0957\alpha + 0,0385 = 0,0863$$

$S_{C_{24}} = (0.1508, 0.2301, 0.2417)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{24}) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha 0,2417 + 0,2301 + (1-\alpha)0,1508 - 2(0,1508) \right]$$

$$S_T^\alpha(C_{24}) = 0,0454\alpha + 0,0397 = 0,0624$$

Değerleri elde edilir. Elde edilen bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$w = (0,1159, 0,0716, 0,0863, 0,0624)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = (0,3447, 0,213, 0,2567, 0,1856)^T \text{ olarak bulunur.}$$

Bu sonuçlara göre, *Güvenlik Riskleri* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Elektrik Arzı Güvenliği % 34,
- Sistem Bilgisi Güvenliği % 21,
- Siber Güvenlik % 26,
- Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği ise % 19 öneme sahiptir.

Geliştirilmiş toplam entegral değer metodu, tutarlılık analizi yapılmasına izin vermektedir. Analizle birlikte bulunacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 2,21 & 1,20 & 1 \\ 0,43 & 1 & 1,01 & 1,02 \\ 0,85 & 1,01 & 1 & 1,20 \\ 1,02 & 1,02 & 0,86 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 2,21 & 1,20 & 1 \\ 0,43 & 1 & 1,01 & 1,02 \\ 0,85 & 1,01 & 1 & 1,20 \\ 1,02 & 1,02 & 0,86 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,34 \\ 0,21 \\ 0,26 \\ 0,19 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,30 \\ 0,81 \\ 0,99 \\ 0,97 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{1,30}{0,34} + \frac{0,81}{0,21} + \frac{0,99}{0,26} + \frac{0,97}{0,19}}{4} = 4,15$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{4,15 - 4}{4 - 1} = 0,05 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,05}{0,89} = 0,056 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Kuadratik ortalama metoduna göre ise;

$$S_{C_{21}} = (0,2217, 0,3336, 0,4611)$$

$$S_{C_{22}} = (0,1415, 0,2049, 0,3010)$$

$$S_{C_{23}} = (0,1644, 0,2414, 0,3558)$$

$$S_{C_{24}} = (0,1508, 0,2301, 0,2417)$$

Elde edilen bu vektörler, Eş. 4.32 ile Kuadratik ortalamalarının alınmasıyla,

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}$$

$$S_{C_{21 \text{ rms}}} = \sqrt{\frac{0,2217^2 + 0,3336^2 + 0,4611^2}{3}} = 0,353$$

$$S_{C_{22 \text{ rms}}} = \sqrt{\frac{0,1415^2 + 0,2049^2 + 0,3010^2}{3}} = 0,226$$

$$S_{C_{23 \text{ rms}}} = \sqrt{\frac{0,1644^2 + 0,2414^2 + 0,3558^2}{3}} = 0,266$$

$$S_{C_{24} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,1508^2 + 0,2301^2 + 0,2417^2}{3}} = 0,211 \text{ elde edilir.}$$

Buna göre ağırlık vektörü,

$w = (0.353, 0.226, 0.266, 0.211)^T$ şeklinde elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$$w = (0.334, 0.214, 0.252, 0.200)^T \text{ olur.}$$

Alternatiflerin önem dereceleri yüzde olarak ifade edildiğinde;

- Elektrik Arzı Güvenliği % 33,
- Sistem Bilgisi Güvenliği % 22,
- Siber Güvenlik % 25,
- Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği ise % 20 öneme sahiptir.

Kuadratik ortalama metodu tutarlılık analizine izin vermektedir. Analizle birlikte bulanacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 2,21 & 1,20 & 1 \\ 0,43 & 1 & 1,01 & 1,02 \\ 0,85 & 1,01 & 1 & 1,20 \\ 1,02 & 1,02 & 0,86 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 2,21 & 1,20 & 1 \\ 0,43 & 1 & 1,01 & 1,02 \\ 0,85 & 1,01 & 1 & 1,20 \\ 1,02 & 1,02 & 0,86 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,33 \\ 0,21 \\ 0,25 \\ 0,20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,29 \\ 0,81 \\ 0,98 \\ 0,97 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{1,29}{0,33} + \frac{0,81}{0,21} + \frac{0,98}{0,25} + \frac{0,97}{0,20}}{4} = 4.13$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{4.13 - 4}{4 - 1} = 0,043 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,043}{0,89} = 0,048 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.



7.1.3. Çevresel riskler

	C_{31}	C_{32}	C_{33}
C_{31}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)
C_{32}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)
C_{33}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)

	C_{31}	C_{32}	C_{33}
C_{31}	(1, 1, 1)	(1.5400, 1.8612, 2.1627)	(0.5030, 0.5946, 0.7378)
C_{32}	(0.4624, 0.5373, 0.6493)	(1, 1, 1)	(0.4747, 0.6389, 0.8801)
C_{33}	(0.6493, 0.8409, 1.1067)	(0.8165, 1, 1.2247)	(1, 1, 1)

$$S_{C_{31}} = (0,2640, 0,3498, 0,4604)$$

$$S_{C_{32}} = (0,1681, 0,2203, 0,2986)$$

$$S_{C_{33}} = (0,3030, 0,4299, 0,6014)$$

Elde edilen bu vektörler kullanılarak karşılaştırma işlemleri yapılırsa:

**** $m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{31}} \geq S_{C_{32}}) = 1 \quad V(S_{C_{33}} \geq S_{C_{31}}) = 1$$

$$V(S_{C_{33}} \geq S_{C_{32}}) = 1$$

**** $u_2 \leq l_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{32}} \geq S_{C_{33}}) = 0$$

**** Diğer durumlar için $V(M_2 \geq M_1)$; $\frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$ ifadesi kullanılacaktır. Buna göre;**

$$V(S_{C_{31}} \geq S_{C_{33}}) = \frac{0,3030 - 0,4604}{(0,3498 - 0,4604) - (0,4299 - 0,3030)} = 0,6627$$

$$V(S_{C_{32}} \geq S_{C_{31}}) = \frac{0,2640 - 0,2986}{(0,2203 - 0,2986) - (0,3498 - 0,2640)} = 0,2108$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından S_i ($i=1,2,3,\dots,k$) daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i=1,2,\dots,k$$

$$\min(S_{C_{31}} \geq S_{C_{32}}, S_{C_{33}}) = 0.6627$$

$$\min(S_{C32} \geq S_{C31}, S_{C33}) = 0$$

$$\min(S_{C33} \geq S_{C31}, S_{C32}) = 1$$

$$w = (0,627, 0, 1)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = \left(\frac{0,627}{1,627}, \frac{0}{1,627}, \frac{1}{1,627} \right)^T$$

$$w = (0,39, 0, 0,61)^T$$

Bu sonuçlara göre, *Çevresel Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Kanun ve Düzenlemeler % 39
- Elektromanyetik Kirlilik Derecesi % 0
- Doğal Afetler % 61 öneme sahiptir.

İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ olmak üzere toplam entegral değer;

$X = (a, b, c; w)$ ve $x_{\min} = \inf X$ Olmak üzere ve iyimserlik endeksi $\alpha = 0.5$ için, geliştirilmiş entegral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min} \right] = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min} \right]$$

şeklinde hesaplanabilir. Buna göre,

$$S_{C31} = (0,2640, 0,3498, 0,4604) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{31}) = \left(\frac{1}{2} \right) \left[\alpha 0,4604 + 0,3498 + (1-\alpha)0,2640 - 2(0,2640) \right]$$

$$S_T^\alpha(C_{31}) = 0,0982\alpha + 0,0429 = 0,092$$

$$S_{C32} = (0,1681, 0,2203, 0,2986) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{32}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,2986 + 0,2203 + (1-\alpha)0,1681 - 2(0,1681)]$$

$$S_T^\alpha(C_{32}) = 0,065\alpha + 0,0261 = 0,0586$$

$S_{C_{33}} = (0,3030, 0,4299, 0,6014)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{33}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,6014 + 0,4299 + (1-\alpha)0,3030 - 2(0,3030)]$$

$$S_T^\alpha(C_{33}) = 0,1492\alpha + 0,0634 = 0,138$$

Değerleri elde edilir. Elde edilen bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$w = (0,092, 0,0586, 0,138)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = (0,319, 0,203, 0,478)^T \text{ olarak bulunur.}$$

Bu sonuçlara göre, *Çevresel Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Kanun ve Düzenlemeler % 32,
- Elektromanyetik Kirlilik Derecesi % 20,
- Doğal Afetler % 48 öneme sahiptir.

Geliştirilmiş toplam entegral değer metodu, tutarlılık analizi yapılmasına izin vermektedir. Analizle birlikte bulunacak tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,86 & 0,60 \\ 0,54 & 1 & 0,65 \\ 1,68 & 1,58 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,86 & 0,60 \\ 0,54 & 1 & 0,65 \\ 1,68 & 1,58 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,32 \\ 0,20 \\ 0,48 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,98 \\ 0,68 \\ 0,33 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,98}{0,32} + \frac{0,68}{0,20} + \frac{0,33}{0,48}}{3} = 3,07$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{3,07-3}{3-1} = 0,035 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,035}{0,52} = 0,067 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Kuadratik ortalama metoduna göre ise;

$$S_{C_{31}} = (0.2640, 0.3498, 0.4604)$$

$$S_{C_{32}} = (0.1681, 0.2203, 0.2986)$$

$$S_{C_{33}} = (0.3030, 0.4299, 0.6014)$$

Elde edilen bu vektörler, Eş. 4.32 ile Kuadratik ortalamalarının alınmasıyla,

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}$$

$$S_{C_{31} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,2640^2 + 0,3498^2 + 0,4604^2}{3}} = 0,367$$

$$S_{C_{32} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,1681^2 + 0,2203^2 + 0,2986^2}{3}} = 0,235$$

$$S_{C_{33} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,3030^2 + 0,4299^2 + 0,6014^2}{3}} = 0,461$$

bulunur.

