



**FERMATEAN BULANIK KÜME TEORİSİ İLE
ŞANGHAY VE MERSİN LİMANLARINDA
VERİMLİLİK KRİTERLERİNİN ANALİZİ: AHP VE
COCOSO YÖNTEMLERİNİN ENTEGRASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BEYZANUR AKTARMAÇ
ESKİŞEHİR 2025**

**FERMATEAN BULANIK KÜME TEORİSİ İLE ŞANGHAY VE MERSİN
LİMANLARINDA VERİMLİLİK KRİTERLERİNİN ANALİZİ: AHP VE
COCOSO YÖNTEMLERİNİN ENTEGRASYONU**

Beyzanur AKTARMAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İşletme Ana Bilim/Ana Sanat Dalı

Sayısal Yöntemler Programı

Danışman: Prof. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN

Anadolu Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Temmuz 2025

Eskişehir

ÖZET

FERMATEAN BULANIK KÜME TEORİSİ İLE ŞANGHAY VE MERSİN LİMANLARINDA VERİMLİLİK KRİTERLERİNİN ANALİZİ: AHP VE COCOSO YÖNTEMLERİNİN ENTEGRASYONU

Beyzanur AKTARMAÇ

İşletme Ana Bilim/Ana Sanat Dalı

Sayısal Yöntemler Programı

Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temmuz 2025

Danışman: Prof. Dr., Namık Kemak ERDOĞAN

Uluslararası ticaretin hızla artmasıyla birlikte konteyner limanları, stratejik lojistik ağların merkezine yerleşmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'nin önde gelen konteyner limanlarından Mersin Uluslararası Limanı (MIP) ile dünyanın en yüksek konteyner hacmine sahip Şanghay Limanı (SIPG) operasyonel verimlilik açısından karşılaştırılmıştır. Analizde vinç sayısı, rıhtım uzunluğu, stok alanı, yıllık konteyner hacmi ve personel sayısı olmak üzere beş ana kriter ele alınmıştır. Sezgisel Bulanık Üçgensel Derecelendirme yöntemiyle kriterler bulanık sayılara çevrilmiş, Bulanık AHP ile ağırlıklandırılmış ve Fermatean Bulanık COCOSO yöntemiyle performans sıralaması yapılmıştır. Sonuçlar, SIPG'nin yüksek teknoloji ve altyapı ile daha verimli olduğunu; MIP'nin ise bölgesel avantajına rağmen altyapı ve otomasyon açısından geri kaldığını göstermektedir. Çalışma, limanların sürdürülebilir rekabet için teknoloji ve altyapıya öncelik vermesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Sözcükler: Liman Verimliliği 1, Bulanık AHP 2, Fermatean Bulanık COCOSO 3, Konteyner Limanı 4, Çok Kriterli Karar Verme 5.

ABSTRACT

ANALYSIS OF EFFICIENCY CRITERIA AT SHANGHAI AND MERSIN PORTS USING FERMATEAN FUZZY SET THEORY: INTEGRATION OF AHP AND COCOSO METHODS

Beyzanur Aktarmaç

Department of Business Administration

Programme in Quantitative Methods

Graduate School of Anadolu University, July 2025

Supervisor: Pr. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN

As international trade continues to expand rapidly, container ports have become central to strategic logistics networks. This study comparatively analyzes the operational efficiency of Mersin International Port (MIP), one of Turkey's leading container ports, and the Port of Shanghai (SIPG), which has the highest container volume in the world. Five main criteria were considered in the analysis: number of container cranes, quay length, container storage area, annual container volume, and number of personnel. The criteria were converted into fuzzy numbers using the Intuitionistic Fuzzy Triangular Rating method, weighted with Fuzzy AHP, and performance scores were generated by ranking with the Fermatean Fuzzy COCOSO method. The results indicate that SIPG is more efficient due to its advanced technology and strong infrastructure, while MIP, despite its regional competitive advantage, lags behind in infrastructure and automation. The study reveals that in order for container ports to achieve sustainable competitive advantage, priority should be given to infrastructure investments and technological developments.

Keywords: Port Efficiency 1, Fuzzy AHP 2, Fermatean Fuzzy COCOSO 3, Container Port 4, Multi-Criteria Decision Making 5.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Beyzanur AKTARMAÇ

14/07/2025

STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES

I hereby truthfully declare that this thesis/dissertation is an original work prepared by me; that I have behaved in accordance with the scientific ethical principles and rules throughout the stages of preparation, data collection, analysis and presentation of my work; that I have cited the sources of all the data and information that could be obtained within the scope of this study, and included these sources in the references section; and that this study has been scanned for plagiarism with “Scientific Plagiarism Detection Program” used by Anadolu University, and that “it does not have any plagiarism” whatsoever. I also declare that, if a case contrary to my declaration is detected in my work at any time, I hereby express my consent to all the ethical and legal consequences that are involved.

.....
Beyzanur AKTARMAÇ

ÖN SÖZ /TEŞEKKÜR

Bu çalışma “Fermatean Bulanık Küme Teorisi ile Şanghay ve Mersin Limanlarında Verimlilik Kriterlerinin Analizi: Ahp ve Cocosmo Yöntemlerinin Entegrasyonu” başlığıyla Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Yöntemler Bilim Dalında ve Pof. Dr. Namık Kemal Erdoğan danışmanlığıyla Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmış; 17/06/2025 tarihinde Prof. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN, Doç. Prof. Çağlar KARAMAŞA ve Doç. Dr. Gözde KOCA’dan oluşan jüri tarafından başarı bulunmuştur.

Bu tezin hazırlanma sürecinde bilgi, birikim ve yönlendirmeleriyle çalışmamı şekillendiren ve her aşamada desteklerini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Namık Kemal ERDOĞAN’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Akademik yolculuğum boyunca desteklerini her zaman hissettiğim Öğr. Gör. Dr. ESRA FIRATLI TÜRKER’e teşekkür ederim.

Tezin yazım sürecinde manevi desteğini ve sevgisini daima hissettiren anneme, anneanneme ve yakın arkadaşlarıma şükranlarımı sunuyorum.

Beyzanur AKTARMAÇ

Temmuz, 2025

....../....../20....

ETİK KURUL BELGESİ BEYANNAMESİ



DİKKAT: Eğer tez çalışması insan veya hayvan katılımcıları içermiyorsa öğrenci bu sayfayı; “*Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, yürütülmesinde, verilerin analizinde Etik Kurul İzni’ne gerek yoktur*” ifadesi ile imzalayarak teze eklemelidir.

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI

Bu tezi hazırlarken (örneğin ChatGPT, Gemini, DALL-E vb.) üretken yapay zekâ programlarından destek aldığımı/almadığımı beyan ederim. Tezin hazırlığı aşamasında üretken yapay zekâ programlarından (örneğin çeviri, bilimsel makale vb.) desteği aldım. Üretken yapay zekâ programlarından aldığım bilgilerin doğruluğunu kontrol ettiğimi bildiririm.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

Beyzanur AKTARMAÇ

DECLARATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE USAGE

I declare that I received support from generative artificial intelligence programs (for example ChatGPT, Gemini, DALL-E, etc.) while preparing this thesis/dissertation. I have received support from generative artificial intelligence programs (e.g. language translation, access to scientific articles, etc.) during the preparation of the thesis/dissertation. I declare that I have checked the accuracy of the information I received from generative artificial intelligence programs.

I also declare that, if a case contrary to my declaration is detected in my work at any time, I hereby express my consent to all the ethical and legal consequences that are involved.

.....
Beyzanur AKTARMAÇ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
STATEMENT OF COMPLIANCE WITH ETHICAL PRINCIPLES AND RULES	vi
ÖN SÖZ /TEŞEKKÜR	vii
ETİK KURUL BELGESİ BEYANNAMESİ	viii
ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI	ix
DECLARATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE USAGE ..	x
İÇİNDEKİLER.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER DİZİNİ.....	xvi
GÖRSELLER DİZİNİ.....	xix
KISALTMALAR DİZİNİ	xx
1 GİRİŞ	1
2 LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1 Konteyner Limanlarının Verimlilik Çalışmaları	3
2.2 Fermatean Bulanık Küme Çalışmaları	9
2.3 Bulanık Analitik Hiyerarşi Küme Çalışmaları.....	11
2.4 COCOSO Çalışmaları	13
3 . LİMAN VE KONTEYNER TERMİNALİ.....	15
3.1 Liman Kavramı ve Önemi.....	15
3.1.1 Liman Endüstrisinde Yaşanan Rekabet	17
3.1.2 Lojistik Süreçlerinde Liman Kavramının Kritik Rolü.....	20
3.1.3 Liman Terminal Türleri	22
3.2 Konteyner Terminallerinin Yapısı ve İşleyişi.....	24

3.2.1 Konteyner Terminal Kavramı ve Stratejik Önemi.....	24
3.2.2 Konteyner Terminal Operasyonları.....	25
3.2.3 Konteyner Terminallerinde Kullanılan Ekipmanlar.....	27
3.2.3.1 Rıhtım Vinci.....	27
3.2.3.2 Köprü Vinci	29
3.2.3.3 Taşıyıcı İstifleyici (SC).....	30
3.2.3.4 Dolu Konteyner İstifleme Ekipmanı (RS).....	30
3.2.3.5 Boş Konteyner İstifleyici (ESC)	31
3.2.3.6 Forklift	31
3.2.3.7 Çekici ve Şasiler (Terminal Trackor & Chasis)	32
3.2.4 Konteyner Terminallerinde Operasyonel Verimlilik Göstergeleri	32
4 KONTEYNER TERMINALLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ	37
4.1 BULANIK MANTIK TEORİSİ.....	37
4.1.1. Klasik Mantık ve Klasik Küme Kavramı	37
4.1.1.1 Klasik Kümelerde Üyelik Fonksiyonu	39
4.1.1.2 Klasik Kümenin Uygulama Alanları.....	41
4.1.2 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Kavramı	42
4.1.2.1 Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonu	47
4.2. Fermatean Bulanık Kümeler	52
4.2.1 Sezgisel Bulanık Küme (IFS).....	53
4.2.2 Pisagor Bulanık Küme (PFS)	53
4.2.3. FERMATEAN BULANIK KÜME	54
4.3 ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME	58
4.3.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)	58
4.3.2. Fermatean Bulanık COCOSO	63
4.4 Şanghai ve Mersin Konteyner Terminallerinin Verimlilik Analizi.....	65
4.4.1 Problemin Soruları.....	66
4.4.2 Analiz Sürecinin Algoritması	66
4.4.3 Veri Seti ve Araştırmanın Analiz Kısmı	67
4.4.4 Verimlilik Kriterlerinin Belirlenmesi.....	69
4.4.5 Mersin ve Şanghai Konteyner Limanlarının Karşılaştırılmasına Yönelik Kriterlerin ve Alternatiflerin Analizi	71
4.4.5.1 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması.....	71

4.4.5.2 Kriterlerin ve Alternatiflerin Sezgisel Üçgensel Bulanık Sayılar ile Derecelendirme İşlemi	71
4.4.5.3 Kriter ve Alternatiflerin Bulanık AHP Yöntemi ile Ağırlıklandırılması. 73	
4.4.5.4 Kriterlerin ve Alternatiflerin Fermatean Bulanık COCOSO Yöntemiyle Sıralanması	75
5 Sonuç ve Öneriler.....	76
KAYNAKÇA.....	79
EKLER	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZ GEÇMİŞ	1



TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1 Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizine Yönelik Çalışmalar	7
Tablo 1.2 Liman Türleri	22
Tablo 1.3 Konteyner Terminali Verimlilik Göstergeleri	33
Tablo 1.4 Temel Ölçek	59
Tablo 1.5 BAHF Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayı Karşılığı	60
Tablo 1.6 Analiz Sürecinin Algoritması	66
Tablo 1.7 Kriterlerin Sezgisel Üçgensel Bulanık Dereceleri	71
Tablo 1.8 K1 ve A1-A2 Sezgisel Üçgensel Bulanık Dereceleri	71
Tablo 1.9 K2 ve A1-A2 Üçgensel Bulanık Dereceleri	72
Tablo 1.10 K3 ve A1- A2 Üçgensel Bulanık Dereceleri	72
Tablo 1.11 K4 ve A1-A2 Sezgisel Üçgensel Dereceleri	72
Tablo 1.12 K5 ve A1-A2 Sezgisel Üçgensel Dereceleri	72
Tablo 1.13 Kriterlerin Bulanık AHP Ağırlıkları	73
Tablo 1.14 Alternatiflerin Bulanık AHP Ağırlık Skorları	73
Tablo 1.15 Alternatiflerin Fermatean Bulanık COCOSO Sonuçları ve Önem Sıraları ..	74
Tablo 1.16 Kriterlerin Fermatean Bulanık COCOSO Sonuçları ve Önem Sıraları	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Deniz Taşımacılığında Yaşanan Yoğunluk	18
Şekil 1.2	Bir Konteyner Terminalinin Operasyon Süreç Aşamaları	25
Şekil 1.3	Klasik Küme Üyelik Fonksiyonu	40
Şekil 1.4	Klasik Küme Üyelik Fonksiyonu Örneği	41
Şekil 1.5	Bulanık Mantık Dilsel “Kısa” Üyelik Fonksiyon	44
Şekil 1.6	Bulanık Mantık Dilsel “Orta” Üyelik Fonksiyon	44
Şekil 1.7	Bulanık Mantık Dilsel “Uzun” Üyelik Fonksiyon	45
Şekil 1.8	Klasik ve Bulanık Kümenin Grafikselsel Gösterimi	46
Şekil 1.9	Sonlu Bulanık Küme	48
Şekil 1.10	Sonsuz Bulanık Küme	49
Şekil 1.11	Üçgensel Üyelik Fonksiyon	50
Şekil 1.12	Yamuksal Üyelik Fonksiyon	51
Şekil 1.13	Gaussian Üyelik Fonksiyonu	51
Şekil 1.14	Çan Üyelik Fonksiyonu	52
Şekil 1.15	SBK, PBK ve FBK Üyelik Karşılaştırılması	55
Şekil 1.16	Konteyner Limanlarının Hiyerarşik Yapısı	70

SİMGELER DİZİNİ

$W_{MC_{ij}}$: Alt Kriterlerin Ağırlıkları (Her Ana Kriter İçin)

W_{MC_i} : Ana Kriterlerin Ağırlıkları

$W_{ASC_{ij}}$: Alt Kriterin Ağırlığına Göre Alternatifin Ağırlığı

a_{iv} : Birleştirilmiş Değerlendirme Puanı

$\tilde{e}_{ij}$: i. alternatifin j. kriterdeki Fermatean bulanık değeri

$\tilde{F}^c$: F Fonksiyonunun Tahmini Tamamlayıcısı

$\tilde{F}^\lambda$: F Bulanık Fonksiyonun λ parametre

$\tilde{G}_i$: Fermatean Güç Ağırlığı

$\tilde{N}_{ij}$: Normalize Edilmiş Değer

a_1 : Fonksiyonun Genişliği

a_2 : Fonksiyonun Eğimi

a_3 : Fonksiyonun Merkezi

a_i : Alternatifler İçin Son Puan

$a_{i\gamma}$: Birleştirilmiş Değerlendirme Puanı

$a_{i\mu}$: Birleştirilmiş Değerlendirme Puanı

$\tilde{D}$: Fermatean Bulanık Karar Matrisi

$d'(A_i)$: Alternatif A_i 'nin diğer Alternatiflere Göre Üstünlük Olasılığı (Olasılık Derecesi).

$\tilde{F}$: Bulanık Fonksiyon

l_i : Alt Sınır

$M_{g_i}^n$: g_i Kriterine Göre Oluşturulan $n \times n$ Boyutunda Bir Karar Matrisi

m_i : Tepe Noktası

S_i : Bulanık Sentetik Genişletme Değeri

u_i : Üst Sınır

$W_{SC_{ij}}$: i 'inci Ana Kriterin j 'inci Alt Kriter Ağırlığı

w_j : j . kriterin ağırlığı

$\bar{x}$: Fonksiyonun Merkezi

$\mu_{\tilde{e}_{ij}}$: Üyelik Derecesi

μ_A : Üyelik Fonksiyonu

$v_{\tilde{e}_{ij}}$: Karşıtlık Derecesi

$\pi_{\tilde{A}}$: Tereddüt Derecesi

$\boxplus$: Özel Toplama İşareti

$\boxtimes$: Özel Çarpma İşareti

$\forall$: Her

$\notin$: Kümenin Elemanı Değildir.

$\in$: Kümenin Elemanıdır.

$\cap$: Kesişim

$\cup$: Birleşim

$\subset$: Alt Küme

$\subseteq$: Alt Küme

a : Kümenin Elamanı

$\tilde{A}$: Bulanık Küme

A : Evrensel Kümenin Bir Alt Kümesi

d : İki Üyelik Fonksiyonu Arasındaki En Yüksek Kesişim Noktası

E : Evrensel Küme

i : Ana Kriter Sayısı

j : Alt Kriter Sayısı

m : Alternatif Sayısı

m : Genişletilmiş Analiz Değeri

n : Kriter Sayısı

s : Alternatif Sayısı

U : Amaçlar Kümesi

W' : Bütün Alternatiflerin $d'(A_i)$ Değerlerinden Oluşan Ağırlıklar Vektörü

x : Klasik A Kümesinin Elemanı

X : Nesneler Kümesi

$\mathbb{Z}^+$: Pozitif Tam Sayılar

λ : Parametre (Lambda)

v : Üyelik Reddetme Derecesi

σ : Fonksiyonun Genişliği

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 1.1 Konteyner Terminal Faaliyetleri	27
Görsel 1.2 Gantry Vinci (STS)	28
Görsel 1.3 Gezer Vinç (MHC)	28
Görsel 1.4 Lastık Tekerlekli Köprülü Saha Vinci (RTG)	29
Görsel 1.5 Raylı Köprülü Saha Vinci (RMG)	29
Görsel 1.6 Taşıyıcı İstifleyici (SC).....	30
Görsel 1.7 Dolu Konteyner İstifleme Ekipmanı (RS)	30
Görsel 1.8 Boş Konteyner İstifleyici (ESC)	31
Görsel 1.9 Forklift	32
Görsel 1.10 Çekici ve Şasiler (Terminal Trackor & Chasis)	32
Görsel 1.11 Üyelik Fonksiyonun Gösterimi	39
Görsel 1.12 Üyelik Derecesinin Belirten Fonksiyon Tanımı	39
Görsel 1.13 İki İlke İçin Üyelik Fonksiyonu	39
Görsel 1.14 Mersin Uluslararası Limanı (MIP)	67
Görsel 1.15 Şanghay Limanı (SIPG)	68

KISALTMALAR DİZİNİ

AHP : Analitik Hiyerarşi Prosesi

ACC : Doğruluk Fonksiyonu

BAHP : Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

BBC : Banker-Charnes-Cooper Modeli

BOD : Benefit-of-the-Doubt Modeli

CCN : Critical Chain Network

CCR : Charnes-Cooper-Rhodes Modeli

CI : Consistency Index (Tutarlılık İndeksi)

COCOSO : Combined Compromise Solution

Com : Karşıtlık Fonksiyonu

CR : Consistency Ratio (Tutarlılık Oranı)

CRITIC : Criteria Importance through Intercriteria Correlation

ÇKKV : Çok Kriterli Karar Verme

DEMATEL : Decision Making Trial and Evaluation Laboratory

DFA (DEA) : Data Envelopment Analysis

EDAS : Evaluation based on Distance from Average Solution

ESC : Boş Konteyner İstifleyici

FDH : Serbest Atabilir Zarf Modeli

FF : Fuzzy Fermatean

FF-COCOSO : Fermatean Fuzzy Combined Compromise Solution

FFN : Fuzzy Fermatean Network

FFS : Fermatean Bulanık Küme

GCA : Grey Correlation Analysis

GKI : Global Knowledge Index

HGT : İki Bulanık Sayının Kesişim Yüksekliği

IFS : Sezgisel Bulanık Küme

MEREC : Most Environmentally Responsible Criteria

MHC : Gezer Vinç

MIP : Mersin Uluslararası Limanı

OECD : Organisation for Economic Co-operation and Development

PFS : Pisagor Bulanık Küme

RI : Random Index (Rastgele Tutarlılık İndeksi)

RMG : Raylı Köprülü Saha Vinci

RS : Dolu Konteyner İstifleme Ekipmanı

RTG : Lastik Tekerlekli Köprülü Saha Vinci

RTS : Returns to Scale Modeli

SC : Taşıyıcı İstifleyici

SCORE : Skor Fonksiyonu

SE : Super Efficiency

SFA : Stokastik Sınır Analizi

SIPG : Shanghai International Port Group

STS : Gantry Vinç

STS : Ship-to-Share

TCDD : Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları

TEU : Twenty-foot Equivalent Unit (Yirmi Ayak Eşdeğer Birimi)

TFV : Malmquist Toplam Faktör Verimlilik Endeksi

TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

UNCTAD : Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı

VZA : Veri Zarflama Analizi

1 GİRİŞ

Uluslararası ekonominin entegrasyonu ile ülkeler arası ekonomik ilişkilerin önemi artmış ve küresel ticaret büyük bir ivme kazanmıştır. Üretim merkezlerin global kapsamda çeşitlenmesi, arz-talep dengesinin sürdürülebilir şekilde yeniden şekillenmesi ve tüketicilerin ihtiyaçlarının sürekli değişmesi ile hizmet akışı dünya çerçevesine taşınmıştır. Bu dinamik yapının sağlanabilmesi için deniz taşımacılığı ön plana çıkmıştır. Bu taşıma türü hem maliyet hem de taşıma sistemlerindeki kapasitesi ile ayrıcalıklı bir konum kazanmıştır. Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD) verilerine göre uluslararası ekonominin %80' i deniz yolu taşımacılığı ile sağlanmıştır. Bu gelişmeyle birlikte, son 30 yıl verileri incelendiğinde dünya deniz taşımacılığı ticaretinin yıllık olarak %3 büyüme oranına sahip olduğu görülmektedir (UNCTAD, 2023). Bu sonuç, deniz taşımacılığının sürdürülebilir büyümede ton-km başına en düşük maliyetli taşıma türü olarak ekonomik ticarete vazgeçilmez kılmıştır. Deniz ortamında yürütülen bu taşımacılığın uluslararası bağlantısını limanlar oluşturmaktadır (Baykal, 2012). Limanlar, sadece gemilerin elleçlendiği lojistik merkezler değil, aynı zamanda bu küresel ticaretin kesintisiz işlemlerini sağlayan ülkelerin stratejik konumları olarak önemli bir rol üstlenmişlerdir.

Kara yolu ve deniz yolu arasında bir bağlantı noktası olan limanlar, birer yük aktarma merkezleri olmanın dışında, çoklu lojistik işlevleri ile uluslararası taşımacılık sisteminin temel taşı olmuştur. Limanlar; altyapı ve üstyapı tesisleri, yük elleçleme, gemi ve deniz araçlarına yönelik sağlanan hizmetleri ile yük ve yolcuya, bu doğrultuda denizcilik sektörüne yönelik kurum ve kuruluşlara destek sağlayan entegre alanlardır (Baykal, 2012). Özellikle artan ticaretin kapasitesi ve tedarik zincirinin karmaşıklığı ile zaman yönetimi ve sürdürülebilirliğin sağlanması için limanlar, ülkelerin ekonomik kalkınma ve dış ticaret ilişkilerinde rekabet avantajı sağlamak amacıyla rol oynayan altyapı unsurları olarak konumlanmışlardır.

Liman verimliliği, büyük ölçüde liman ekipmanlarının kapasitesi ve performans seviyelerinin belirlenmesi ile ilgilidir. Verimlilik arttıkça, liman operasyonları daha hızlı ve etkin hale getirilirken; bu doğrudan maliyetlerin azalmasına olanak sağlamaktadır. Artan yönetim kapasitesi, gemilerin bekleme ve kalkış sürelerinin azaltılmasını, hizmetlerin tam zamanında sağlanmasını ve personel hatalarından kaynaklanan sorunların en aza indirilmesini mümkün kılmaktadır. Liman verimliliğinin sürdürülebilir

hale gelmesi ise özellikle en kritik alan olan konteyner terminallerinde mevcut operasyonel ve altyapı eksiklerin giderilmesine bağlıdır. Zayıf alanların iyileştirilme aşaması, limanların sektör içerisinde rekabet avantajı kazandırmakta ve küresel düzeyde tedarik zincirinin en önemli merkezi haline getirmektedir.

Liman yönetimleri, konteyner terminallerine yüksek riskli yeni yatırımlar yapmak yerine, mevcut kaynakların daha verimli kullanmanın yollarını aramaktadır. Bunun sebebi, terminallerinin uluslararası ticarete oyun değiştirici bir role sahip olmasıdır. Bu sebeple, mevcut kaynakların verimliliğini artırarak operasyonel maliyetleri düşürmek, kapasitenin etkin biçimde kullanılması ve tedarik zincirinde ortaya çıkabilecek risklerin en aza indirmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu tez çalışması, karar verme süreçlerinde yaşanan belirsizliğin fazla olduğu liman performans değerlendirmelerine yönelik Bulanık AHP ve Fermatean Bulanık COCOSO yöntemlerinin entegrasyonu ile yenilikçi bir yol sunmaktadır. Bu kapsamda, dünyanın en yoğun olan Şanghai Konteyner Liman ile Doğu Akdeniz' in stratejik merkezi haline gelen Mersin Konteyner Liman' ın karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulguların, hem akademik hem de liman yönetimi, planlanması ve performans iyileştirilmesi açısından önemli katkılar sağlanması amaçlanmaktadır.

2 LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Konteyner Limanlarının Verimlilik Çalışmaları

Konteyner limanları verimliliğine ilişkin birçok çalışma yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalarda Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Stokastik Sınır Analizi yöntemleri kullanılmıştır.

İlk olarak Roll ve Hayuth (1993), limanların verimliliğini etkileyen çeşitli faktörleri Veri Zarflama Yöntemi ile analiz ederek, göreceli verimlilik derecelendirilmelerini elde etmişlerdir. Bu çalışmada, 20 limanın performansı gerçek olmayan bir sayılar ile birlikte senaryo oluşturularak karşılaştırılmıştır.