Buna göre ağırlık vektörü,

$w = (0,367, 0,235, 0,461)^T$ şeklinde elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$w = (0,345, 0,221, 0,434)^T$ olur.

Bu sonuçlara göre, *Çevresel Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Kanun ve Düzenlemeler % 34,
- Elektromanyetik Kirlilik Derecesi % 22,
- Doğal Afetler % 43 öneme sahiptir.

Kuadratik ortalama metodu, tutarlılık analizi yapılmasına izin vermektedir. Analizle birlikte bulunan tutarlılık oranına göre, yukarıda bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı görülebilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,86 & 0,60 \\ 0,54 & 1 & 0,65 \\ 1,68 & 1,58 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,86 & 0,60 \\ 0,54 & 1 & 0,65 \\ 1,68 & 1,58 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,35 \\ 0,22 \\ 0,43 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,01 \\ 0,69 \\ 1,37 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{1,01}{0,35} + \frac{0,69}{0,22} + \frac{1,37}{0,43}}{3} = 3,05$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, $T.I = \frac{3,05-3}{3-1} = 0,025$ olarak

bulunur. Bu değerde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$T.O = \frac{0,025}{0,52} = 0,048$ olarak bulunur. Bu oran %10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.



7.1.4. Teknolojik riskler

	C_{41}	C_{42}	C_{43}
C_{41}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)
C_{42}	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2)
C_{43}	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 3/2)
	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 3/2)
	(1, 1, 1)		(2/3, 1, 3/2)
	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(2/5, 1/2, 2/3)
	(3/2, 2, 5/2)		(2/3, 1, 3/2)
	(3/2, 2, 5/2)		(1, 1, 1)
	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)	
	(2/3, 1, 3/2)	(3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1)
	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)	
	(2/3, 1, 3/2)	(1, 1, 1)	

	C_{41}	C_{42}	C_{43}
C_{41}	(1, 1, 1)	(0.6325, 0.7071, 0.8165)	(0.6667, 1, 1.5)
C_{42}	(1.2247, 1.4142, 1.5811)	(1, 1, 1)	(0.6493, 0.8409, 1.1067)
C_{43}	(0.6667, 1, 1.5)	(0.9036, 1.1892, 1.54)	(1, 1, 1)
	(2.8914, 3.4142, 4.0811)	(2.5361, 2.8963, 3.3565)	(2.3160, 2.8409, 3.6067)

$$S_{C_{41}} = (0,2082, 0,2958, 0,4283)$$

$$S_{C_{42}} = (0,2602, 0,3557, 0,4762)$$

$$S_{C_{43}} = (0,2327, 0,3485, 0,5217)$$

Elde edilen bu vektörler kullanılarak karşılaştırma işlemleri yapılırsa:

**** $m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{42}} \geq S_{C_{41}}) = 1 \quad V(S_{C_{43}} \geq S_{C_{41}}) = 1$$

$$V(S_{C_{42}} \geq S_{C_{43}}) = 1$$

**** $u_2 \leq l_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ sağlayan durumlar için;**

Yukarıdaki eşitliği sağlayan herhangi bir durum yoktur.

**** Diğer durumlar için $V(M_2 \geq M_1)$; $\frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$ ifadesi kullanılacaktır. Buna göre;**

$$V(S_{C_{41}} \geq S_{C_{42}}) = \frac{0.2602 - 0.4283}{(0.2958 - 0.4283) - (0.3557 - 0.2602)} = 0.7373$$

$$V(S_{C_{41}} \geq S_{C_{43}}) = \frac{0.2327 - 0.4283}{(0.2958 - 0.4283) - (0.3485 - 0.2327)} = 0.7878$$

$$V(S_{C_{43}} \geq S_{C_{42}}) = \frac{0.2602 - 0.5217}{(0.3485 - 0.5217) - (0.3557 - 0.2602)} = 0.9732$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından S_i ($i=1,2,3,\dots,k$) daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$\min(S_{C41} \geq S_{C42}, S_{C33}) = 0,7373$$

$$\min(S_{C42} \geq S_{C41}, S_{C33}) = 1$$

$$\min(S_{C43} \geq S_{C42}, S_{C43}) = 0,9732$$

$$w = (0,7373, 1, 0,9732)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = \left(\frac{0,7373}{2,7105}, \frac{1}{2,7105}, \frac{0,9732}{2,7105} \right)^T$$

$$w = (0.27, 0.37, 0.36)^T$$

Bu sonuçlara göre, *Teknolojik Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Enerji Üretim Tarafına Yeni Enerji Erişim Teknolojisi % 27
- Teknoloji Standartları (IEEE) % 37
- Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski % 36 öneme sahiptir.

İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0,1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel

bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ olmak üzere toplam integral değer;

$X = (a, b, c; w)$ ve $x_{\min} = \inf X$ Olmak üzere ve iyimserlik endeksi $\alpha = 0.5$ için, geliştirilmiş integral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min} \right] = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min} \right]$$

şeklinde hesaplanabilir. Buna göre,

$S_{C_{41}} = (0,2082, 0,2958, 0,4283)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{41}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha 0,4283 + 0,2958 + (1-\alpha)0,2082 - 2(0,2082)]$$

$$S_T^\alpha(C_{41}) = 0,11\alpha + 0,0438 = 0,0988$$

$S_{C_{42}} = (0,2602, 0,3557, 0,4762)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{42}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0,4762) + 0,3557 + (1-\alpha)0,2602 - 2(0,2602)]$$

$$S_T^\alpha(C_{42}) = 0,108\alpha + 0,0478 = 0,1018$$

$S_{C_{43}} = (0,2327, 0,3485, 0,5217)$ olmak üzere,

$$S_T^\alpha(C_{43}) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0,5217) + 0,3485 + (1-\alpha)0,2327 - 2(0,2327)]$$

$$S_T^\alpha(C_{43}) = 0,1445\alpha + 0,0579 = 0,1302$$

Değerleri elde edilir. Elde edilen bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$w = (0,0988, 0,1018, 0,1302)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = (0,298, 0,307, 0,393)^T \text{ olarak bulunur.}$$

Buna göre, alternatiflerin önem derecelere yüzde olarak;

- Enerji Üretim Tarafına Yeni Enerji Erişim Teknolojisi % 30,
- Teknoloji Standartları (IEEE) % 31,
- Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski % 39 öneme sahiptir.

Geliştirilmiş toplam entegral değer metodunda tutarlılık analizi yapılarak bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı hakkında bilgiye sahip olunabilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,71 & 1,03 \\ 1,41 & 1 & 0,85 \\ 1,03 & 1,20 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,71 & 1,03 \\ 1,41 & 1 & 0,85 \\ 1,03 & 1,20 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,30 \\ 0,31 \\ 0,39 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,92 \\ 1,06 \\ 1,07 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,92}{0,30} + \frac{1,06}{0,31} + \frac{1,07}{0,39}}{3} = 3,07$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{3,07-3}{3-1} = 0,035 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,035}{0,52} = 0,067 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Kuadratik ortalama metoduna göre ise;

$$S_{C_{41}} = (0.2082, 0.2958, 0.4283)$$

$$S_{C_{42}} = (0.2602, 0.3557, 0.4762)$$

$$S_{C_{43}} = (0.2327, 0.3485, 0.5217)$$

Elde edilen bu vektörler, Eş. 4.32 ile Kuadratik ortalamalarının alınmasıyla,

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}$$

$$S_{C_{31} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,2082^2 + 0,2958^2 + 0,4283^2}{3}} = 0,324$$

$$S_{C_{32} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,2602^2 + 0,3557^2 + 0,4762^2}{3}} = 0,3746$$

$$S_{C_{43} \text{ rms}} = \sqrt{\frac{0,2327^2 + 0,3485^2 + 0,5217^2}{3}} = 0,3863 \text{ bulunur.}$$

Buna göre ağırlık vektörü,

$w = (0,324, 0,3746, 0,3863)^T$ şeklinde elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$w = (0,299, 0,345, 0,356)^T$ olur.

Buna göre, alternatiflerin önem derecelere yüzde olarak;

- Enerji Üretim Tarafına Yeni Enerji Erişim Teknolojisi % 30,
- Teknoloji Standartları (IEEE) % 34,
- Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski % 36 öneme sahiptir.

Kuadratik ortalama metodunda, tutarlılık analizi yapılarak bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı hakkında bilgiye sahip olunabilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,71 & 1,03 \\ 1,41 & 1 & 0,85 \\ 1,03 & 1,20 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,71 & 1,03 \\ 1,41 & 1 & 0,85 \\ 1,03 & 1,20 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,30 \\ 0,35 \\ 0,36 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,92 \\ 1,08 \\ 1,09 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,92}{0,30} + \frac{1,08}{0,35} + \frac{1,09}{0,36}}{3} = 3,06$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{3,06 - 3}{3 - 1} = 0,03 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,03}{0,52} = 0,06 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

7.1.5. Yönetimsel riskler

	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}
C_{51}	(1, 1, 1)	(7/2, 4, 9/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2)	(1, 1, 1) (2/7, 1/3, 2/5) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)
C_{52}	(2/9, 1/4, 2/7) (3/2, 2, 5/2) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)	(2/7, 1/3, 2/5) (2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/7, 1/3, 2/5)	(2/7, 1/3, 2/5) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (2/5, 1/2, 2/3)
C_{53}	(1, 1, 1) (5/2, 3, 7/2) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2) (2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (5/2, 3, 7/2)	(1, 1, 1)	(2/3, 1, 3/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2) (3/2, 2, 5/2)
C_{54}	(2/3, 1, 3/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)	(5/2, 3, 7/2) (2/3, 1, 3/2) (1, 1, 1) (3/2, 2, 5/2)	(2/3, 1, 3/2) (2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3) (2/5, 1/2, 2/3)	(1, 1, 1)
	(3.8412, 4.4614, 5.1793)	(4.9263, 6.0891, 7.3382)	(2.4200, 2.7190, 3.1676)	(3.3995, 4.1616, 5.1022)

$$S_{C_{51}} = (0,1596, 0,2240, 0,3192)$$

$$S_{C_{52}} = (0,1181, 0,1629, 0,2295)$$

$$S_{C_{53}} = (0,2500, 0,3628, 0,5158)$$

$$S_{C_{54}} = (0,1739, 0,2502, 0,3606)$$

Elde edilen bu vektörler kullanılarak karşılaştırma işlemleri yapılırsa:

**** $m_2 \geq m_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 1$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{51}} \geq S_{C_{52}}) = 1$$

$$V(S_{C_{53}} \geq S_{C_{51}}) = 1$$

$$V(S_{C_{54}} \geq S_{C_{51}}) = 1$$

$$V(S_{C_{53}} \geq S_{C_{52}}) = 1$$

$$V(S_{C_{54}} \geq S_{C_{52}}) = 1$$

$$V(S_{C_{53}} \geq S_{C_{54}}) = 1$$

**** $u_2 \leq l_1$ için $V(M_2 \geq M_1) = 0$ sağlayan durumlar için;**

$$V(S_{C_{52}} \geq S_{C_{53}}) = 0$$

**** Diğer durumlar için $V(M_2 \geq M_1)$; $\frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}$ ifadesi kullanılacaktır. Buna**

göre;

$$V(S_{C_{51}} \geq S_{C_{53}}) = \frac{0,2500 - 0,3192}{(0,2240 - 0,3192) - (0,3628 - 0,2500)} = 0,3326$$

$$V(S_{C_{51}} \geq S_{C_{54}}) = \frac{0,1739 - 0,3192}{(0,2240 - 0,3192) - (0,2502 - 0,1739)} = 0,8472$$

$$V(S_{C_{52}} \geq S_{C_{51}}) = \frac{0,1596 - 0,2295}{(0,1629 - 0,2295) - (0,2240 - 0,1596)} = 0,5335$$

$$V(S_{C_{52}} \geq S_{C_{54}}) = \frac{0,1739 - 0,2295}{(0,1629 - 0,2295) - (0,2502 - 0,1739)} = 0,3891$$

$$V(S_{C_{54}} \geq S_{C_{53}}) = \frac{0,2500 - 0,3606}{(0,2502 - 0,3606) - (0,3628 - 0,2500)} = 0,4955$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından $S_i (i=1,2,3,\dots,k)$ daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir:

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$\min(S_{C_{51}} \geq S_{C_{52}}, S_{C_{53}}, S_{C_{54}}) = 0,3326$$

$$\min(S_{C_{52}} \geq S_{C_{51}}, S_{C_{53}}, S_{C_{54}}) = 0$$

$$\min(S_{C_{53}} \geq S_{C_{51}}, S_{C_{52}}, S_{C_{54}}) = 1$$

$$\min(S_{C_{54}} \geq S_{C_{51}}, S_{C_{52}}, S_{C_{53}}) = 0,4955$$

$$w = (0,3326, 0, 1, 0,4955)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = \left(\frac{0,3326}{1,8281}, \frac{0}{1,8281}, \frac{1}{1,8281}, \frac{0,4955}{1,8281} \right)^T$$

$$w = (0,18, 0, 0,55, 0,27)^T$$

Bu sonuçlara göre, *Yönetimsel Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği % 18,
- Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski % 0,
- Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi % 55,
- Personelin Yetersiz Yönetimi % 27 öneme sahiptir.

$X = (a, b, c; w)$ ve $x_{\min} = \inf X$ Olmak üzere ve iyimserlik indeksi $\alpha = 0.5$ için, geliştirilmiş entegral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2}\right) \left[\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min} \right] = \left(\frac{w}{2}\right) \left[\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min} \right]$$

şeklinde hesaplanabilir. Buna göre,

$$S_{C_{51}} = (0,1596, 0,2240, 0,3192) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{51}) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha 0,3192 + 0,2240 + (1-\alpha)0,1596 - 2(0,1596) \right]$$

$$S_T^\alpha(C_{51}) = 0,11\alpha + 0,0322 = 0,0872$$

$$S_{C_{52}} = (0,1181, 0,1629, 0,2295) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{52}) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha 0,2295 + 0,1629 + (1-\alpha)0,1181 - 2(0,1181) \right]$$

$$S_T^\alpha(C_{52}) = 0,0557\alpha + 0,0224 = 0,0503$$

$$S_{C_{53}} = (0,2500, 0,3628, 0,5158) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{53}) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha(0,5158) + 0,3628 + (1-\alpha)0,25 - 2(0,25) \right]$$

$$S_T^\alpha(C_{53}) = 0,1329\alpha + 0,0564 = 0,1229$$

$$S_{C_{54}} = (0,1739, 0,2502, 0,3606) \text{ olmak üzere,}$$

$$S_T^\alpha(C_{54}) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha(0,3606) + 0,2502 + (1-\alpha)0,1739 - 2(0,1739) \right]$$

$$S_T^\alpha(C_{54}) = 0,0934\alpha + 0,0381 = 0,0848$$

Değerleri elde edilir. Elde edilen bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$w = (0,0872, 0,0503, 0,1229, 0,0848)^T$$

Normalize edilmiş ağırlık vektörü;

$$w = (0,2526, 0,1457, 0,3560, 0,2457)^T \text{ olarak bulunur.}$$

Bu sonuçlara göre, *Yönetimsel Riskler* altındaki alternatiflerden çıkan sonuç değerlendirildiğinde;

- Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği % 25,
- Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski % 15,
- Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi % 36,
- Personelin Yetersiz Yönetimi % 25'lik önem derecesine sahiptir.

Geliştirilmiş toplam entegral değer metodunda tutarlılık analizi yapılarak bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı hakkında bilgiye sahip olunabilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,43 & 0,64 & 0,85 \\ 0,72 & 1 & 0,49 & 0,65 \\ 1,56 & 2,07 & 1 & 1,69 \\ 1,20 & 1,57 & 0,61 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,43 & 0,64 & 0,85 \\ 0,72 & 1 & 0,49 & 0,65 \\ 1,56 & 2,07 & 1 & 1,69 \\ 1,20 & 1,57 & 0,61 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,25 \\ 0,15 \\ 0,36 \\ 0,25 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,90 \\ 0,67 \\ 1,48 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,90}{0,25} + \frac{0,67}{0,15} + \frac{1,48}{0,36} + \frac{1}{0,25}}{4} = 4,04$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{4,04 - 4}{4-1} = 0,013 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,013}{0,89} = 0,014 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Kuadratik ortalama metoduna göre ise;

$$S_{C_{51}} = (0,1596, 0,2240, 0,3192)$$

$$S_{C_{52}} = (0,1181, 0,1629, 0,2295)$$

$$S_{C_{53}} = (0,25, 0,3628, 0,5158)$$

$$S_{C_{54}} = (0,1739, 0,2502, 0,3606)$$

Elde edilen bu vektörler, Eş. 4.32 ile Kuadratik ortalamalarının alınmasıyla,

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}$$

$$S_{C_{51\ rms}} = \sqrt{\frac{0,1596^2 + 0,2240^2 + 0,3192^2}{3}} = 0,243$$

$$S_{C_{52\ rms}} = \sqrt{\frac{0,1181^2 + 0,1629^2 + 0,2295^2}{3}} = 0,1762$$

$$S_{C_{53\ rms}} = \sqrt{\frac{0,25^2 + 0,3628^2 + 0,5158^2}{3}} = 0,3917$$

$$S_{C_{54\ rms}} = \sqrt{\frac{0,1739^2 + 0,2502^2 + 0,3606^2}{3}} = 0,2726 \quad \text{bulunur.}$$

Buna göre ağırlık vektörü,

$w = (0,243, 0,1762, 0,3917, 0,2726)^T$ şeklinde elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise,

$$w = (0,2243, 0,1626, 0,3615, 0,2516)^T \text{ olur.}$$

Bu sonuçlara göre,

- Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği % 22,
- Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski % 16,

- Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi % 36,
- Personelin Yetersiz Yönetimi % 25' lik önem derecesine sahiptir.

Kuadratik ortalama metodunda tutarlılık analizi yapılarak bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı hakkında bilgiye sahip olunabilir. Bunun için matriste bulunan üçgensel bulanık sayılar, Eş. 4.45 ile durulaştırılmalıdır. Durulaştırma işleminden sonra elde edilen matris aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,43 & 0,64 & 0,85 \\ 0,72 & 1 & 0,49 & 0,65 \\ 1,56 & 2,07 & 1 & 1,69 \\ 1,20 & 1,57 & 0,61 & 1 \end{pmatrix}$$

Daha sonra, ağırlık vektörü ile elde edilen matris çarpıldığında;

$$\begin{pmatrix} 1 & 1,43 & 0,64 & 0,85 \\ 0,72 & 1 & 0,49 & 0,65 \\ 1,56 & 2,07 & 1 & 1,69 \\ 1,20 & 1,57 & 0,61 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,22 \\ 0,16 \\ 0,36 \\ 0,25 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,89 \\ 0,66 \\ 1,46 \\ 0,98 \end{pmatrix}$$

Elde edilir. Bulunan vektör, ağırlık vektör elemanlarına bölünmesiyle;

$$\lambda_{\max} = \frac{\frac{0,89}{0,22} + \frac{0,66}{0,16} + \frac{1,46}{0,36} + \frac{0,98}{0,25}}{4} = 4,04$$

Olarak bulunur. Tutarlılık indeksi;

$$T.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \text{ formülü yardımıyla bulunup hesaplandığında, } T.I = \frac{4,04 - 4}{4-1} = 0,013 \text{ olarak}$$

bulunur. Bu değerinde Rassal tutarlılık endeksine bölünmesiyle, tutarlılık oranı:

$$T.O = \frac{0,013}{0,89} = 0,014 \text{ olarak bulunur. Bu oran \%10'dan küçük olduğu için oluşturulan matris}$$

ve bulunan değerlerin doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.