Poitras, Tongzon ve Li (1996), 5 Avusturya ve 18 diğer uluslararası konteyner limanlarında verimlilik sıralaması sunmak amacıyla Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemini uygulamışlardır. Çalışmalar da 20 ve 40 ayaklı konteynerlerin karışım oranı, vinç verimliliği, rıhtımda geçirilen-çalışma süresi, vinç verimliliği, konteyner elleçleme vinçlerinin sayısı, yanaşan konteyner gemilerin sıklığı ve konteyner başına ortalama devlet liman ücretleri girdi değişkeni olarak ele alınırken, çıktı değişkenleri ise rıhtım bazında yük elleçleme verimliliği olarak belirlenmiştir.

Martinez-Budria, Diaz-Armas, Navvaro-Ibanez ve Ravelo-Mesa (1999), Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemiyle 1993-1997 arasında tüm İspanyol limanları karmaşık yapılarına göre yüksek, orta ve düşük seviyeli gruplara ayırmışlardır.

Coto-Milan ve Banos (2000), 1985- 1989 yılları arası 27 İspanyol limanını Stokastik Sınır Maliyet Fonksiyonu ile ekonomik verimliliğini tahmin etmişlerdir. Elde edilen verimlilik göstergeleri analiz edildiğinde, görece daha büyük limanların daha verimsiz olduğu, büyük ölçek ekonomilerinin varlığının tespiti ve incelenen dönemlerde teknik ilerlemenin yetersizliği ortaya konulmuştur.

Tongzon (2001), 4 Avusturalya ve 12 diğer uluslararası konteyner limanlarının verimlilik ölçümünü sağlamak için Veri Zarflama Analizi (VZA) kullanmıştır. Çalışmasında Melbourne, Rotterdam, Yokohama ve Osaka Limanlarının konteyner iskeleleri, alanları ve iş gücü girdilerindeki büyük boşluklar olması sebebiyle, ölçek varsayımlarına bağlı olarak örnekteki en verimsiz limanlar olarak belirlenmiştir.

Valentina ve Gray (2001), Veri Zarflama Yöntemi ile 31 Kuzey Amerika ve Avrupa da bulunan limanların verimliliğini karşılaştırmışlardır. Çalışmada toplam ve konteyner rıhtım uzunlukları girdi değişkeni, elleçlenen konteyner sayısı ve toplam yük miktarı çıktı değişkeni olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak, limanların belirli özel, kamu ve hibrit sahipliklerine ve organizasyon yapısına göre daha verimli olup olmadığını tespit etmeyi hedeflemişlerdir.

Itoh (2002), 1990-1999 dönemlerinde Japonya'daki Tokyo, Yokohama, Shimizu, Nagoya, Yokkaichi, Osaka, Kobe ve Kita-kyushu limanlarının verimlilik değişimlerini Veri Zarflama Analizi (VZA)'nin Pencere Uygulaması ile incelemiştir. Girdi değişkeni olarak konteyner rıhtım sayısı, vinç sayısı, konteyner terminal alanı ve iş gücü seçilirken, çıktılar ise ihracat ve ithalat elleçleme hacmi olarak belirlenmiştir. İncelenen dönemlerde Tokyo ve Nagoya limanlarının, artan ithalat talebiyle daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Diğer limanlar ise zamanında gelişim gösteren ve talep artışına hızlı yanıt veren limanlarla, planlaması geciken ve talep toplama süreçleri yavaş ilerleyen limanlar arasında verimlilik farklılıklarını ortaya çıkarmışlardır.

Wang, Song ve Cullinane (2003), dünyadaki 53 konteyner terminallerini Veri Zarflama Analizi (VZA) ve Serbest Atılma Full (FDH) yöntemi ile karşılaştırılmalı olarak analiz etmişlerdir. Girdi değişkenleri limanların ekipman ve altyapı kaynakları dikkate alınırken, çıktı ise ithalat ve ihracat elleçleme hacmi olarak belirtilmiştir. Çalışmada, VZA yönteminde bulunan CCR (Charnes, Cooper ve Rhodes Modeli) modeli ile 9, BBC (Banker, Charnes ve Cooper Modeli) ile 23 konteyner terminalinin verimli olduğu sonucuna varmışlardır.

Barros (2003), Portekiz'de bulunan konteyner terminalleri için VZA ile toplam verimlilik, teknik etkinlik ve teknolojik değişim kriterlerine ayıştırılmıştır.

Barros ve Athanassiou (2004), Yunanistan ve Portekiz limanlarının 1998-2000 yılları arası verimliliği Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemi ile karşılaştırılmışlardır. Her iki ülkenin limanlarının girdi değişkenleri liman kaynakları, çıktı ise taşınan yük miktarı olarak elde edilmiştir. Çalışmada, limanların verimliliğinin artırabilmesi için özelleştirilmesinin iyi bir çözüm yolu olduğu vurgulanmıştır.

Al-Eraqi, Mustafa, Khader ve Barros (2008), Orda Doğu ve Doğu Afrika’da bulunan 22 konteyner limanları Veri Zarflama Analizi (VZA)’inde bulunan CCR (Charnes, Cooper ve Rhodes Modeli) ve BBC (Banker, Charnes ve Cooper Modeli) modelleri ile verimlilikleri incelenmiştir. Liman kaynakları, iskele uzunluğu, depolama alanı ve taşıma ekipmanları girdi değişkeni olarak, taşınan yük miktarı ve yanaşan gemi sayısı çıktı değişkeni olarak elde edilmiştir. Çalışmada, fiziki açıdan büyük olan limanların daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bichou (2013), 420 konteyner limanın verimlilik ölçümü için Veri Zarflama Analizi (VZA) modelleri ile piyasa ve işletme koşullarına duyarlılığı test etmiştir. Girdi değişkenleri üretim ölçeği, kargo karışımı, transshipment oranı ve işletme yapılandırmaları ele alınırken, çıktı değişkenleri operasyonel verimlilik olarak belirlenmiştir. Çalışmada, otomatik sistemlerle çalışan limanların daha yüksek verimlilik puanları ettiğinin sonucuna varmıştır.

Yuen, Zhang ve Cheung (2013), 2003-2007 yılları arası her yıl için, 21 konteyner terminallerinin verimlilik skorları Veri Zarflama Analizi (VZA) ile hesaplamışlardır. Daha sonra, konteyner terminali verimlilik skorlarını ve büyümesini etkileyen değişkenleri incelemek için regresyon analizi modelini kullanmışlardır. VZA için kullanılan girdi değişkenleri konteyner terminal kapasitesi, kullanılan alan, iş gücü sayısı ve operasyonel maliyetleri seçilirken, çıktı değişkenleri için elleçlenen konteyner miktarı, operasyonel verimlilik ve gelir performansı olmuştur. Çalışmada, liman ortaklarının belirli bir oranda konteyner terminalline sahip olması liman verimliliğini artıracaklarını, fakat ana hissedarların bölgenin hissedarları olduğu durumunda verimliliğin düşebileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, limanlar içi ve limanlar arası rekabetin olduğu durumlarda verimliliğin artabileceğide tespit edilmiştir.

Chang ve Talley (2019), Akdeniz’deki konteyner limanlarının deniz yönlü liman bağlantılarını ölçmek ve değerlendirmek için Veri Zarflama Analizi (VZA) ile BOD (Benefit-of-the-Doubt) yaklaşımını kullanmışlardır. İki yaklaşımda kullanılan girdi değişkenleri sermaye kaynakları, iş gücü ve lojistik altyapı olurken, çıktı değişkenleri ise elleçlenen yük hacmi ve liman bağlantı endeksi olmuştur. Çalışmada, Akdeniz bölgesindeki limanların bölgesel ve küresel ticaret merkezleri olarak büyük öneme sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Türkiye’de yapılan çalışmalara bakıldığında, Ateş (2010) 13 konteyner terminallerinin 2005- 2009 yılları arası göreceli verimlilik durumları Veri Zarflama Analizi (VZA) tekniğini uygulamıştır. Girdi değişkeni olarak rıhtım uzunluğu, gemi yanaşma yeri sayısı, konteyner elleçleme vinç sayısı ve konteyner stok alanı kullanılırken, çıktı değişkeni elleçlenen konteyner miktarı (TEU) olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen limanlar içerisinde İzmir ve MIP (Mersin)limanları beş yıllık dönemde her yıl CCR (Charnes, Cooper, and Rhodes Modeli) ve RTS (Returns to Scale)’ ye göre girdi ve çıktı göreceli verimlilik değerleri 1 olup verimli oldukları saptanmış, fakat Alport (Trabzon) ve Akport (Tekirdağ) konteyner terminalleri CCR ve RTS’ ye göre en düşük verimliliğe sahip oldukları tespit edilmiştir.

Ateş ve Esmer (2013), 2009 küresel finans krizi öncesi ve sonrasında Türkiye’de bulunan 13 konteyner terminallerinin Veri Zarflama Analizi (VZA) ile göreceli etkinlik değerlerini hesaplamışlardır. Bu etkinlik değerlerinin dönem içi değişimi Malmquist Toplam Faktör Verimlilik (TFV) endeksi ile belirlemişlerdir.

Ateş ve Esmer (2014), konteyner limanlarının verimliliğini Serbest Atabilir Zarf Modeli (FDH) ve Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemleri ile hesaplamışlardır. Girdi değişkenleri stok alanı, rıhtım vinç sayıları, konteyner rıhtım uzunluğu ve draft olarak belirlenirken, 2012 yılına ait toplam konteyner elleçleme miktarı olarak ele alınmıştır.

Yüksekyıldız ve Tunçel (2020), 2015-2017 yılları arasında faaliyet gösteren 22 konteyner limanlarını Bulanık Veri Zarflama Analizi ile değerlendirilmişlerdir. Çalışmada, konteyner terminallerine ait verileri “ α kesitler kümesi yaklaşımı” kullanılarak bulanık değerlere dönüştürülmüş ve her bir konteyner terminali için alt ve üst sınır değerleri hesaplanmıştır.

Literatürde konteyner limanlarının verimliliği hakkında birçok yayın bulunmaktadır. Bu yayınlara ait veriler Tablo 1’ de belirtilmektedir.

Tablo 1.1*Konteyner Limanlarının Verimlilik Analizine Yönelik Literatür*

YIL	YAZAR (LAR)	MAKALE	YÖNTEM
1995	Tongzon, J.L.	Determinants of Port Performance and Efficiency	VZA
1996	Poitras, G., Tongzon, J., Li, H.	Measuring Port Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis	VZA
2000	Notteboom, T., Coeck, C.	Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models	SFA
2001	Tongzon, J. L.	“Efficiency Measurement of Selected Australian and other International Ports using Data Envelopment Analysis	VZA - CCR
2002	Cullinane, K., Song, D.W., Gray, R.	A Stochastic Frontier Model Of The Efficiency Of Major Container Terminals in Asia: Assessing The Influence of Administrative and Ownership Structures	SFA
2003	Wand,T.F., Song,D.W., Culliane,K.	Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approaches, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies	VZA-CCR VZA-BCC DFA
2004	Wiegman, B.W., Rietveld, P., Pels, E. and Van Woudenberg, S.	Container Terminals and Utilisation of Facilities	VZA
2005	Lin, L-C., Tseng, L-A.	Application of DEA and SFA on the Measurement of Operating Efficiencies for 27 International Container Ports	VZA - CCR VZA - BBC DFA
2006	Cullinane, K., Song, D. W.	Estimating the Relative Efficiency of European Container Ports: A Stochastic Frontier Analysis. Research in	Stokastik Cobb Douglas Modeli ve VZA

		Transportation Economics Cilt 16 Port Economics,	
2010	Cullinane, K., Wang, T.	The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches	VZA
2010	Ateş, A.	Türkiye Konteyner Terminallerinde Verimlilik Analizi	VZA - BBC VZA - CCR
2013	Yuen, A. C., Zhang, A., Cheung, W.	Foreign Participation and Competition: A Way to Improve The Container Port Efficiency in China?	VZA
2018	Hlali, A.	Efficiency Analysis with Different Models: The Case of Container Ports	VZA SFA
2021	Li, L.-L., Seo, Y.-J., Ha, M.-H.	The Efficiency of Major Container Terminals in China: Super-Efficiency Data Envelopment Analysis Approach	SE - DEA
2023	Çelik, Y., Yorulmaz, M.	Türkiye'deki Konteyner Terminallerinin Performans İncelemesi ve Mersin Limanı için Performans Gelişim Önerileri	ENTROPİ TOPSİS
2024	Zeng, F., Xu, S.	A Hybrid Container Throughput Forecasting Approach Using Bi-Directional Hinterland Data of Port.	GCA CNN

Kaynak: Çağlar, V., Oral, E., 2011; Yazar tarafından güncellenmiştir.

2.2 Fermatean Bulanık Küme Çalışmaları

Fermatean bulanık küme hakkında yapılan çalışmalar, hem teorik temeli geliştirmek hem de çeşitli uygulama alanlarındaki etkinliği ve verimliliğini değerlendirmeye odaklanmışlardır.

Senapati ve Yager (2019), “Fermatean Fuzzy Sets” makalesinde, fermatean bulanık kümelerin tanınması ve tanımlayıcı operatörleri, temel işlemleri, sıralama için skor ve doğruluk fonksiyonu gibi matematiksel özelliklerini incelemişlerdir.

Senapati ve Yager (2019), önerdikleri fermatean bulanık kümelerin karar verme sürecinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermişlerdir. Yapılan çalışmada, Vidyasar Üniversitesi’nden bir grup profesörün ev inşası için 4 farklı yer (Ashoke Nagar (S1), Judge Court (S2), Patna Bazar (S3) ve Ksudiram Nagar (S4) belirli kriterler doğrultusunda seçilmiştir. Fermatean bulanık birleştirme fonksiyonları (FFWA, FFWG, FFWPA ve FFWPG) kullanılmış ve her bir yerin uygunluğu fermatean bulanık verileri çerçevesinde analiz edilmiştir. Sonucunda en iyi alternatif olarak S4 olarak belirlenmiştir. Bulunan sonuç, fermatean bulanık TOPSIS yöntemi ile doğrulanmış ve her 2 yöntemde sonuçların uyumlu olduğu saptanmıştır.

Karar verme süreçlerinde belirsiz durumları etkili şekilde ele almak için fermatean bulanık kümeler ve bu kümelerle geliştirilen yöntemler önem kazanmıştır. Garg, Shahzadi ve Akram (2020), fermatean bulanık küme ile Yager AOs (Yager Aggregation Operators)’u birleştirerek, bu operatörlerin Yager AOs’ nın özelliklerini takip eden Fermatean Fuzzy AO fonksiyonları oluşturma yetenekleri incelenmişlerdir. Sonuçlar, FFN (Fermatean Fuzzy Network)’nin esnekliğinin ve Yager AO fonksiyonlarının güçlü yönlerinin birleşiminin belirsiz karar verme problemlerini çözmede daha etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmada, COVID-19 testi için uygun laboratuvar seçimi üzerine önerilen operatörler ile FFTOPSIS yönteminde karşılaştırılmalı analiz yapılmıştır.

Fermatean bulanık küme ve Hamacher fonksiyonlarının birleşimi ile oluşturulan yeni fonksiyonlar, belirsiz durumların olduğu karar verme problemlerin çözümünde daha etkili olduğunu açıkça göstermiştir. Hadi, Khan ve Khan (2021), fermatean bulanık kümeler ve Hamacher işlemleri içeren ileri düzey karar verme yöntemlerini incelemişlerdir. Yeni yöntemler, belirsiz karar verme problemlerinde kullanımı için geliştirilmiş Fermatean Hamacher ağırlık ortalama, sıralı ağırlıklı ortalama ve hibrit yeni operatörleri gibi çeşitli

yeni fonksiyonları tanıtmıştır. Çalışma, Afganistan’ın KP eyaletinde yaşanan tropikal doğal afetlerin yer açtığı sorunların analizi gerçekleştirilmiştir.

Sağlık alanında karar verme sürecini ele alan çalışmada, Shahzadi, Zafar ve Alghamdi (2021) tarafından fermatean bulanık küme modelinin Sezgisel ve Pisagor bulanık modellerle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda, fermatean bulanık kümenin belirsizliği çözmede daha etkili, esnek ve genelleştirilmiş model olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, bir hastanın kanser olma olasılığını artıran 4 faktör (C1 (tütün), C2 (alkol), C3 (sağlıksız beslenme) ve C4 (fiziksel hareketsizlik)) belirlenmiş ve faktörler, fermatean bulanık kümeler ile etkileşimli ağırlıklı geometrik fonksiyon ve FFTOPSIS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, fiziksel hareketsizliğin hastalığa yakalanma olasılığında daha etkili olduğu göstermiştir.

Yeşil tedarikçi seçimi nedeni ile ortaya çıkan sorunları çözmeye için, Wei, Meng, Rang, Liu, Garg ve Pamucar (2022), fermatean bulanık küme ve COCOSO tekniklerine entegre edilmiş yenilikçi bir karar verme yöntemi uygulamışlardır. Uygulamada, 6 yeşil tedarikçi ve 5 kriter (C1 (kalite), C2 (maliyet), C3 (hizmet), C4 (üretim kapasitesi) ve C5 (teknik seviye)) incelenmiştir. Best Worst Method (BWM) ve Entropi tekniklerinin birleştirilmesi ile kapsamlı kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Ayrıca, “FFS-SWA” ve “FFS-SWG” operatörleri ve skor fonksiyonları ile geliştirilen “FFS-COCOSO” kullanılarak tedarikçileri sıralanması yapılmıştır.

Sürdürülebilir ters lojistik sağlayıcıların (S3PL) seçimi için, Mishra, Rani ve Pandey (2022) tarafından fermatean bulanık küme uzantılı CRITIC ve EDAS yöntemleri birleştirilmiştir. Çalışmada, Hindistan’ın Grugram şehrinde bulunan üretim şirketi için 5 (K1, K2, K3, K4, K5) sürdürülebilir ters lojistik sağlayıcı ve 13 kriter (N1 (kirlilik kontrol maliyeti), N2 (yeşil ürün ve eko-tasarım maliyeti), N3 (yeşil depolama), N4 (yeşil AR-GE depolama), N5 (çevresel yönetim sistemi), N6 (maliyet), N7 (esneklik), N8 (kalite), N9 (teknolojik yetenek), N10 (sağlık ve güvenlik uygulamaları), N11 (sosyal sorumluluk), N12 (eğitim uygulamaları) ve N13 (istihdam uygulamaları) seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, K3 ters lojistik sağlayıcı en uygun seçim olduğu belirlenmiştir.

Mühendislik ve bilimsel alanlarında, Karuppiah ve Sankaranarayanan (2023), fermatean bulanık kümeleri karar verme teknikleri ile beraber kullanarak yeni bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Bu uygulamada, Hindistan çevresinde e-atık sürecinde bulunan zorlukları fermatean bulanık küme ile AHP, DEMATEL VE TOPSİS metotlarının entegrasyonu

sonucu ağırlıklandırılmaları sağlanmıştır. Bu zorlukların nedensel karşılıklı ilişkileri gösterilmesi ile stratejiler sıralanmıştır. Analiz sonucu 5 zorluk hızlı büyüyen kayıt dışı sektör, e-atıkların yasa dışı ithalatı, teknik uzman eksiliği, e-atık geri dönüşüm yönergelerin olmaması ve veri envanteri olarak belirlenmiştir.

Yapay zeka tabanlı karar verme destek sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile disiplinler arası çözüm yöntemleri son zamanlarda ön plana çıkmaktadır. Golui, Manapatra ve Manapatra (2024), bu iki alanı fermatean bulanık küme tekniğini ile entegre ederek ulaşım sektöründe elektrikli araç seçim problem çözümünü sağlamışlardır. Çalışmada, 8 elektrikli araç (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 ve D8) ve 7 kriter (Γ_1 (menzil), Γ_2 (akıllı özellikler), Γ_3 (performans), Γ_4 (pil ömrü), Γ_5 (depolama alanı), Γ_6 (fiyat) ve Γ_7 (şarj süresi)) seçilmiştir. FF-TOPSIS yöntemi ile elektrikli araç modellerinden D5 en iyisi olurken, en iyi iki kriter menzil ve fiyat olduğu belirlenmiştir.

Yeşil tedarikçi seçim süreci çalışması için, Pamucar, Ulutaş, Karamaşa ve Ecer (2024) tarafından fermatean bulanık küme ve COCOSO yöntemlerini entegre ederek sürecin daha verimli ve güvenli geçmesi amacı ile bir karar destek aracı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Uygulamada, 6 yeşil tedarikçi (SL1, SL2, SL3, SL4, SL5 ve SL6), 3 ana kriter (ekonomi, çevre ve teknoloji) ve 9 alt kriter (hasarlı ürün oranı (DPR), geç teslimat oranı(LDR), maliyet (C), kirlilik kontrolü (PC), çevresel imaj (EI), geri dönüşüm (R), yeşil depolama (GW), teknolojik yeterlilik (TC), teknik destek (TA)) belirlenmiştir. 6 yeşil tedarikçiden SL2 tedarikçisi yeşil depolama, teknoloji ve teknik destek kriterleri açısından en iyisi iken, SL6 tedarikçisi teknik destek, yeşil depolama ve kirlilik kontrolü bakımından en iyi sonuçları elde etmiştir.

2.3 Bulanık Analitik Hiyerarşi Küme Çalışmaları

İlk uygulama, Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından karmaşık karar kriterleri kapsamında birçok alternatif arasında bulunan seçim sürecine yönelik olarak, bulanık küme teorisi ve bulanık aritmetiğin uygulanmasını ele alan bir çalışma sunulmuştur. Çalışmada, operasyonel araştırmaları profesörlük seçimi için 4 kriter (C1 (matematiksel yaratıcılık), C2 (uygulamalardaki yaratıcılık), C3 (idari yetenek) ve C4 (insan olgunluğu)) belirlenmiştir. Bu kriterler çerçevesinde yeni bir çözüm yöntemi sunulmuştur.

Buckley (1985), hiyerarşik bir analizde, katılımcıların iki alternatifin karşılaştırılması sonucu kesin oranlar yerine bulanık oranların kullanımına izin verilen durumları

genişletmiştir. Uygulamada, ağılıkları daha özenli bir şekilde dağıtıldığı ve kişisel yargıları daha kontrol edilebilirliğıin sağılanması amaçlamıştır.

Lojistik alanından, Candan (2019) tarafından OECD yesi 10 ülkenin lojistik performans değerlendirilmesi bulanık AHP (Analitik Hiyerarşı Prosesi) ve GIA (Gri İlişkisel Analiz) yöntemleri ile analiz edilmiştir. Belirlenen 5 kriter (K1 (ihracat teslim süresi), K2 (ithalat teslim süresi), K3 (ticaret ve ulaşım ile ilgili altyapı kapasitesi), K4 (gönderilerin planlanan veya beklene süre içerisinde alıcıya ulaşma sıklığı) ve K5 (gönderileri takip etme yeteneğı)) bulanık AHP ile ağırlıklandırılması sağılanırken, GIA ile 10 ülkenin lojistik performansları sıralanmıştır.

Yürüyen ve Ulutaş (2020), nc parti lojistik (3PL) seçimi için Bulanık AHP ve Bulanık EDAS yöntemlerinden faydalanarak bir çok kriterli karar verme modeli uygulamışlardır. Bu çalışmada, 10 kriter (C1 (maliyet), C2 (teslimat kapasitesi), C3 (hata oranları), C4 (beklenmeyen olaylara yanıt), C5 (operasyonel yetenekler), C6 (itibar), C7 (güvenilirlik), C8 (hizmet performansı), C9 (sevkiyat ve teslimat süreleri) ve C10 (fiyatlandırma esnekliğı) belirlenerek, bulanık AHP ile ağırlıklandırılması yapılmıştır. Bulanık EDAS metodu ile kriterler sıralanmıştır.

Ykselyıldız (2021), konteyner limanlarının temel performans kriterlerini bulanık AHP yöntemi ile önem sıralamasını yapmıştır. Hiyerarşık yapı 4 kriter (gemi, yanaşma yeri, terminal ve finans) zerinden belirlenmiştir. Bulanık AHP analizi sonucu en önemli kriterin yanaşma yeri olduğu belirlenmiştir.

Nehir (2022), 5 ülkenin limanı için Bulanık AHP ile liman verimliliğini etkileyen kriterleri belirlemiştir. Çalışmada, verimliliğı etkileyen kriterler rıhtım uzunluğu, liman sahası, ekipman ve gemi sayısı olarak sonuca varılmıştır.

Bucak ve Kendir (2023), konteyner terminallerinde yaşanan istifleme sisteminden kaynaklanan darboğaz sorununu bulanık AHP ile analiz etmişlerdir. Uygulamada, 6 kriterin (K1 (konteyner zati kaldırma kapasite sınırları), K2 (saha inşa sınırları), K3 (zorunlu idari elleçleme kayıpları), K4 (iklim şartları), K5 (depremler) ve K6 (ekipman sınırları)) analizi sonucunda, ekipman sınırları konteyner terminallerinde oluşan darboğaz sorunu için en önemli kriter olduğu belirlenmiştir.

Ayaz ve Bucak (2024), bulanık AHP-TOPSIS hibrit yöntemi ile limanlarda yaşanan sıklıkliğıın çözümüne yönelik kriterleri nceliklendirmişlerdir. Bu hibrit yöntemde 6

kriter (K1 (prosedür işlemlerinde aksaklık), K2 (yetersiz planlama), K3 (kapasite yetersizliği), K4 (liman ekipmanların arızalanması), K5 (beklenmedik ticaret yoğunluğu) ve K6 (olumsuz hava koşulları) ve 4 alternatif (A1 (paydaş işbirliği), A2 (kalifiye işçi yatırımı), A3 (ekipman yatırımı) ve A4 (yükün çekilmesi için teşvik) seçilmiştir. Analiz sonucunda, en önemli liman tıkanıklık sebepleri kapasite yetersizliği ve beklenmedik ticaret yoğunluğu olurken, en etkili çözüm kriterleri paydaşlar ile işbirliğin artırılması ve kalifiye işçi yatırımı olduğu ortaya konulmuştur.

2.4 COCOSO Çalışmaları

COCOSO çalışmaları ilk olarak, Yazdani, Zarate, Kazimieras Zavadskas ve Turkis (2019) tarafından çok kriterli karar verme metodolojisine yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Çalışmada, Fransa'da bir lojistik şirketinin değerlendirilmesine ilişkin gerçek bir problem üzerinden yeni bir yaklaşım olarak COCOSO yöntemi ileri sürülmüştür. Önerilen yöntem algoritması basit katkı ağırlıklandırılmasına ve üstel ağırlıklı ürün modeline dayanmaktadır.