8. SONUÇ ve ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu kısımda Chang'ın BAHF metodu, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metotları kullanılarak, ana ve ara risk başlıkları önem derecelerine göre sıralanarak, çizelgelerde verilmiştir. Çizelge 8.1'de, Chang'ın genişletilmiş analiz metoduna göre, akıllı şebeke sistemindeki risklerin ağırlıkları ve önem sıralamaları görülmektedir.

Çizelge 8.1. Chang'ın metoduna göre önem sıralaması

Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alternatifler	Ağırlıklar	Önem Sıralaması
FİNANSAL RİSKLER	0,2157	Belirsiz Yatırım Kazanç Riski	0,175	10
		Proje Yatırım Riski	0,625	2
		Elektrik Fiyatlandırma Riski	0	-
		İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	0,2	9
GÜVENLİK RİSKLERİ	0,3296	Elektrik Arızı Güvenliği	0,49	1
		Sistem Bilgisi Güvenliği	0,18	8
		Siber Güvenlik	0,28	5
		Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	0,05	14
ÇEVRESEL RİSKLER	0,0306	Kanun ve Düzenlemeler	0,39	15
		Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	0	-
		Doğal Afetler	0,61	13
TEKNOLOJİK RİSKLER	0,2865	Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	0,27	6
		Teknoloji Standartları (IEEE)	0,37	3
		Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	0,36	4
YÖNETİMSEL RİSKLER	0,1374	Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	0,18	12
		Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	0	-
		Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	0,55	7
		Personelin Yetersiz Yönetimi	0,27	11

Çizelge 8.1'de, Chang'ın genişletilmiş analiz metoduna göre, akıllı şebeke sistemindeki risklerin ağırlıkları ve önem sıralamaları görülmektedir.

Çizelge 8.2. Chang'ın metoduna göre alternatiflerin önem sıralaması

Alternatifler	Önem Sıralaması
Elektrik Arızı Güvenliği	1
Proje Yatırım Riski	2
Teknoloji Standartları (IEEE)	3
Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	4
Siber Güvenlik	5
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	6
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	7
Sistem Bilgisi Güvenliği	8
İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	9
Belirsiz Yatırım Kazanç Riski	10
Personelin Yetersiz Yönetimi	11
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	12
Doğal Afetler	13
Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	14
Kanun ve Düzenlemeler	15
Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	-
Elektrik Fiyatlandırma Riski	-
Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	-
Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	-

Chang'ın metoduna göre, sistemdeki en önemli riskler sırasıyla, *Elektrik Arızı Güvenliği*, *Proje Yatırımı*, *Teknoloji Standartları (IEEE)* ve *Enformasyon, Otomasyon, Koruma Etkileşimi* olarak görülmektedir. Bu metot üzerinde, *Elektromanyetik Kirlilik Derecesi* gibi, bazı alternatiflerin ağırlıkları 0 (sıfır) olduğu için, sıralama yapılırken değerlendirme yapılamamıştır.

Çizelge 8.3'te, Geliştirilmiş Entegral Değer metoduna göre, akıllı şebeke sisteminde bulunan ana ve alt kriterdeki risklerin ağırlıkları ve önem sıralamaları görülmektedir. Chang'ın yöntemine göre, bu metotta, ağırlık değerlerinde farklılıklar gözlenmektedir.

Çizelge 8.3. Geliştirilmiş entegral değer metoduna göre önem sıralamaları

Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alternatifler	Ağırlıklar	Önem Sıralaması
FİNANSAL RİSKLER	0,201	Belirsiz Yatırım Kazanç Riski	0,2502	11
		Proje Yatırım Riski	0,3622	3
		Elektrik Fiyatlandırma Riski	0,1365	16
		İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	0,2512	10
GÜVENLİK RİSKLERİ	0,2693	Elektrik Arızı Güvenliği	0,3447	1
		Sistem Bilgisi Güvenliği	0,213	9
		Siber Güvenlik	0,2567	6
		Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	0,1856	12
ÇEVRESEL RİSKLER	0,1229	Kanun ve Düzenlemeler	0,319	15
		Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	0,203	17
		Doğal Afetler	0,478	8
TEKNOLOJİK RİSKLER	0,2358	Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	0,298	5
		Teknoloji Standartları (IEEE)	0,307	4
		Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	0,393	2
YÖNETİMSEL RİSKLER	0,171	Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	0,2526	13
		Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	0,1457	18
		Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	0,356	7
		Personelin Yetersiz Yönetimi	0,2457	14

Çizelge 8.4'te gösterildiği gibi geliştirilmiş entegral değer metoduna göre, sistemdeki en önemli riskler sırasıyla, *Elektrik Arızı Güvenliği*, *Enformasyon*, *Otomasyon*, *Koruma Etkileşimi*, *Proje Yatırımı* ve *Teknoloji Standartları (IEEE)* olarak görülmektedir. Bu sıralama yönteminde de, en riskli alternatif olarak, *Elektrik Arızı Güvenliği* öne çıkmaktadır.

Çizelge 8.4. Geliştirilmiş entegral değer metoduna göre alternatiflerin sıralamaları

Alternatifler	Önem Sıralaması
Elektrik Arızı Güvenliği	1
Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	2
Proje Yatırım Riski	3
Teknoloji Standartları (IEEE)	4
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	5
Siber Güvenlik	6
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	7
Doğal Afetler	8
Sistem Bilgisi Güvenliği	9
İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	10
Belirsiz Yatırım Kazanç Riski	11
Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	12
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	13
Personelin Yetersiz Yönetimi	14
Kanun ve Düzenlemeler	15
Elektrik Fiyatlandırma Riski	16
Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	17
Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	18

Çizelge 8.5’te, kuadratik ortalama yöntemine göre yapılan, akıllı şebeke sistemindeki ana ve alt kriterdeki risklerin ağırlıkları ve önem sıralamaları görülmektedir. Chang’ın yöntemine göre, bu metotta da, ağırlık değerlerinde ve sıralamalarda küçük farklılıklar gözlenmektedir.

Çizelge 8.5. Kuadratik ortalama metoduna göre alternatiflerin sıralamaları

Ana Kriterler	Ağırlıklar	Alternatifler	Ağırlıklar	Önem Sıralaması
FİNANSAL RİSKLER	0,201	Belirsiz Yatırım Kazanç Riski	0,2357	13
		Proje Yatırım Riski	0,3713	4
		Elektrik Fiyatlandırma Riski	0,1497	17
		İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	0,2432	11
GÜVENLİK RİSKLERİ	0,257	Elektrik Arızı Güvenliği	0,334	1
		Sistem Bilgisi Güvenliği	0,214	9
		Siber Güvenlik	0,252	6
		Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	0,2	10
ÇEVRESEL RİSKLER	0,138	Kanun ve Düzenlemeler	0,345	12
		Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	0,221	16
		Doğal Afetler	0,434	8
TEKNOLOJİK RİSKLER	0,233	Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	0,299	5
		Teknoloji Standartları (IEEE)	0,345	3
		Enfòmasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	0,356	2
YÖNETİMSEL RİSKLER	0,17	Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	0,2243	15
		Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	0,1626	18
		Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	0,3615	7
		Personelin Yetersiz Yönetimi	0,2516	14

Kuadratik ortalama metoduna göre, sistemdeki en önemli riskler sırasıyla, *Elektrik Arızı Güvenliği*, *Enformasyon*, *Otomasyon*, *Koruma Etkileşimi*, *Teknoloji Standartları (IEEE)* ve *Proje Yatırımı* olarak görülmektedir. Bu sıralama yönteminde de, en riskli alternatif olarak, *Elektrik Arızı Güvenliği* öne çıkmaktadır.

Çizelge 8.6. Kuadratik ortalama metoduna göre alternatiflerin sıralamaları

Alternatifler	Önem Sıralaması
Elektrik Arızı Güvenliği	1
Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	2
Teknoloji Standartları (IEEE)	3
Proje Yatırım Riski	4
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	5
Siber Güvenlik	6
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	7
Doğal Afetler	8
Sistem Bilgisi Güvenliği	9
Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	10
İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	11
Kanun ve Düzenlemeler	12
Belirsiz Yatırım Kazanç Riski	13
Personelin Yetersiz Yönetimi	14
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	15
Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	16
Elektrik Fiyatlandırma Riski	17
Yeni Kullanıcılar için Düşük Memnuniyet Riski	18

8.2. Sıralama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmada, üçgensel bulanık sayıların sıralanması için üç farklı metot kullanılmıştır. Bu yöntemler sırasıyla, Chang'ın genişletilmiş BAHF analiz metodu, geliştirilmiş entegral değer metodu ve kuadratik ortalama metodudur. Chang'ın genişletilmiş analiz yönteminde, tutarlılık oranı hesaplanamamaktadır. Diğer yöntemlerde tutarlılık oranlarına bakılmıştır. Ana kriterler için karşılaştırmalar yapıldığında, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 8.7. Ana kriterler için sıralama metotlarının karşılaştırılması

	Finansal Riskler	Güvenlik Riskleri	Çevresel Riskler	Teknolojik Riskler	Yönetimsel Riskler	Tutarlılık Oranı
Chang'ın Analizi	0,22	0,33	0,03	0,29	0,14	-
Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu	0,2	0,27	0,12	0,24	0,17	0,027
Kuadratik Ortalama Metodu	0,2	0,26	0,14	0,23	0,17	0,023

Çizelge 8.7'de görülebileceği gibi, tüm sıralama yöntemlerinde, ana kriterlerin önem sıralaması değişmemekte ve değerleri birbirine çok yakın çıkmaktadır. Chang'ın analiz yönteminde tutarlılığın hesaplanamadığını dikkatlerden kaçmamalıdır.