Soğuk zincir lojistik dağıtım merkezlerinin değerlendirilmesine yönelik Liao, Qin, Wu, Yazdani ve Kazimieras Zavadskas (2020) tarafından, Pisagor bulanık ortamda değiştirilmiş COCOSO yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada, 4 dağıtım merkezi üzerinden, 3 ana kriterin (A1 (ekonomi), A2 (çevre) ve A3 (sosyal) ve 6 alternatifi (C1 (insan kaynakları durumu), C2 (teslimat esnekliği), C3 (doğal koşullar), C4 (çevre koruma maliyeti), C5 (yakın sakinlerin üzerindeki etkisi) ve C6 (çevre yasa ve yönetmeliklerine uyum)) analizi sağlanmıştır. Uygulama sonucunda, dağıtım merkezi 3, alternatiflerden teslimat esnekliği ile çevresel yasa ve yönetmeliklerine uygunluk kriterleri en yüksek skorlara sahip olması nedeniyle en önemli lojistik şirket olmuştur.

Altıntaş (2021), G7 ülkelerinin en son ve güncel olan 2020 yılına ait Küresel Bilgi Endeksi (GKI) değerleri üzerinden bilgi performanslarının COCOSO yöntemi ile karşılaştırmıştır. Uygulamada, G7 ülkeleri 7 GKI (GKI1 (üniversite öncesi eğitim), GKI2 (teknik ve mesleki eğitim öğretim), GKI3 (yüksek eğitim), GKI4 (araştırma, geliştirme ve inovasyon), GKI5 (bilgi ve iletişim teknolojisi), GKI6 (ekonomi) ve GKI7 (genel etkinleştirme ortamı)) değişkenlerine ait değerler çerçevesinde COCOSO ile analiz edilmiştir. Karşılaştırma sonucunda, bilgi performansının yüksek olduğu ülke ABD olduğu ortaya konmuştur.

Arman ve Organ (2023), Avrupa Birliğine üye ve aday ülkelerin lojistik performanslarını MEREC ve COCOSO yöntemleri ile analiz etmişlerdir. Bu uygulamada, Avrupa Birliğine üye olan 27 ülke ve Türkiye'nin içinde bulunduğu 8 aday ülke 6 lojistik performans kriterleri (K1 (lojistik hizmet kalitesi), K2 (sevkiyat düzenleme kolaylığı), K3 (sevkiyatların planlanan veya beklenen sürede teslimi), K4 (altyapı), K5 (izleme-takip etme) ve K6 (gümrük yönetimi) MEREC ile ağırlıklandırılması yapılmıştır. COCOSO metodu ile 35 ülke sıralandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 2023 yılı için en yüksek lojistik performansı gösteren ülkeler sırası ile Finlandiya, Almanya, Danimarka, Hollanda ve İsveç olmuştur.

Ecer ve Güneş (2024), G7 ülkelerinin bilgi iletişim teknolojilerinin performansının ölçülmesinde MEREC, CRITIC ve COCOSO yöntemlerinin entegrasyonu ile analiz etmişlerdir. Çalışmada, bilgi işlem teknolojileri 6 kriter (C1 (BIT katma değer), C2 (BIT istihdam), C3 (BIT yatırım), C4 (BIT ürünlerinin ihracatı), C5 (evden bilgisayara erişim) ve C6 (internete giriş)) MEREC-CRITIC yöntemlerinin entegrasyonu ile önem ağırlıkları belirlenmiştir. COCOSO metodu ile G7 ülkelerinin bilgi iletişim teknolojilerinin performans seviyelerine ulaşılmıştır. Bulgular, bilgi iletişim teknolojileri gelişiminde en önemli kriterlerin BIT ürünlerinin ihracatı ve internet erişimi olduğunu göstermiştir. COCOSO sonuçları ise, İngiltere ve ABD' nin BIT gelişim düzeyleri açısından diğer G7 ülkeleri arasında en iyi durumda olduğunu göstermiştir.

3 . LİMAN VE KONTEYNER TERMİNALİ

3.1 Liman Kavramı ve Önemi

Liman kavramının tarihsel süreci incelendiğinde, başlangıçta yalnızca balık avlama amacıyla kullanılan bu alanların, denizcilik ve globalleşmenin gelişmesi ile ticaretin en önemli rekabet alanlarından biri haline dönüşmüştür (Esmer, S., 2010). Gelişen süreçle birlikte limanlar, yük taşımacılığının sürdürüldüğü alanlar olmaktan çıkarak, ekonomik kalkınmanın temel dinamiği haline gelmişlerdir (Branch, 1998). Sanayi devrimiyle bu yapılar, gemilerin birçok nedenden ötürü yanaşmasını sağlayacak şekilde gelişmiş ve modern tedarik zincirinin lojistik merkezi haline getirilmiştir. Teknolojik gelişmelerin ilerlemesi ve yüksek düzeyde lojistik sistemleri bünyesine katan limanlar, stratejik ve askerî açıdan önemli ulaştırma alt yapıları olarak değerlendirilmektedir. Limanlar hizmetleri ve kapsamı geliştikçe, tanımlamaları zamanla farklılaşma göstermektedir. Liman kavramına ilişkin çeşitli tanımlar literatürde yer almakta ve bu tanımlardan bazıları aşağıda derlenmiştir.

- Korunmuş bölgelerde gemilerin ihtiyaçları karşılanıyorsa, bakım ve onarımın yapılıyor ve inşa ediliyorsa, yükleme-boşaltma işlemi gerçekleşiyorsa ve depolama alanları mevcutsa bu yapılara liman denilebilmektedir (Agerschou, H., Helge Lundgren, H., Sorensen, T. ve diğerleri, 1985).
- Liman, gemilerin yüklendiği ve boşaltıldığı bir terminal ve alanı olarak tanımlanmış, gemilerin işlemler için sıralarını beklediği veya bulunan alana uzaklıkları ne olursa olsun bekleme emri verildiği ve tutuldukları olağan yerler olarak tanımlanmıştır (Branch, A., 1986).
- Limanlar, rıhtımlarına veya iskelelerine gemi ve deniz araçlarının yanaşabileceği, demirleyebileceği imkanlar sağlayan, tekneden kıyaya, tekneden tekneye, kıyadan tekneye yük ve insan naklinin, teknelerin bağlanıp kaldırılması veya demirlemesi, yükün karadan ve denizde teslimine kadar muhafazasını sağlayan tesis ve imkanları bulunan sınırlandırılmış kara ve deniz alanlarıdır (Altınçubuk, F., 2000).
- Ulaştırma zincirinin birçok faaliyetin yerine getirilmesinde önemli düğüm noktası olan limanlar, yükleme / boşaltma, römorkaj, depolama gibi temel işlevlerinin yanında yükleyiciler, ihracatçılar, lojistik şirketler, devlet otoriteleri, bankalar ve sigorta şirketleri gibi birçok örgüt ya da kişilerle ilişki içerisindedirler. Bu özellikleriyle limanlar, mikro ve makro açıdan ülkelerin ekonomisine katkı sağladığı gözlemlenmektedir (Esmer, S., 2010).
- Liman, altyapı ve üstyapı tesisleri, yük elleçleme ve destek birimleriyle değişik tip ve büyüklükte gemi ve deniz araçlarına, yük, yolcu ve denizyolu ulaşımıyla ilgili kurum ve kuruluşlara hizmet sağlayan, sınırları devlet tarafında belirlenen kara ve gemilerin hava koşullarında korunmasını sağlayan deniz alanlarına denilmektedir (Baykal, R., 2012).

Tanımlamalar dikkate alındığında, işletmelerin ve ülkelerin sınırlarının giderek belirsizleştiği, rekabetin yoğunlaştığı denizyolu taşımacılığında limanların stratejik rolü

her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır. Bu durumun sebebi, limanların sadece yükleri elleçleme noktaları olmanın dışında, hizmet üreten yapılar olarak ön plana çıkmasıdır. Ulusal ve uluslararası ekonomi üzerinde belirleyici etkiye olan bu merkezler, sanayi ve ticaretin gelişmesinde önemli bir faktör haline gelmiştir.

Limanlar, öte yandan farklı konum ve kapasiteye sahip olmaları açısından birbiriyle yüksek rekabet içerisindeyler. Bu yapılar, dünya ticaretinin artan entegrasyonu ile uluslararası tedarik zincirinde kritik lojistik merkez haline gelmiştir. Bu dönüşümü sağlayan önemli işlevler aşağıda sıralanmıştır (Branch, 1986).

- **İrtibat:** Yük sahipleri, yetkili makamlar, araçlar ve diğer liman kullanıcıları arasında haberleşmenin, liman operasyonlarının daha düzenli ve verimli ilerlemesi kritik bir önem taşımaktadır. Bu iletişim, gemilerin yanaşmasından yüklerin elleçlenmesine kadar olan her süreç için kritiktir.
- **Sığınma:** Fırtına ve olumsuz deniz koşullarında gemilerin limana sığınmalarını, demirleyebilmelerini ve gerekli hizmetleri alabilmelerini sağlamak limanların en önemli işlevleri arasındadır.
- **Seyir yardımı:** Gemilerin limana emniyetli biçimde yanaşabilmeleri için gerekli pilotaj hizmetlerinin sağlanması ve yanaşmaları için römorkaj gibi faaliyetlerinin organizasyonunu planlamak, gemilerin operasyonlarının güvenli bir şekilde gerçekleşmesini temin etmektedir.
- **İkmal:** Gemilerin yakıt, su, yiyecek ve malzeme gibi ihtiyaçlarının tedarik edilmesini sağlamak, uzun süreli yolculukların kesintisiz şekilde ilerlemesini güvence altına alır.
- **Güvenlik:** Hırsızlık ve korsanlık gibi durumlarda mücadele edilerek hem can hem de yük güvenliği sağlanmaktadır.
- **Yükleme – Boşaltma, Aktarma:** Limanlarda, gemiden gemiye, gemiden karaya ve karadan terminallere yük transfer faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi, küresel ticaretin hızlı ve sorunsuz ilerlemesini gerçekleştirmektedir.
- **Depolama, Dağıtım ve Toplama:** Yük tipine uygun depolama alanları ve hacmine uygun yapılar sunularak, farklı türdeki yüklerin etkin bir şekilde elleçlenmesi için gerekli ekipmanlar temin edilmektedir.
- **Ulusal Denetimler:** Yükün gümrük işlemleri ve kamu sağlığını güvence altına almak amacıyla gerekli denetimler yapılmaktadır.
- **İnsan Kaynakları:** Liman içi işgücünün organizasyonu yapılırken, gemi adamlarının temini, sertifikaları ve vinç operatörlerinin programlarını planlanmasıyla iş gücü verimliliği artırılır.
- **Dijitalleşme ve Akıllı Lojistik:** Gelişen teknoloji ile limanlar otomasyon, yapay zekâ, veri analizi ve blok zinciri gibi dijital çözümler kullanarak verimliliği artırılması gerçekleştirilir.

- **Çevre Koruma:** Yeşil liman anlayışı ile enerji verimliliği sağlanırken, emisyon azaltımı ve atık yönetimi gibi çevreci uygulamalar hayata geçirilir. Bu, sürdürülebilir liman anlayışının temel unsurudur.

Açıklanan işlevler çerçevesinde limanların tasarlanması ve işletilmesi sağlanmalıdır.

Limanların yoğun şekilde yaşadığı değişimle birlikte, ticari ve lojistik açıdan kritik bir önem haline gelmektedir (Branch, 1998). Limanlar yük ve yolcu akışını sağlandığı, araçlar yardımı ile kara tarafındaki tedarik zincirine dağılmakta, tam tersi istikamette deniz tarafında gerçekleşmektedir. Bu operasyonların oluşturduğu karmaşıklığın çözümünün sağlanması için, gelişen teknolojik gelişmelerim limanlara entegrasyonu hızlı bir şekilde temin edilmelidir.

Limanların ekonomik açıdan önemi hem ulusal hem de uluslararası ulaştırma sistemleri arasında birden fazla faaliyetin gerçekleşmesini sağlayan karmaşık ve entegre bir yapı oluşturmaktan kaynaklanmaktadır. Dış ticaret hacmindeki artış sayesinde limanların ekonomik hedeflere ulaşmadaki stratejik konumu ortaya konmaktadır. Bu bağlamda, limanlar sadece yüklerin taşıma alanları değil, aynı zamanda bölgesel ve küresel ticaretin akışının sağlandığı lojistik merkezler haline gelmiştir (Esmer, S., 2010).

3.1.1 Liman Endüstrisinde Yaşanan Rekabet

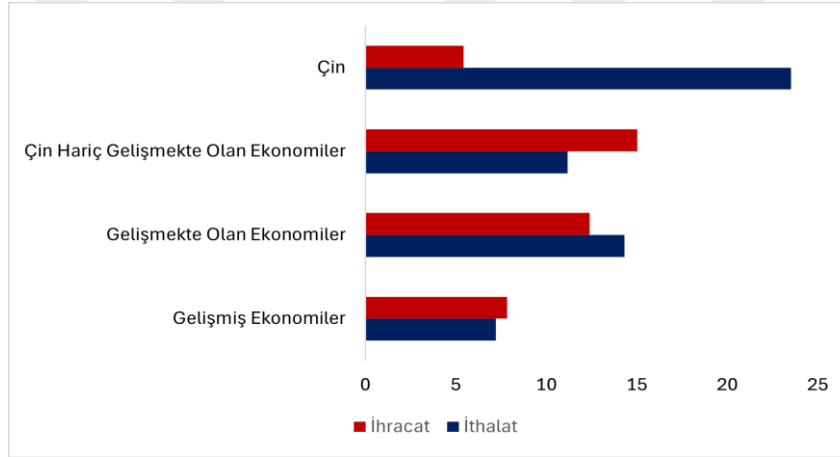
Dünyada yaşanan küreselleşme etkisi ile, işletmelerin ve ülkelerin ortak bir pazar içerisinde rekabeti artmakta ve bu durum her iki tarafın da daha fazla zorlanmasına neden olmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda, limanlar bir ülkenin gelişmişlik düzeyini ve ekonomik gücünü yansıtan belirleyici faktörleri arasında yer almaktadır. Bir ülkenin sahip olduğu liman sayısı ve limanların kapasitesi, o ülkenin hem ulusal hem de uluslararası pazardaki gücünü ve rekabet potansiyelini gösteren önemli bir kriterdir (Bayraktutan, Y., Özbilgin, M., 2013). Bu bağlamda, limanların altyapısı, teknolojik ekipmanları ve lojistik kapasitesi, ülkelerin büyümesini doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Genel olarak, gelişmiş limanlara sahip ülkeler hem rekabette avantaj sağlarken hem de bu ülkeler limanlara yapmış olduğu yatırımlar sayesinde ithalat ve ihracat süreçlerini daha verimli hale getirmektedir. Limanların stratejik önemi, küresel ticaretin yaklaşık %80' ini denizyolu taşımacılığıyla gerçekleşiyor olmasından kaynaklanmaktadır (UNCTAD, 2024).

Asya-Pasifik bölgesinden başlayıp, Latin Amerika bölgesine kadar uzanan birçok ana liman küresel ticaretin kritik noktaları olarak tanımlanması ile pazar rekabetinin en yoğun

yaşandığı yerlerdir. Bu limanlar, yalnızca kendi bölgelerinin değil, çevre bölgelerde gerçekleşen ticaretin de önemli merkezleridir. Özellikle Asya bölgesinde bulunan Şanghay limanı dünyanın en büyük konteyner limanı olarak 2024 yılında yaklaşık 50 milyon TEU konteyner hacmine sahip ilk limandır (seatrade-maritime.com, 2025). Bu durum, Çin'in gelişmekte olan ekonomiler içindeki önemli rolünü vurgulanırken, küresel ticarete gelişmiş ve Çin'in içerisinde bulunmadığı ekonomiler arasındaki rekabetin yoğunluğu göstermektedir. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi, Çin'de bulunan liman kapasitesi ve ticaretteki payı ayrışırken, diğer ekonomiler arasında belirgin bir rekabetin olduğu vurgulanmıştır (UNCTAD, 2024).

Şekil 1.1

Deniz Taşımacılığında Yaşanan Yoğunluk



Kaynak: UNCTAD (2024). Review Of Maritime Transport. Geneva: United Nations Publications

Liman sektöründe sağlanan üst düzey lojistik hizmetlere ve ulaştırma sistemlerinin birbirine sağlanan entegrasyonu ile, sektörün rekabet boyutlarında değişim önlenemez olmuştur (Yeo, G., Song, D., 2006). Özellikle konteyner limanların rekabetin boyutu giderek artmaktadır. Bu sebeple liman rekabeti beş gruba ayrılmıştır (Goss, R., 1990):

- Belirli bir kıyıda veya çevrede konumlandırılmış limanlar arası rekabet,
- Farklı ülkelerde hizmet sağlayan limanlar arası rekabet,
- Aynı ülke içerisinde hizmet sağlayan limanlar arası rekabet,
- Aynı liman içerisinde hizmet sağlayan farklı görevliler arasındaki rekabet,
- Farklı taşıma modları arasında rekabettir.

Modern zamanda, limanların rekabet üstünlüğünü farklı değişkenler belirlemektedir. Örneğin, bu değişkenler liman alanının genişleme olanağı, ekipmanların teknolojik standartlara göre sağlanması, diğer limanlara göre maliyetler ve operasyon verimliliği

olarak sıralanabilmektedir (Yeo, G., Song, D., 2015). Sözü edilen değişkenleri kapsayan ve limanların rekabet gücünün en belirleyici özelliği olarak tanımlanan liman liman seçim kriterleri aşağıda sıralanmıştır (Yeo, G., Song, D., 2015.; Esmer, S., Çetin, Ç., 2013., porteconomicsmanagement.org, 2025.):

- Fiziksel ve teknik altyapı,
- İç ve merkez nakliye yollarına göre coğrafi konum,
- Liman verimliliği,
- Limanın deniz ve kara bağlantıları,
- Çalışma hızları ve zamanları,
- Yardımcı hizmetlerin kalitesi ve maliyetler,
- Liman çalışanlarının verimliliği ve maliyetleri,
- Lojistik katma değer faaliyetlerinin kalitesi ve maliyetleri,
- Liman güvenliği,
- Limanın tanınırlığı,
- Limanın teknolojik altyapısı,
- İç taşımacılık hizmetlerinin güvenilirliği, kapasitesi, verimliliği ve maliyetleri,
- Liman rıhtım uygunluğu,
- Limanın 7/24 sağlanan hizmetlerin verimliliğidir.

Ek olarak, limanların ticaretteki anahtar rollerini yürütmek amacıyla, özel rekabet avantajlarına sahip olmalıdırlar. Bu avantajlar, limanların potansiyellerini ve yeteneklerini ortaya çıkarırken, bu yapıların rekabet ortamında öne geçmesini sağlamaktadırlar. Aşağıda bu beş avantaj açıklanmıştır (porteconomicsmanagement.org, 2025):

- **Taklit edilemezlik:** Bu avantaj, limanların sahip olduğu özelliklerini kolay bir şekilde taklit edebilmeleri ile ilgilidir. Örneğin, bir rakip liman bir başka limanın özelliğini benzetmekte zorluk yaşıyorsa, diğer liman sürdürülebilir bir rekabet avantajını sağlamış olur. Başka bir ifadeyle, bir temel özellik teknolojik gelişmelere dayanıklıysa, rakip limanların bunu taklit etme olasılığı düşüktür. Bu nedenle, bir limanın rekabet avantajını sürdürebilmesi için, ön planda olan her özelliğin gelişimini ve sürdürülebilirliğini sağlaması önemlidir

- **Dayanıklılık:** Limanların rekabet avantajının gücü, temel özelliklerinin ve yetkinliklerinin zaman içerisinde ne kadar hızlı değer kaybettiğiyle ilgilidir. Bu sebeple, liman yönetimlerinin temel kriterlerin dayanıklılığını korumak için daha fazla yatırımlar yapmaları gerekmektedir.
- **Şeffaflık:** Bir temel faktörün diğer limanlar tarafından tanınması ve uygulanıp uygulanmaması şeffaflığına bağlıdır. Rakip limanlar, liman avantajlarının kaynağını tanımlayabilirse, karşı limanın stratejilerini öğrenme olasılıklarını yakalayabilir. Bu nedenle, devamlı gelişim ve büyüme üzerine kurulu bir liman verimliliği, sınırlı şeffaflık gösterdiği sürece rekabeti sürdürebilir.
- **Transfer Edilebilirlik:** Bir limanın rekabet gücünü belirleyen faktörünün başka bir limana aktarılıp aktarılmayacağı önemli bir kriterdir. Örneğin, coğrafi konum, maliyet ve eksik bilgi gibi faktörlerden biri sebebiyle farklı bir limana taşınamazsa, rakip limanlar bu avantajı taklit edemez ve sürdürülebilir rekabet sağlanır.
- **Kopyalanabilirlik:** Bir limanın yönetimi dışarıdan kaynak ve yetenek edinmezse veya temin etmek istemezse, bu kaynağı kendi iç yatırımları ile sağlamayı deneyebilir. Bu kaynağın teminin sağlanması zorsa, rekabet avantajı daha güçlü olabilir.

Sonuç olarak, bir limanın rekabet avantajını sağlayabilmesi ve sürdürebilmesi için sürekli olarak her bir faktörünü dikkatle incelemeli ve devamlı olarak geliştirerek koruması gerekmektedir. Liman yönetimleri, bahsedilen unsurları doğru stratejilerle uyumlu hale getirerek, sadece sahip olduğu avantajları korumakla kalmaz, aynı zamanda yeni fırsatlara ve sektöre hızlıca uyum sağlama yetkinliğine sahip olurlar. Bu bağlamda, rekabetin yoğun yaşandığı global liman sektöründe, rakip limanların uzun vadeli büyüme ve pazar payı elde etmesi mümkün olacaktır.

3.1.2 Lojistik Süreçlerinde Liman Kavramının Kritik Rolü

Dünya ticaretinin genişleyen sınırlarının giderek artmasıyla, lojistik sektörü içerisinde limanların stratejik konumu daha belirgin hale gelmektedir. Bu durum, lojistik süreci içerisinde, tedarik zinciri yönetimi ve taşıma süreçlerini doğrudan etkileyen bir faktör olmuştur. Limanlar, küresel ticareti yönlendiren ve tedarik zincirini doğrudan etkileyen stratejik ana merkezlerdir. Bu merkezlerin konumlandırıldığı alanlar, yük akışının etkin bir şekilde sağlandığı, yüklerin adrese doğrudan teslim edilebildiği ve müşteri memnuniyetinin artırılabilirdiği en uygun saha olarak tercih edilmektedir. Söz konusu

eğilim, limanların lojistik faaliyetlerin gerçekleşebildiği alanlara dönüştürürken, liman merkezli lojistik kavramının literatüre kazandırmasını sağlamaktadır (Gören, H. E., Uca, N., 2021).

Lojistik kavramı, tedarik zincirinin bir alt kümesi olarak, ürün ve hizmetlerin üreticiden tüketiciye kadar gerçekleşen süreci etkin bir şekilde sağlayan yönetim alanıdır. Belirtilen süreçler, tek başına taşımacılık operasyonlarıyla kısıtlandırılmaz; bununla birlikte envanter yönetimi, depolama, sipariş işleme dağıtım gibi birçok faaliyeti kapsamaktadır (Chopra, S., Meindl, P., 2016). Lojistik operasyonların verimli bir şekilde yönetilebilmesi için stratejik açıdan önemli olan limanların uygun lokasyonlara konumlandırılması kritik önem taşımaktadır. Sonuç olarak, limanları yalnızca yük elleçleme alanları olarak düşünmek yerine, entegre lojistik hizmetlerin gerçekleştiği ve tedarik zincirinin etkin yönetildiği merkezler olarak dikkate alındığında liman odaklı lojistik modeli ön plana çıkmaktadır.

Liman odaklı lojistik, limanların sadece yük transferi merkezleri olmalarının dışında; kombine taşımacılık, depolama, elleçleme ve diğer lojistik hizmetleri entegre edildiği geniş çaplı yapılar haline dönüştürülmesidir (Notteboom, T., Rodrigue, J-P., 2005). Bu kavram, uluslararası ticaret hacminin artması ve tedarik zincirinin komplike durumunun artmasıyla birlikte limanların lojistik süreçlerde rolünü stratejik hale getirmiştir (Slack, B., 2010). Limanlarda sağlanan hizmetlerin verimliliğinin sağlanmasıyla birlikte, eksiklerin giderilmesi ve altyapının güçlendirilmesi, tedarik zincirinin faaliyetlerinin etkin ve verimli bir şekilde ilerlemesine olanak tanımaktadır (Wang, S., Huang, Y., Qu, T., 2016). Bu çerçevede, liman odaklı lojistik yaklaşımlarını uygulanması, hem lojistik maliyetlerin azalmasına hem de hizmet kalitesinin artmasına olanak taşımakta; bu sayede limanlar rekabet avantajı elde etmektedir (Lam, J. S., Yap, W. Y., 2011; Ng, A. K. Y., 2013).

Örneğin, Türkiye'nin en önemli konteyner limanlarından biri olan Mersin Limanı, liman odaklı lojistik yaklaşımının geliştiği uygulamalardan biridir. Gümrük faaliyetlerin dijitalleşmesi, liman içi alanların kara ve demiryolu bağlantılarının güçlendirilmesiyle liman alanlarında depolama, elleçleme ve dağıtım gibi faaliyetlerin gerçekleşmesi sağlanmıştır. Ek olarak, serbest bölge uygulamasıyla üretici ve ihracat firmalarının zaman ve maliyet avantajı elde etmesi, bu limanın entegre bir lojistik merkez haline dönüşmesine olanak taşımıştır (TCDD, 2022). Bu faaliyetler, liman etrafında toplanmış lojistik

operasyonlar hem bölgesel kalkınmaya hem de ülkelerin ticaretine önemli katkılar sağlamaktadır.