Finansal riskler ile ilgili karşılaştırmalar yapıldığında elde edilen sonuçlar Çizelge 8.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.8. Finansal riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması

	Belirsiz Yatırım Riski	Proje Yatırım Riski	Elektrik Fiyatlandırma Riski	İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski	Tutarlılık Oranı
Chang'ın Analizi	0,175	0,625	0	0,2	-
Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu	0,25	0,36	0,14	0,25	0,048
Kuadratik Ortalama Metodu	0,24	0,37	0,15	0,24	0,042

Finansal riskler ile ilgili sıralama metotları incelendiğinde, Chang'ın analiz yöntemine göre elektrik fiyatlandırma riskinin değeri 0 (sıfır) olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer iki yöntemde bu alternatifin %14-15 oranında önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metoduna bakıldığında, alternatiflerin ağırlıklarının aynı çıktığı görülmektedir. Ayrıca, kuadratik ortalama metodunun tutarlılık oranı en iyi olarak göze çarpmaktadır.

Güvenlik riskleri altındaki alternatifler karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçlar Çizelge 8.9'te gösterilmiştir.

Çizelge 8.9. Güvenlik riskleri için sıralama metotlarının karşılaştırılması

	Elektrik Arz Güvenliği	Sistem Bilgisi Güvenliği	Siber Güvenlik	Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği	Tutarlılık Oranı
Chang'ın Analizi	0,49	0,18	0,28	0,05	-
Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu	0,34	0,21	0,26	0,19	0,056
Kuadratik Ortalama Metodu	0,33	0,21	0,25	0,2	0,048

Güvenlik riskleri ile ilgili sıralama yöntemleri incelendiğinde, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metodunda bulunan değerler birbirine hemen hemen eşit çıkmaktadır. Alternatiflerin önem sıralaması da, her bir yöntem için aynı çıkmakta ve değişmemektedir. Çevresel riskler ile ilgili karşılaştırmalar yapıldığında elde edilen sonuçlar Çizelge 8.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 8.10. Çevresel riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması

	Kanun ve Düzenlemeler	Elektromanyetik Kirlilik Derecesi	Doğal Afetler	Tutarlılık Oranı
Chang' ın Analizi	0,39	0	0,61	-
Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu	0,32	0,2	0,48	0,067
Kuadratik Ortalama Metodu	0,35	0,22	0,43	0,048

Chang' ın metodunda, elektromanyetik kirlilik derecesinin herhangi bir öneme sahip olmadığı görülmektedir. Aksine, Geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama yöntemlerinde, söz konusu alternatifin, %20 civarlarında bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Alternatiflerin önem sıralaması da, her bir yöntem için aynı kalmaktadır. Teknolojik riskler ile ilgili karşılaştırmalar yapıldığında elde edilen sonuçlar Çizelge 8.11 'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.11. Teknolojik riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması

	Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi	Teknoloji Standartları (IEEE)	Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski	Tutarlılık Oranı
Chang' ın Analizi	0,27	0,37	0,36	-
Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu	0,3	0,31	0,39	0,067
Kuadratik Ortalama Metodu	0,3	0,35	0,36	0,058

Teknolojik riskler ile ilgili sıralama yöntemleri incelendiğinde, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metodunda bulunan değerler birbirine yakın çıkmaktadır. Alternatiflerin önem sıralaması geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metodunda aynı iken, Chang'ın analizinde sıralama değişmektedir.

Yönetimsel riskler için sıralama metotlarına bakıldığında, kuadratik ortalama ve geliştirilmiş entegral değer metotlarının tutarlılık oranı aynı çıkmaktadır. Her üç yöntem içinde ara risk başlıklarının sıralamaları değişmemektedir. Bu durum Çizelge 8.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 8.12. Yönetimsel riskler için sıralama metotlarının karşılaştırılması

	Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski	Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi	Personelin Yetersiz Yönetimi	Tutarlılık Oranı
Chang’ ın Analizi	0,18	0	0,55	0,27	-
Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu	0,25	0,15	0,36	0,25	0,014
Kuadratik Ortalama	0,22	0,16	0,36	0,25	0,014

Sıralama yöntemlerine bakıldığında, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metotlarının tutarlılık analizi yapmaya elverişli olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bulunan değerlerin tutarlı olup olmadığı konusunda fikir sahibi olunabilir.

8.3. Öneriler

Bu çalışmada, akıllı şebeke sistemlerindeki riskler belirlenerek hiyerarşik bir yapıda gruplandırılmıştır. Daha sonra, bulanık analitik hiyerarşi prosesi metotlarından biri olan Chang’ın genişletilmiş analiz yöntemi kullanılarak, sistem içerisindeki riskler karşılaştırılmış ve önem derecelerine göre sıralama yapılmıştır. Chang’ın yönteminde, bazı risk indikatörler ağırlık vektörlerinin sıfır çıkması sebebi ile sıralama yapılamamış ve tutarlılık oranları hesaplanamamıştır. Bu yüzden, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama yöntemleri de kullanılarak, ağırlık vektörleri bulunmuş, önem sıralamaları ve tutarlılık analizi yapılmıştır. Geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama yöntemleri uygulandığında, tutarlılık oranlarında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür.

Her üç metotta da ana başlıkta bulunan en önemli risklerin, Güvenlik riskleri ve Teknolojik riskler olduğu görülmüştür. Alt kriterlerde bulunan risklerin sıralamaları yapıldığında, sıralamalar özellikle ilk dört sıra için hemen aynı olmaktadır. Uygulanan üç yöntemden

ikisinde, Elektrik Arzı Güvenliği ve Enformasyon, Otomasyon Koruma Etkileşim Riski uygulanan üç yöntemde de en önemli risk olarak belirlenmiştir.

Teknolojinin de gelişmesiyle, akıllı şebeke sistemlerine çok daha fazla ihtiyaç duyulacaktır. Bu sebeple, akıllı şebekelerde var olan/olabilecek risklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve analiz edilmesi, sistemin işlevselliği ve verimliliği açısından çok önemlidir. Gelecek yıllarda, akıllı şebeke konusunda özellikle güvenlik riskleri ve teknolojik riskler üzerine daha detaylı çalışmalar yapılarak, potansiyel diğer risklerin ne olabileceği tartışılmalıdır. Ayrıca, teknolojinin hızlı değişmesi ve gelişmesine paralel olarak, risk gruplarının sayısının artacağı dolayısıyla da risk oranların değişebileceği düşünülmelidir.

Güvenlik riskleri başlığında bulunan elektrik arzı güvenliği konusunda alt başlıklar oluşturarak, elektrik arzından dolayı oluşacak risklerin daha detaylı çalışılması önerilmekte, muhtemel tehlikeler bulunarak analiz edilmelidir. Oluşturulan hiyerarşik model, esnek bir model olup, ileriki yıllarda yapılacak olası çalışmalarda, ana ve alt başlıklara yapılacak eklemeler ya da çıkarmalar neticesinde, mevcut durumda bulunan risklerin önem derecelerindeki değişimin nasıl ve ne kadar büyük bir etkiye sahip olduğunun araştırılması ve değerlendirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

1. Ayyub, B. M. (1996). *Risk analysis in Engineering and Economics Development*. New York: CNC Press, 556.
2. Rausand, M. (2001). *Risk Assessment Theory, Methods and Applications*. New Jersey: Wiley, 645.
3. Ayyub, B. M. (2014). *Risk Analysis in Engineering and Economics*. New York: CNC Press, 616.
4. Hochrainer, S. (2006). *Macroeconomic Risk Management Against Natural Disasters*, Frankfurt, 201.
5. National Aeronautics and Space Administration. (2011). *NASA Risk Management Handbook. Office of Safety and Mission Assurance*. Washington D.C., 234.
6. Falahati, B., Fu, Y., Wu, L. (2012). Reliability assessment of smart grid considering direct cyber-power interdependencies. *IEEE Transactions on Smart Grid* 3, 1515–1524.
7. Janjic, A., Velimirovic, L., Stankovic, M. (2016). Risk analysis of smart grid enterprise integration. *International Conference On Information Society and Technology*, 124–126.
8. Habash, R. W. Y., Groza, V., Krewski, D., Paoli, G. (2013). A Risk Assessment Framework for the Smart Grid. *Proceedings-IEEE Electrical Power Energy Conference*, 412-418.
9. Tang, H. (2011). Research on Coordinated Development Evaluation Index System of Power Grid Enterprise. *International Journal of Business and Management*, 6, 227–230.
10. Sun, Q., Ge X., Liu L., Xu X., Zhang Y., Niu R., Zheng Y. (2011). Review of smart grid comprehensive assessment systems. *Energy Procedia*, 12, 219–229.
11. Chuansheng, X., Dapeng, D., Shengping, H., Xin, X., Yingjie, C. (2012). Safety evaluation of smart grid based on AHP-Entropy method. *Systems Engineering Procedia*, 4, 203–209.
12. Liu, R. (2013). Preliminary analysis of smart grid risk index system and evaluation methods. *Energy Power Engineering*, 807–810.
13. Niu, D., Liu, J., Liu, T., Guo, H. (2013). Comprehensive evaluation of regional grid development level of china under the smart grid construction. *Applied Mechanics and*

Materials, 301, 640–644.