Ancak liman odaklı lojistik kavramının dönüşmesi sürdürülebilir olarak ilerleyebilmesi için birtakım yapısal zayıf noktaların iyileştirilmesi gerekmektedir. Özellikle kara ve demiryolu bağlantılarının yetersizliği, limanların hizmet alanları ile entegre olarak çalışmasını engellemektedir. Ayrıca lojistik süreçleri yürütecek altyapısının birçok limanda sınırlı olması, limanın operasyon verimliliği azaltmakta ve maliyetleri artırmaktadır (UNCTAD, 2023). Bu çerçevede, dijitalleşme ve otomasyon süreçlerinin iyileştirilmesi, süreçlerin hızlanması ve maliyetlerin azaltılması, liman odaklı lojistik açısından kritik bir rol oynadığı görülmektedir. Akıllı liman uygulamalarının benimsenmesi, limanların hinterland bağlantılarını güçlendirmekte ve lojistik faaliyetlerinin verimliliğini sağlamaya yönelik belirleyici bir unsur haline gelmiştir. Örneğin, Singapur Limanı'nın dijitalleşmesi sayesinde lojistik süreci boyunca veri paylaşımına olanak tanıyarak, limanın verimliliğini önemli ölçüde artırmıştır.

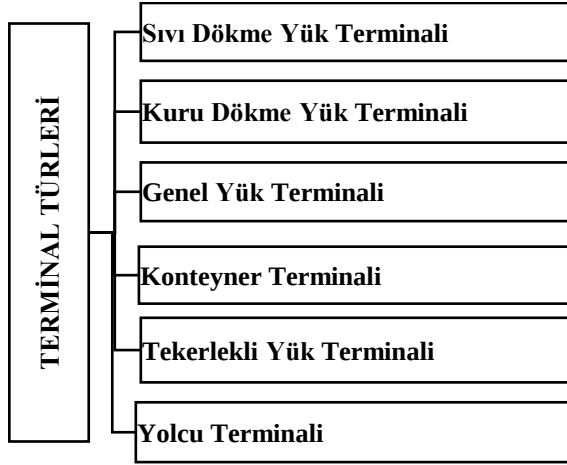
Sonuç olarak, liman odaklı lojistik kavramı, sadece taşımacılık operasyonlarını gerçekleştirmediği; üretim, depolama ve dağıtım süreçlerinin de dönüştürüldüğü kapsamlı bir model değişimini ifade etmektedir. Türkiye ve Çin gibi stratejik bit coğrafi konuma sahip ülkelerde bu kavramın başarılı uygulanabilmesi; altyapı yatırımları, limanların dijitalleşme ve lojistik mevzuatın güncellenmesi gibi konulara öncelik verilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, limanların sadece fiziksel olarak büyümesi yeterli olmamakta; aynı zamanda liman odaklı lojistik kavramının uygulanması, limanların tedarik zincirinde aktif bir parçası haline gelmesini ve lojistik ağlarla entegre olarak çalışabilmesine olanak tanımaktadır.

3.1.3 Liman Terminal Türleri

Liman terminalleri, deniz taşımacılığı ve lojistik faaliyetlerinde önemli rol alan, rekabet gücünün en önemli merkezi ve yüklerin elleçleme-depolama işlemlerinin gerçekleştiği tesislerdir. Bir terminal işletmesi, deniz taşımacılığının gerçekleştiği, gemilerle getirilen yüklerin rıhtım operasyonlarının gerçekleştiği, yüklerin elleçleme işleminin gerçekleştiği ve depolanmasının sağlandığı merkezlerdir. Şekil 3.2' de bu merkezler altı kategoriye bölünmüştür. Aşağıda bu kategoriler açıklanmıştır:

Tablo 1.2

Liman Terminal Türleri



Kaynak: Esmer, S., s. 83.

- **Sıvı Dökme Yük Terminali:** Sıvı dökme yük taşıyan gemilerin operasyonlarının gerçekleştiği alanlardır. Genel olarak, sıvı yük terminalleri yük yapılarına göre inşa edilir. Bunun sebebi, LNG, LPG ve kimyasal yüklerini elleçleme yapılması için boru hatları ve tank çiftliği gibi terminal donanımına ihtiyacı olmasıdır. Bu terminallerde elleçlenen yükler büyük ölçüde tehlikeli madde olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, güvenlik önlemleri yüksek seviyededir (Esmer, S., 2019).
- **Kuru Dökme Yük Terminali:** Büyük ve küçük parçacıklı dökme yüklerin elleçlendiği terminallerdir. Bu terminallerde, elleçleme işlemi rıhtım vinçleri ve kuru dökme yükleri kavrayan mekanizmalar kullanılmaktadır (Esmer, S., 2019).
- **Genel Yük Terminali:** Parça yük ve özel yüklerin elleçlenmesinin gerçekleştiği merkezlerdir. Yükün gemiye yüklenmesi ve tahliyesi rıhtım vinci ya da geminin kendi vinci ile gerçekleşmektedir (Esmer, S., 2019).
- **Konteyner Terminali:** Sadece konteyner elleçlemek amacıyla inşa edilmiş terminal türüdür. Bu terminalde, konteyner hariç başka yük elleçlenmesi gerçekleşmemekte ve konteynerlerin depolanmasını sağlayan alanlar mevcuttur (Esmer, S., 2019). Bir sonraki bölümde, konteyner terminalleri detaylı olarak bahsedilecektir.
- **Tekerlekli Yük Terminali:** Gemiden indirilen ve yüklenmesi gerçekleştirilecek tır, otomobil ve ticari araçlar gibi ekipmanların geçici depolanmasının sağlandığı terminallerdir. Bu tür terminallerde, araçların sürücü yardımıyla elleçlenmesinin gerçekleştiği için vinç ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Esmer, S., 2019).

- **Yolcu Terminalleri:** Yolcu taşıyan gemilere hizmet sağlayan alanlardır. Geniş otopark ve yolcu bekleme salonlarına sahiptir. Kruvaziyer gemilerinin kendi donanımları ile operasyonlar gerçekleştiği için rıhtım ekipmanları kısıtlıdır.

3.2 Konteyner Terminallerinin Yapısı ve İşleyişi

3.2.1 Konteyner Terminal Kavramı ve Stratejik Önemi

Ekonomik olarak dünya ticareti, giderek tüketiciye yönelik nihai ürünlere doğru odaklanmaktadır (Esin, G., 2017). Bu doğrultuda, uluslararası gerçekleşen ticaretin yönü denizyolu taşımacılığına evrilmiştir (UNCTAD, 2023). Bugün geline noktada taşımacılığın büyük bir kısmı, "konteyner" adı verilen özel kutular aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Taşımacılık şirketlerinin konteynerler kullanımını tercih etmesinin nedenleri; emniyetli, güvenli ve sağlam taşımacılık imkânı sunması ile gemiden-gemiye ya da gemiden dağıtım araçlarına aktarımının kolaylığı olarak söylenebilir (Esin, G., 2017).

Konteyner terminalleri, gemi, saha ve kapı operasyonlarının entegre bir şekilde sağlandığı, teknolojik donanım ve mekanizasyonlar ile koordinasyon gerektiren lojistik merkezleridir (Notteboom, T., Rodrigue, J.-P., 2022; UNCTAD, 2023). Bu terminaller, sadece aktarma operasyonlarının gerçekleştiği merkezler değil, ek olarak küresel tedarik zincirinin işleyişini verimli bir hale getirilmesini sağlayan stratejik altyapı unsurlarıdır. Konteyner terminallerinde, gerçekleşen konteynerlerin elleçleme operasyonlarının, geçici depolama faaliyetlerinin ve iç taşıma modlarına aktarım süreçlerinin koordine şekilde yönetimi, zaman ve maliyet açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Dooms, M., 2019).

Konteyner terminallerinin stratejik önemi, bulundukları coğrafi konumu, liman içi bağlantıları, transit olarak geçiş rotalarında yakınlığı ve çoklu taşımacılık sistemleriyle olan koordinasyonları doğrudan ilişkilidir (Rodrigue, J.-P., 2020). Özellikle dünya ticaretinin %80' inden fazlasının denizyolu taşımacılığı ile sağlanması dikkate alındığında; terminallerin bulundurdıkları özellikler rekabet avantajını sağlamada ön plandadır (UNCTAD, 2023). Bu çerçevede, konteyner terminallerinin teknik kapasiteleri (yük elleçleme ekipmanları, depolamaları elemanları, rıhtım uzunluğu, otomasyon sistemleri vb.), operasyonel verimlilik ve sundukları hizmet çeşitliliği, onların uluslararası tedarik zincirinde tercih edilen merkezler haline getirmekte ve bu zincirdeki

rollerini daha stratejik bir konuma taşımaktadır (Notteboom, T., Rodrigue, J-P., 2012; UNCTAD, 2023).

Sonuç olarak, konteyner terminalleri sadece fiziksel yük aktarma merkezleri değil, aynı zamanda bir ülkenin ekonomik avantajlarını sağlayan kritik lojistik merkezlerdir. Coğrafi avantajlar, teknolojik altyapı kapasitesi ve çok modlu taşımacılık sistemleri ile entegrasyonu gibi faktörler, bu terminallerin küresel pazarda rekabet gücünü belirlemektedir. Bu sayede, konteyner terminallerin gelecekteki başarısı, dijitalleşme ve yeşil liman uygulamaları gibi alanlara yapılacak yatırımlarla doğrudan etkilidir.

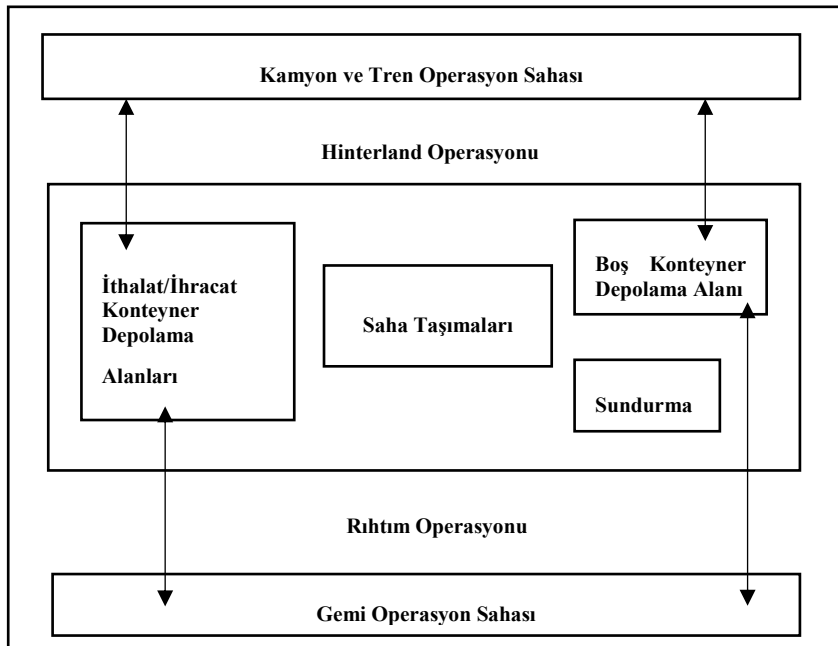
3.2.2 Konteyner Terminal Operasyonları

Konteyner terminalleri, deniz ve kara arasında yük akışının gerçekleştiği alanlardır. Bu terminaller, gemilerin elleçleme operasyonlarının gerçekleştiği rıhtım bölgesi ve konteyner işlemlerinin yürütüldüğü alanlardan oluşmaktadır.

Konteyner terminal operasyonları genel kargo operasyonlarına göre daha karmaşıktır. Bu sebeple, konteynerlerin özelliğine göre depolama alanları oluşturulmalıdır. Bu operasyonlar, deniz ve kara yönlü olarak iki şekilde ayrılırken, konteyner türlerine göre de gruplandırılır (Çağlar, V., 2012).

Şekil 1.2

Bir Konteyner Terminalinin Operasyon Süreç Aşamaları



Kaynak: Kim, K.H., Günther, HO. (2007), s.6.

Şekil 3.2' de görüldüğü gibi, konteyner terminallerinde gerçekleşen operasyon akışı gemi operasyon sahasından başlayarak, rıhtım, saha, hinterland ve kamyon sahalarında sırayla ilerlemektedir. Bu sahalara gelen konteynerler gerekli işlemlerden sonra depolama alanlarına yerleştirilmektedir. Diğer terminallerin aksine konteyner terminallerinde işlemler daha uzun sürebilmektedir (Baykal, R., 2012). Bu işlemler, gemi ve kara operasyonları olarak ikiye ayrılırken, konteyner türüne göre de ayrılabilir. Aşağıda kısaca bu operasyonlar tanımlanmıştır.