14. Xu, W. (2015). Research on risk assessment of smart grid project. *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 4, 558–562.
15. Janjic, A., Savic, S., Velimirovic, L., Nikolic, V. (2015). Renewable energy integration in smart grids-multicriteria assessment using the fuzzy analytical hierarchy process. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23, 1896–1912.
16. Janjic, A., Savic, S., Janackovic, G., Stankovic, M., Velimirovic, L. (2016). Multi-criteria assessment of the smart grid efficiency using the fuzzy analytic hierarchy process. *Facta Universitatis - Series: Electronics and Energetics*, 29, 631–646.
17. Brunelli, M. (2015). *Introduction to the Analytic Hierarchy Process*. Finland Springer, 455.
18. Dağdeviren, M., Akay, D., Kurt, M. (2014). İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 19 (2), 131–138.
19. Toksarı, M., Toksarı, D. (2011). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yaklaşımı kullanılarak hedef pazarın belirlenmesi. *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 38, 51–70.
20. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill International Book, 460.
21. Mingers, J. (2011). Soft OR comes of age-but not everywhere!. *Omega*, 39, 729–741.
22. Dağdeviren, M., Eren, T. (2001). Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 16 (2), 41–52.
23. Ö. Bali, C. G. (1989). Ahp, bulanık Ahp ve bulanık mantıkla kara harp okuluna öğretim eleman seçimi. *Journal of Chemical Information and Modelling*, 53, 160.
24. Kara, Y., Köne, A. Ç. (2009). Nükleer yenilenebilir güç santrallerinin Ahp yöntemi ile karşılaştırılması :Türkiye örneği. *Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresi*, 367–375.
25. Ayan, T. Y., Pabuçcu, H. (2013). Yenilenebilir enerji kaynakları yatırım projelerinin analitik hiyerarşi süreci yöntemi ile değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18, 89–110.
26. Bhushan, N., Rai, K. (2004). *Strategic Decision Making-Appling the Analytical Hierarchy Process*. Springer, 172.

27. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2001). *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Springer Science & Business Media, 334.
28. Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: Mc Graw-Hill, 345.
29. Miller, G. (1956). The magic number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Reviews*, 101(2), 343–352.
30. Horn, R. A., Johnson, C. R. (2013). *Matrix Analysis*, (Second Edition). Cambridge University Press, 643.
31. Crawford, G., Williams, C. (1985). A note on the analysis of subjective judgment matrices. *Journal of Mathematical Psychology*, 29, 387–405.
32. Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234–281.
33. Alonso, J. A., Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14(4), 445–459.
34. Forman, E., Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108, 165–169.
35. Van Den Honert, R. C., Lootsma, F. A. (1997). Group preference aggregation in the multiplicative AHP the model of the group decision process and pareto optimality. *European Journal of Operational Research*, 96, 363–370.
36. Aull-Hyde, R., Erdogan, S., Duke, J. M. (2006). An experiment on the consistency of aggregated comparison matrices in AHP. *European Journal of Operational Research*, 171, 290–295.
37. Xu, Z. (2000). On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP. *European Journal of Operational Research*, 126, 683–687.
38. Grošelj, P., Zadnik Stirn, L. (2012). Acceptable consistency of aggregated comparison matrices in analytic hierarchy process. *European Journal Operational Research*, 223, 417–420.
39. Ossadnik, W., Schinke, S., Kaspar, R. H. (2016). Group aggregation techniques for analytic hierarchy process and analytic network process: a comparative analysis. *Group Decision and Negotiation*, 25, 421–457.
40. Aczél, J., Saaty, T. L. (1983). Procedures for synthesizing ratio judgements. *Journal of Mathematical Psychology*, 27, 93–102.

41. Saaty, T. L. (1989). *Group Decision Making and The AHP*. Berlin: Springer, 152.
42. Golden, B. L., Wasil, E. A., Harker, P. T. (1989). *The Analytical Hierarchy Process-Application and Studies*. Springer, 265.
43. Ramanathan, R., Ganesh, L. S. (1994). Theory and Methodology Group preference aggregation methods employed in AHP : An evaluation and an intrinsic process for deriving members weightages. *European Journal of Operational Research*, 79, 249–265.
44. Büyüközkan, G., Kahraman, C., Ruan, D. (2004). A fuzzy multi-criteria decision approach for software development strategy selection. *International Journal of General Systems*, 33(2-3), 259–280.
45. Kuo, R. J., Chi, S. C., Kao, S. S. (2002). A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network. *Computers in Industry*, 47(2), 199–214.
46. Kuo, M. S., Liang, G. S., Huang, W. C. (2006). Extensions of the multicriteria analysis with pairwise comparison under a fuzzy environment. *International Journal of Approximate Reasoning*, 43(3), 268–285.
47. Buckley, J. J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 233–247.
48. Dağdeviren, M. (2007). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22(4), 791–799.
49. Göksu, A., Güngör, İ. (2008). Bulanık analitik hiyerarşik proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13, 1–26.
50. Emrouznejad, A., Ho, W. (2012). *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*. New York: CRC Press, 405.
51. Zimmermann, H.-J. (2001). *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. New York: Springer, 506.
52. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338–353.
53. Goguen, J. A. (1967). L-fuzzy sets. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 18, 145–174.
54. Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences*, 9, 199–249.

55. Van Laarhoven, P. J. M., Pedreycz, W. (1983). A fuzzy extension of saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229–241.
56. Chan, F. T. S., Kumar, N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35, 417–431.
57. Bortolan, G., Degani, R. (1985). A review of some methods for ranking fuzzy subsets. *Fuzzy Sets and Systems*, 15, 1–19.
58. Mikhailov, L. (2003). Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements. *Fuzzy Sets and Systems*, 134, 365–385.
59. Stam, A., Sun, M., Haines, M. (1996). Artificial neural network representations for hierarchical preference structures. *Computers and Operations Research*, 23, 1191–1201.
60. Chang, D. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy Ahp. *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.
61. Cheng, C. (1996). Theory and methodology evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function. *European Journal of Operational Research*, 96, 343–350.
62. Çevik Onar, S. Büyüközkan, G., Öztayşi, B., Kahraman, C. (2016). A new hesitant fuzzy QFD approach: An application to computer workstation selection. *Applied Soft Computing*, 46, 1–16.
63. Paul, S. K. (2015). Supplier selection for managing supply risks in supply chain: a fuzzy approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79, 657–664.
64. Terano T., Asai K., Sugeno M. (1992). *Fuzzy Systems Theory and Its Applications*. Boston: Academic Press, 267.
65. Kaplan, S. (2007). *Hava Savunma Sektörü Tezgah Yatırım Projelerinin Bulanık AHP ile Degerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 82-85.
66. Chen, G., Pham, T. T. (2001). *Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems*. London: CRC Press, 315.
67. Yenilmez, K. (2001). *Bulanık Doğrusal Programlama Problemleri İçin Yeni Çözüm Yaklaşımları ve Duyarlılık Analizi*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 78-92.
68. Goksu, A. (2008). *Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses ve Üniversite Tercih*

- Sıralamasında Uygulanması*, Doktora Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 65-108.
69. Zimmerman, H. J. (1992). *Fuzzy Set Theory and Its Applications* (Fourth edition). New York: Springer, 510.
 70. Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (28), 839–844.
 71. Timothy, J. R. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications* (Fourth edition). Chichester: Wiley, 550.
 72. Deng, Y., Zhenfu, Z., Qi, L. (2006). Ranking fuzzy numbers with an area method using radius of gyration. *Computers and Mathematics with Applications*, 51(6), 1127–1136.
 73. Chen, S.-J. J., Hwang, C.-L. (1992). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Berlin:Springer, 528.
 74. Jain, R. (1976). Decision making in the presence of fuzzy variables. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 698–703.
 75. Baas, S. M., Kwakernaak, H. (1977). Rating and ranking of multiple-aspect alternatives using fuzzy sets. *Automatica*, 13, 47–58.
 76. Baldwin, J. F., Guild, N. C. F. (1979). Comparison of fuzzy set on the same decision space. *Fuzzy Sets and Systems*, 2, 213–231.
 77. Chen, S. (1985). Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set. *Fuzzy Sets and Systems*, 17, 113–129.
 78. Cheng, C. H. (1998). A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method. *Fuzzy Sets and Systems*, 95, 307–317.
 79. Chu, T.-C., Tsao, C.-T. (2002). Ranking fuzzy numbers with an area between the centroid point and original point. *Computers and Mathematics with Applications*, 43, 111–117.
 80. Abbasbandy, S., Asady, B. (2006). Ranking of fuzzy numbers by sign distance. *Information Science*, 176, 2405–2416.
 81. Nguyen, T. (2017). Methods in ranking fuzzy numbers : a unified index and comparative reviews. *Hindawi*, 1–13.
 82. Yu, V. F., Quoc, L. (2014). An improved ranking method for fuzzy numbers with integral values. *Applied Soft Computing Journal*, 14, 603–608.

83. Liou, T. S., Wang, M. J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets and Systems*, 50, 247–255.
84. Yamashiro, M. (1994). The median for a trapezoidal fuzzy number. *Microelectronics Reliability*, 34(9), 1509–1511.
85. Hellendoorn, H., Thomas, C. (1993). Defuzzification in fuzzy controllers. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 1(2), 109–123.
86. Lee, C. C. (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller, part II. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 20, 419–435.
87. Chen, S. H. & Hsieh, C. H. (1999). Optimization of Fuzzy Simple Inventory Models. *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings*, 5, 317–323.
88. Chen, S. H., Wang, S. T., Chang, S. M. (2006). Some properties of graded mean integration representation of L-R type fuzzy numbers. *Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences*, 22(2), 185–208.
89. Chen, S., Wang, C. (2008). Fuzzy distance of trapezoidal fuzzy numbers and application. *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, 4(6), 1445–1454.
90. Cheng, A. C., Chen, C. J., Chen, C. Y. (2008). A fuzzy multiple criteria comparison of technology forecasting methods for predicting the new materials development. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(1), 131–141.
91. Kahraman, C. (2008). *Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Theory and Applications with Recent Developments*. New York:Springer, 580.
92. Lootsma, F. A. (1985). Performance evaluation of nonlinear optimization methods via pairwise comparison and fuzzy numbers. *Mathematical Programming*, 33, 93–114.
93. Mikhailov, L., Singh, M. G. (1999). Comparison analysis of methods for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Systems, Man and Cybernetics*, 1, 1037–1042.
94. Mikhailov, L. (2000). A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Journal of Operational Research Society*, 51(3), 341–349.
95. Mikhailov, L. (2002). Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises. *Omega*, 30, 393–401.
96. Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice* (Original edition). London:Harvard University Press, 588.

97. Mikhailov, L., Tsvetinov, P. (2004). Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Journal of Applied Soft Computing*, 5, 23–33.
98. Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., Diabat, A. (2013). Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multiobjective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 47, 355–367.
99. Abdel-Kader, M. G., Dugdale, D. (2001). Evaluating investments in advanced manufacturing technology: a fuzzy set theory approach. *British Accounting Review*, 33(4), 455–489.
100. Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D. (2004). Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey. *International Journal of Production Economics*, 87, 171–184.
101. Chan, F. T. S., Chan, M. H., Tang, N. K. H. (2000). Evaluation methodologies for technology selection. *Journal of Material Processing Technology*, 107(1-3), 330–337.
102. Internet: Silberman, S. (July, 2001). The Energy Web. *Wired*, Web: <https://www.wired.com/2001/07/juice-2/> adresinden 15 Ekim 2019'da alınmıştır.
103. European Regulators Group for Electricity (2010). Position paper on smart grids; Ergeg E10-EQS-38-05. *Ergeg Report*, 1-38.
104. Allerhand, B. A. (2017). A contrarian history of early electric power distribution. *Proceedings of IEEE*, 105(4), 768–778.
105. Salman, S.K. (2017). *Introduction to the Smart Grid Concepts, Technologies and Evaluation*. London: CPI Group, 261.
106. ABB. (2010). Toward a Smarter Grid ABB's Vision for the Power System of the Future; ABB, *ABB White Paper Report*, 1-7.
107. Sun, H., Hatziaargyriou, N. D., Poor, H. V., Carpanini, L., Sánchez Fornié, M. A. (2016). *Smarter Energy: From Smart Metering to the Smart Grid*. London: CPI Group, 480.
108. Council of European Energy Regulators. (2009). Smart grids scope , history and prospects update on smart metering activities; CEER C09-EWG-51-01. *European Union Reports*, 1-110.
109. European Commission. (2006). Smart grids: vision and strategy for europe's electricity networks of the future; EUR 22040. *European Union Reports*, 110-155.

110. Hamilton, B. A., Pullins, S., Miller, J., Renz, B., Hanley, M. (2010). Smart Grid Principal Characteristic Enables New Products , Services, and Markets; NTEL 2010/1401. *U.S Department of Energy Reports*, 1-31.
111. National Energy Technology Laboratory of U.S. (2009). A vision for the smart grid; NTEL. *U.S. Department of Energy Reports*, 1-11.
112. The National People's Congress of Republic of China. (2005). The Renewable Energy Law of the People's Republic of China; NPC. *NPC Reports*, 1–8.
113. Internet: China Passes Renewable Energy Law - Renewable Energy World. URL: <https://www.renewableenergyworld.com/articles/2005/03/china-passes-renewable-energy-law-23531>, Son Erişim Tarihi: 04.10.2019.
114. Xu, Z., Xue, Y., Wong, K. P. (2014). Recent advancements on smart grids in China. *Electric Power Components and Systems*, 42(3), 251–261.
115. Department of Energy of U.S. (2014). Smart Grid Investments Improve Grid reliability, resilience and storm responses; DEUS. *Department of Energy Reports*, 1-21.
116. Jiang, Y., Liu, C. C., Xu, Y. (2106). Smart distribution systems. *Energies*, 1-20.
117. Internet: Hamilton, N.J. (December, 2018). Smart grids. IEA. Web: <https://www.iea.org/tcep/energyintegration/smartgrids/> adresinden 12 Mart 2019'da alınmıştır.
118. Internet: Eurostat - tables, graphs and maps interface table. (2018, August). Eurostat, Web: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tps00001> 19 Kasım 2019'da alınmıştır.
119. Internet: Türkiye istatistik kurumu girişim özelliklerine göre dış ticaret istatistikleri. (2019, Eylül). TUIK, Web: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27818>. 20 Aralık 2019'da alınmıştır.
120. European Commission. (2014). A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030; *EU Report*, Brussels, 1-21.
121. Skopik, F., Paul, S. (2015). *Smart Grid Security Innovative Solutions for a Modernized Grid*. Waltham:Elsevier, 312.
122. National Energy Technology Laboratory. (2008). Advanced metering infrastructure; NETL. *Department of Energy Reports*, 1-29.
123. Electric Power Research Institute. (2007). Overview of Advanced Metering Infrastructure; EPRI, *EPRI Reports*, 1-2.

124. National Institute of Standards and Technology. (2010). NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards; NIST, *Department of Commerce Reports*, 1-145.
125. Tasi, D. (2011). Conception of Low Voltage Network Loss Reduction Based on Integrated Information. *Facta Universitatis Series: Electrical Engineering*, 24(1), 57–69.
126. International Atomic Energy Agency. (2005). Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies; IAEA , *IAEA Reports*, 1-160.
127. Global Energy Institute. (2018). International Index of Energy Security Risk; GEI. *Chamber of Commerce Reports*, 1-78.
128. Hecht, T., Langer, L., Smith, P. (2014). Cybersecurity risk assessment in smart grids. *Communications for Energy Systems*, 1-8.
129. Rawat, D. B., Bajracharya, C. (2015). Cyber security for smart grid systems: status, challenges and perspectives. *Conference Proceedings - IEEE Southeast*, 1–6.
130. Zhou, L., Li, F., Gu, C., Hu, Z., Le Blond, S. (2014). Cost/benefit assessment of a smart distribution system with intelligent electric vehicle charging. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5, 839–847.
131. Carnegie Mellon University Software Engineering Institute. (2010). A framework for smart grid transformation; SGMM SEI-2011-TR-025, *CERT Division Technical Report*, 1-84.
132. Harmon, C., Jones, R. (2011). The Smart Grid Maturity Model. *Journal of Electrical Engineering*, 3, 1-14.
133. The European Electricity Grid Initiative. (2010). Roadmap 2010-18 and detailed implementation plan 2010-12; EEGI, *The European Energy Reports*, 1-45.



EKLER

EK-1 (devam). Ana kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma cevapları- katılımcı 2

AKILLI ŞEBEKELER RİSK DEĞERLENDİRME SİSTEMİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ										
Ana Kriterler	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	Ana Kriterler
Finansal Riskler							X			Güvenlik Riskleri
Finansal Riskler				X						Çevresel Riskler
Finansal Riskler					X					Teknolojik Riskler
Finansal Riskler						X				Yönetimsel Riskler
Güvenlik Riskleri		X								Çevresel Riskler
Güvenlik Riskleri			X							Teknolojik Riskler
Güvenlik Riskleri		X								Yönetimsel Riskler
Çevresel Riskler					X					Teknolojik Riskler
Çevresel Riskler				X						Yönetimsel Riskler
Teknolojik Riskler				X						Yönetimsel Riskler

EK-1 (devam). Ana kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma cevapları- katılımcı 3

AKILLI ŞEBEKELER RİSK DEĞERLENDİRME SİSTEMİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ										
Ana Kriterler	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	Ana Kriterler
Finansal Riskler		X								Güvenlik Riskleri
Finansal Riskler					X					Çevresel Riskler
Finansal Riskler				X						Teknolojik Riskler
Finansal Riskler					X					Yönetimsel Riskler
Güvenlik Riskleri				X						Çevresel Riskler
Güvenlik Riskleri					X					Teknolojik Riskler
Güvenlik Riskleri						X				Yönetimsel Riskler
Çevresel Riskler				X						Teknolojik Riskler
Çevresel Riskler					X					Yönetimsel Riskler
Teknolojik Riskler							X			Yönetimsel Riskler

EK-1 (devam). Ana kriterler için oluşturulan ikili karşılaştırma cevapları- katılımcı 4

AKILLI ŞEBEKELER RİSK DEĞERLENDİRME SİSTEMİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSİ										
Ana Kriterler	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	Ana Kriterler
Finansal Riskler								X		Güvenlik Riskleri
Finansal Riskler			X							Çevresel Riskler
Finansal Riskler					X					Teknolojik Riskler
Finansal Riskler			X							Yönetimsel Riskler
Güvenlik Riskleri		X								Çevresel Riskler
Güvenlik Riskleri							X			Teknolojik Riskler
Güvenlik Riskleri			X							Yönetimsel Riskler
Çevresel Riskler							X			Teknolojik Riskler
Çevresel Riskler					X					Yönetimsel Riskler
Teknolojik Riskler				X						Yönetimsel Riskler

EK-2. Finansal riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği

2. FİNANSAL RİSKLER grubu altında bulunan ara riskler birbirine göre ne kadar önem arz etmektedir?

ANA KRİTER	FİNANSAL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi										Proje Yatırım Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi										Elektrik Fiyatlandırma Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi										İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Proje Yatırım Riski										Elektrik Fiyatlandırma Riski
Proje Yatırım Riski										İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Elektrik Fiyatlandırma Riski										İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski

EK-2 (devam). Finansal riskler başlığı altında bulunan ara riskler için ikili karşılaştırma anket örneği - katılımcı 1

ANA KRİTER	FİNANSAL RİSKLER								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi							X		Proje Yatırım Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi		X							Elektrik Fiyatlandırma Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi								X	İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Proje Yatırım Riski			X						Elektrik Fiyatlandırma Riski
Proje Yatırım Riski					X				İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Elektrik Fiyatlandırma Riski							X		İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski

EK-2 (devam). Finansal riskler başlığı altında bulunan ara riskler için ikili karşılaştırma anket örneği - katılımcı 2

ANA KRİTER	FİNANSAL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi								X		Proje Yatırım Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi			X							Elektrik Fiyatlandırma Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi							X			İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Proje Yatırım Riski		X								Elektrik Fiyatlandırma Riski
Proje Yatırım Riski					X					İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Elektrik Fiyatlandırma Riski							X			İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski

EK-2 (devam). Finansal riskler başlığı altında bulunan ara riskler için ikili karşılaştırma anket örneği - katılımcı 3

ANA KRİTER	FİNANSAL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi					X					Proje Yatırım Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi		X								Elektrik Fiyatlandırma Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi				X						İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Proje Yatırım Riski		X								Elektrik Fiyatlandırma Riski
Proje Yatırım Riski		X								İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Elektrik Fiyatlandırma Riski					X					İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski

EK-2 (devam). Finansal riskler içerisinde bulunan ara riskler için ikili karşılaştırma anket
örneği - katılımcı 4

ANA KRİTER	FİNANSAL RİSKLER								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin) Önemli (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi							X		Proje Yatırım Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi						X			Elektrik Fiyatlandırma Riski
Belirsiz Yatırım Kazanç Getirisi				X					İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Proje Yatırım Riski			X						Elektrik Fiyatlandırma Riski
Proje Yatırım Riski			X						İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski
Elektrik Fiyatlandırma Riski			X						İşletme ve Bakım Maliyetleri Riski

EK-3. Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği

3. GÜVENLİK RİSKLERİ içerisinde yer alan ara riskler birbirine göre ne kadar önem arz etmektedir?

ANA KRİTER	GÜVENLİK RİSKLERİ									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2,4,9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Elektrik Arızı Güvenliği										Sistem Bilgisi Güvenliği
Elektrik Arızı Güvenliği										Siber Güvenlik
Elektrik Arızı Güvenliği										Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Sistem Bilgisi Güvenliği										Siber Güvenlik
Sistem Bilgisi Güvenliği										Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Siber Güvenlik										Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği

EK-3 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 1

ANA KRİTER	GÜVENLİK RİSKLERİ								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Elektrik Arızı Güvenliği			X						Sistem Bilgisi Güvenliği
Elektrik Arızı Güvenliği					X				Siber Güvenlik
Elektrik Arızı Güvenliği					X				Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Sistem Bilgisi Güvenliği						X			Siber Güvenlik
Sistem Bilgisi Güvenliği				X					Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Siber Güvenlik			X						Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği

EK-3 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 2

ANA KRİTER	GÜVENLİK RİSKLERİ								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Elektrik Arızı Güvenliği		X							Sistem Bilgisi Güvenliği
Elektrik Arızı Güvenliği			X						Siber Güvenlik
Elektrik Arızı Güvenliği				X					Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Sistem Bilgisi Güvenliği					X				Siber Güvenlik
Sistem Bilgisi Güvenliği							X		Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Siber Güvenlik							X		Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği

EK-3 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 3

ANA KRİTER	GÜVENLİK RİSKLERİ								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Elektrik Arızı Güvenliği			X						Sistem Bilgisi Güvenliği
Elektrik Arızı Güvenliği				X					Siber Güvenlik
Elektrik Arızı Güvenliği					X				Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Sistem Bilgisi Güvenliği					X				Siber Güvenlik
Sistem Bilgisi Güvenliği						X			Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Siber Güvenlik						X			Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği

EK-3 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 4

ANA KRİTER	GÜVENLİK RİSKLERİ								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Elektrik Arızı Güvenliği			X						Sistem Bilgisi Güvenliği
Elektrik Arızı Güvenliği				X					Siber Güvenlik
Elektrik Arızı Güvenliği					X				Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Sistem Bilgisi Güvenliği						X			Siber Güvenlik
Sistem Bilgisi Güvenliği			X						Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği
Siber Güvenlik			X						Sistem İşletim Kararlılığı Güvenliği

EK-4 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 1

ANA KRİTER	ÇEVRESEL RİSKLER								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Kanun ve Düzenlemeler					X				Elektromanyetik Kirlilik Derecesi
Kanun ve Düzenlemeler							X		Doğal Afetler
Elektromanyetik Kirlilik Derecesi						X			Doğal Afetler

EK-4 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 3

ANA KRİTER	ÇEVRESEL RİSKLER								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Kanun ve Düzenlemeler			X						Elektromanyetik Kirlilik Derecesi
Kanun ve Düzenlemeler					X				Doğal Afetler
Elektromanyetik Kirlilik Derecesi						X			Doğal Afetler

EK-4 (devam). Güvenlik riskleri içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 4

ANA KRİTER	ÇEVRESEL RİSKLER								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Kanun ve Düzenlemeler			X						Elektromanyetik Kirlilik Derecesi
Kanun ve Düzenlemeler							X		Doğal Afetler
Elektromanyetik Kirlilik Derecesi							X		Doğal Afetler

EK-5. Teknolojik riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği

5. TEKNOLOJİK RİSKLER içerisinde yer alan ara riskler birbirine göre ne kadar önem arz etmektedir?

ANA KRİTER	TEKNOLOJİK RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi										Teknoloji Standartları (IEEE)
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi										Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski
Teknoloji Standartları (IEEE)										Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski

EK-5 (devam). Teknolojik riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 1

ANA KRİTER	TEKNOLOJİK RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi					X					Teknoloji Standartları (IEEE)
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi						X				Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski
Teknoloji Standartları (IEEE)				X						Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski

EK-5 (devam). Teknolojik riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 2

ANA KRİTER	TEKNOLOJİK RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2,4,9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2,2,5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi					X					Teknoloji Standartları (IEEE)
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi						X				Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski
Teknoloji Standartları (IEEE)							X			Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski

EK-5 (devam). Teknolojik riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 3

ANA KRİTER	TEKNOLOJİK RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi							X			Teknoloji Standartları (IEEE)
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi						X				Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski
Teknoloji Standartları (IEEE)				X						Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski

EK-5 (devam). Teknolojik riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 4

ANA KRİTER	TEKNOLOJİK RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2, 2, 5/2)	Biraz daha önemli (2/3, 1, 3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi							X			Teknoloji Standartları (IEEE)
Enerji Üretim Tarafında Yeni Enerji Erişim Teknolojisi						X				Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski
Teknoloji Standartları (IEEE)					X					Enformasyon, Otomasyon ve Koruma Etkileşim Riski

EK-6. Yönetimsel riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket örneği

6. YÖNETİMSEL RİSKLER içerisinde yer alan ara riskler birbirine göre ne kadar önem arz etmektedir?

ANA KRİTER	YÖNETİMSEL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2,4,9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2,2,5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1,1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği										Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği										Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği										Personelin Yetersiz Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski										Bilgi Verileinin Hatalı Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski										Personelin Yetersiz Yönetimi
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi										Personelin Yetersiz Yönetimi

EK-6 (devam). Yönetimsel riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 1

ANA KRİTER	YÖNETİMSEL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2,2,5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1,1,1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği	X									Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği					X					Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği				X						Personelin Yetersiz Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski								X		Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski								X		Personelin Yetersiz Yönetimi
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi				X						Personelin Yetersiz Yönetimi

EK-6 (devam). Yönetimsel riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 2

ANA KRİTER	YÖNETİMSEL RİSKLER								
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2,2,5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği							X		Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği								X	Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği						X			Personelin Yetersiz Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski						X			Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski				X					Personelin Yetersiz Yönetimi
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi			X						Personelin Yetersiz Yönetimi

EK-6 (devam). Yönetimsel riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 3

ANA KRİTER	YÖNETİMSEL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2,2,5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği				X						Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği					X					Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği					X					Personelin Yetersiz Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski							X			Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski					X					Personelin Yetersiz Yönetimi
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi			X							Personelin Yetersiz Yönetimi

EK-6 (devam). Yönetimsel riskler içerisinde bulunan ara riskler ikili karşılaştırma anket cevapları - katılımcı 4

ANA KRİTER	YÖNETİMSEL RİSKLER									
ALTERNATİFLER	Kuvvetli (Kesin Önemli) (7/2, 4, 9/2)	Çok Önemli (5/2, 3, 7/2)	Daha Fazla Önemli (3/2,2,5/2)	Biraz daha önemli (2/3,1,3/2)	Eşit derecede önemli (1, 1, 1)	Biraz Daha Önemli (2/3, 1, 3/2)	Daha Fazla Önemli (2/5, 1/2, 2/3)	Çok Önemli (2/7, 1/3, 2/5)	Kuvvetli (Kesin) Önemli (2/9, 1/4, 2/7)	ALTERNATİFLER
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği			X							Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği							X			Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Kaynak Yerleşimini Optimize Etme Eksikliği							X			Personelin Yetersiz Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski								X		Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi
Yeni Kullanıcılar İçin Düşük Memnuniyet Riski							X			Personelin Yetersiz Yönetimi
Bilgi Verilerinin Hatalı Yönetimi			X							Personelin Yetersiz Yönetimi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKTAŞ, İlter Şahin
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.07.1988, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : +90 507 143 80 63
 e-mail : ilter@siirt.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi/ Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Southampton Üniversitesi / Enerji & Yenilenebilirlik ve Elektriksel Güç Mühendisliği	2014
Lisans	Erciyes Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2010
Lise	Bolu Fen Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Siirt Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2013-2014	Park Termik-Çayırhan Termik Santrali	Elektrik-Elektronik Müh.

Yabancı Dil

İngilizce, Çince

Yayınlar

1. Aktaş, İ.Ş., Menlik, T., Sözen, A. (2020). Akıllı Bir Şebekedeki Risk İndikatörlerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Modellenmesi. **Politeknik Dergisi/Journal of Polytechnic**, 23 (2) , 505-513.

Hobiler

Spor yapmak, Güncel makale takibi, Belgesel izlemek





GAZİ GELECEKTİR..