- **Deniz yönlü operasyonlar:** Limana gelen konteyner yüklü geminin elleçleme işlemlerinin gerçekleşip limanı terk etmesine kadar gerçekleşen aşamalara deniz yönlü operasyonlar olarak adlandırılmaktadır. Bu operasyonlar; rıhtım planlaması, vinç tahsisi, elleçleme işlemleri ve konteynerlerin depolama sahasına taşınması gibi faaliyetlerden oluşmaktadır. Gemi yönlü operasyonların verimli yürütülmesi, terminalin genel performansını doğrudan etkileyen faktörlerden biridir (Steenken, D., Voß, S., Stahlbock, R., 2005; Kim, K.H., Park, Y. (2004); Çağlar, V., 2012).
- **Kara yönlü operasyonlar:** Limana deniz yolu ile gelen konteyner yüklerinin kara ya da demiryolu ile limanı terk etmesi süreçleri olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçlerde kapı kontrol sistemleri, araç zaman planlamaları ve elleçleme ekipmanlarının kullanımı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca kara yönlü operasyonlar, tedarik zinciri sürecinin en önemli kısmı olarak bilinmektedir (Ng, W. C., Mak, K., 2005; Bish, E. K., Chen, F. Y., Leong, Y. T., Nelson, B. L., Ng, J. W. C., Simchi-Levi, D. 2005; Çağlar, V., 2012).
- **Dolu konteyner operasyonları:** Yük dolu konteynerlerin liman sahası içerisinde elleçlenme faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu süreç; elleçleme faaliyetinin planlanması, depolama alanı yönetimi, taşıma ve transfer optimizasyonu, süreç simülasyonu ve süreç analizi gibi kara süreç sistemlerini içermektedir (Murty, K. G., Liu, J., Wan, Y., & Linn, R., 2005; Çağlar, V., 2012).
- **Boş konteyner operasyonları:** Taşıma sürecinde gerçekleşen kazalar sonucu ya da liman içinde boşaltımı sağlanan konteynerlerden ortaya çıkan boş konteynerlerin faaliyetlerini içermektedir. Genel olarak konteynerlerin yeniden dolumu veya başka bir limana sevk edilmesi ile tamamlanmaktadır. Bu faaliyetlerin etkili stok ve saha yönetimi ile bir karışık çıkmasının engellenmesi

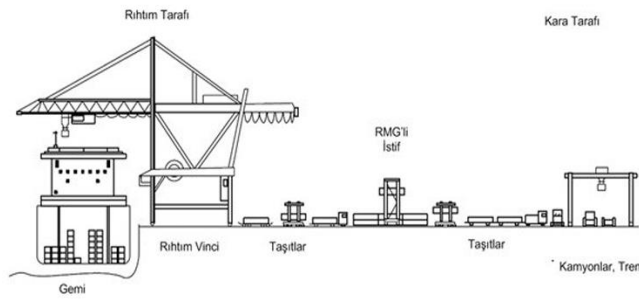
stratejik olarak kritik bir öneme sahiptir (Song, D. P., Dong, J. X., 2015; Çağlar, V., 2012).

- **Transit konteyner operasyonları:** Bu operasyonlar, bir limanı nihai varış noktası olmadan geçici olarak kullanılan konteynerleri kapsamaktadır. Genel olarak, gemiden indirilen konteynerin bir başka gemiye aktarımı veya bir süre depolama sahasında bekletilmesi sağlanmaktadır. Transit konteyner operasyonlarının terminallerinin ve elleçleme süreçlerinin minimum açıdan gerçekleşmesi, hem maliyet hem de zaman açısından büyük avantaj sağlamaktadır (Notteboom, T., Rodrigue, J. P., 2005; Çağlar, V., 2012).

Şekil 3.4 'de yukarıda bahsedilen operasyonların şematik olarak gösterimi özetlenmiştir.

Görsel 1.1

Konteyner Terminal Faaliyetleri



Kaynak: Vis, I. F.A., de Koster, R., 2003, s. 3; Esmer, S., 2010, s. 47.

3.2.3 Konteyner Terminallerinde Kullanılan Ekipmanlar

Konteyner terminallerinin verimliliğini etkileyen etmenlerden biri yük elleçleme ekipmanlarıdır. Gemi ve kara yönlü operasyonların sağlanabilmesi için kullanılan birçok elleçleme ekipmanları bulunmaktadır. Bu bölümde konteyner terminal operasyonlarında kullanılan ekipmanlar incelenecektir.

3.2.3.1 Rıhtım Vinci

Rıhtıma yanaşan gemilerin tahliye işlemleri için kullanılan rıhtım vinçlerinin asıl amacı, konteyner gemilerinin limana yanaşmasıyla birlikte hızlı ve güvenli şekilde yük elleçlenmesini sağlamaktır. Bu vinçler, konteynerlerin gemiden karaya aktarımı sırasında kritik rol almaktadır. Rıhtım vinçlerinin birim zaman içerisinde gerçekleştirdiği hareket sayısı, liman operasyonlarının verimliliğini gösteren bir performans ölçütüdür.

- **Gantry Vinç:** Üstten köprülü, iki ya da daha fazla ayaklı zemine sabitlenen ve ayaklar sayesinde yatay hareket edebilen vinçler olarak tanımlanmaktadır. Gantry vinçleri, "Ship-to-Share" (STS) tipiyle bilinmekte ve raylı sistemleriyle büyük konteyner gemilerine doğrudan erişim sağlayabilmektedir. Operasyonel verimlilik amacıyla birçok modern gantry vinci yarı otomatik ya da tam otomatik sistemlerle donatılmaktadır ( ağlar, V., 2012).

Görsel 1.2

Gantry Vinci (STS)



Kaynak: <https://www.liebherr.com>

- **Gezer Vinç (MHC):** Hareketli yapıları sayesinde farklı elleçleme pozisyonlara kolayca yerleştirilebilen, Gantry vinçlere göre daha düşük ağırlığa sahip gezer vinçler olarak tanımlanabilmektedir. Bu vinçlerin, kolay taşınabilirliği ve gerekli zaman içerisinde rıhtımlar arası farklı proje yüklerinde kullanımıyla daha avantajlıdırlar ( ağlar, V., 2012).

Görsel 1.3

Gezer Vinç (MHC)



Kaynak: <https://www.liebherr.com>

3.2.3.2 Köprü Vinci

Köprü vinci, konteynerlerin depolama alanlarına istiflenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Blok halinde oluşan depolama alanı içinde hareket etmektedir. Bu vinçler, hareketli lastik tekerlekli (RTG) ve sabit raylar üzerinde (RMG) hareket eden olarak ayrılmaktadırlar.

- **Lastik Tekerlekli Köprülü Saha Vinci (RTG):** Lastik tekerlekli köprülü vinçler, terminal sahalarında çekici ve vagonlara konteyner elleçleme ve sahada depolama işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu vinçler, genel olarak büyük ve çok büyük konteyner limanlarında bulunmaktadır. 6+1 sıraya kadar yan yana ve 4+1 sıraya kadar olmak üzere konteyneri üst üste istifleyebilmektedir (Çağlar, V., 2012).

Görsel 1.4

Lastik Tekerlekli Köprülü Saha Vinci (RTG)



Kaynak: <https://www.liebherr.com>

- **Raylı Köprülü Saha Vinci (RMG):** RMG, lastik tekerlek yerine sabit rayla üzerinde sağa ve sola hareket eden saha ekipmanıdır. Sabit ray üzerinde hareket ettiği için, RMG' nin yapısı terminal sahasına göre belirlenmektedir. Genellikle demiryolu bağlantılı terminal faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Çağlar, V., 2012).

Görsel 1.5

Raylı Köprülü Saha Vinci (RMG)



Kaynak: <https://www.liebherr.com>

3.2.3.3 Taşıyıcı İstifleyici (SC)

Taşıyıcı istifleyici (SC), konteynerlerin terminal içinde taşınması ve depolama operasyonlarının gerçekleşmesini sağlayan bir ekipmandır. Bu ekipman, esnek ve seçenek gerektiren orta ve büyük yapıllı konteyner limanlarında kullanılır. SC' ler özellikle gemiden indirilen konteynerlerin geçici depolanması ya da başka bir sahaya veya taşıta taşınmasında aktif rol almaktadır. Ayrıca, sabit vinç sistemlerine göre daha esnek olmalarından dolayı, konteyner operasyonlarında daha sahalarında daha verimli kullanılmalarına sağlamaktadır (Rodrigue, J.-P., 2020; UNTACD, 2021).

Görsel 1.6

Taşıyıcı İstifleyici (SC)



Kaynak: <https://www.kalmarglobal.com>

3.2.3.4 Dolu Konteyner İstifleme Ekipmanı (RS)

Liman sahası ve depolama sahaları arasında dolu konteynerlerin elleçlenmesini sağlayan ekipmandır. RS' ler, konteynerleri hem yatay hem de dikey hareket ettirmeleri özelliği sayesinde, sahada verimliliği desteklemektedirler. Genel olarak 5. Sıraya kadar konteynerleri yerleştirebilen bu araçlar, sabit vinçlere göre daha mobil ve ekonomik bir çözüm sunmaktadırlar (UNCTAD, 2021; Notteboom, T., Rodrigue, J.-P., 2012).

Görsel 1.7

Dolu Konteyner İstifleme Ekipmanı (RS)



Kaynak: <https://www.kalmarglobal.com>

3.2.3.5 Boş Konteyner İstifleyici (ESC)

Boş konteyner istifleyiciler, RS' lere benzer yapıya sahip olmakla birlikte, yapısı bakımından daha hafif konteynerleri taşımak amacıyla tasarlanmıştır. ESC' ler, boş konteynerlerin istifleme operasyonlarını hızlı biçimde yürütmeleri, terminal sahasının verimli kullanmasını doğrudan etkilemektedir. Özellikle yüksek istifleme kapasiteleri (6 ile 8 konteyner) ve hızlı çevrim süreleriyle, liman operasyonlarının sürdürülebilirliği olumlu etkilemektedirler (Rodrigue, J.-P., 2020; Boske, L. B., Cuttino, J. F., 2011).

Görsel 1.8

Boş Konteyner İstifleyici (ESC)



Kaynak: <https://www.kalmarglobal.com>

3.2.3.6 Forklift

Forkliftler, konteyner iç yükleme ve boşaltma operasyonlarında en uygun ve en çok tercih edilen ekipmanlardır. Bu araçlar, terminal sahasında paletli yüklerin taşınmasında, küçük ölçekli yüklerin elleçlenmesinde önemli rol almaktadırlar. Düşük bakım maliyetleri ve operatör dostu tasarımlarıyla forkliftler, terminal içi operasyon süreçlerinde verimliliği

artırmada önemli bir çözüm yolu sunmaktadırlar (Rushton, A., Croucher, P., Baker, P., 2014; Wood, D. F., Barone, A. P., Murphy, P. R., Wardlow, D. L., 2002).

Görsel 1.9

Forklift



Kaynak: <https://www.kalmarglobal.com>

3.2.3.7 Çekici ve Şasiler (Terminal Trackor & Chasis)

Terminal çekici ve şasiler, konteyner terminal sahaları içinde konteynerleri bir noktadan başka bir noktaya taşımasında kullanılan temel operasyon araçlarıdır. Bu araçlar, gemi-vinç operasyonları ile depolama alanları arasında konteyner transferinde kullanılmaktadırlar. Düşük hızda yüksek manevra özellikleri sayesinde, konteyner akışını hızlandırarak operasyonel sürekliliği sağlamaktadırlar (UNTACD, 2021; Rodrigue, J.-P., 2020).

Görsel 1.10

Çekici ve Şasiler (Terminal Trackor & Chasis)



Kaynak: <https://www.kalmarglobal.com>

3.2.4 Konteyner Terminallerinde Operasyonel Verimlilik Göstergeleri

Verimlilik, belirli bir çıktı düzeyine ulaşmak amacıyla kullanılan kaynakların etkinliğini tanımlamaktadır. Ayrıca verimlilik, üretim sürecinde girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi ölçerek, ekonomik performansı değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (OECD, 2001). Bu nedenle verimliliğin artışı, sadece nicel çıktıların artırılması ile değil, aynı zamanda

kalite, zaman ve maliyet gibi faktörlerin optimize edilmesini kapsamaktadır. Bu kavram sadece üretim sektörü için değil; ek olarak hizmet, lojistik ve ulaşım gibi sektörlerde temel performans göstergelerinden biri olarak rol almaktadır.

Denizyolu taşımacılığının ayrılmaz yapı taşlarından biri olan limanlar için verimlilik kavramı, sektörde yaşanan rekabet gücü açısından kritik önemlidir. Limanların karmaşık ve dinamik yapısı olmasından kaynaklı limanın performans verimliliğinin ölçümü çoklu kriterlerle değerlendirilmesi amaçlanmaktadır (Esmer, S., 2019). Bu bağlamda, konteyner terminallerinin verimliliği, ağırlıklı olarak yük elleçleme hacmi, gemilerin bekleme süreleri, terminal ve hizmet kapasitesi gibi faktörlerin analizi üzerinden gösterilmektedir (Notteboom, T., Rodrigue, J. P., 2005). Konteyner terminallerin verimliliği, sadece fiziksel kapasitesinin analizi ile değil, aynı zamanda bilgi teknolojilerin entegrasyonu ve lojistik süreçleri gibi kriterleri de içermektedir (Zhu, Z., Ma, Z., Zhang, Y., 2017). Bu sebeple, konteyner terminallerinin verimliliği kapsamlı ve dinamik bir yaklaşım gerekmektedir.

Konteyner terminallerinin verimliliğinin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli performans kriterleri kullanılmaktadır. Şekil 13' deki bu kriterler hem terminal içi hem de müşteri hizmetlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (UNCTAD, 2024).

Tablo 1.3

Konteyner Terminali Verimlilik Göstergeleri

Gösterge Adı	Tanımı	Kapsam
Gemi Elleçleme Hızı	Bir geminin limanda kalma süre boyunca elleçlenen konteyner sayısıdır.	Operasyonel/Ekonomik
Vinç Başına Verimlilik	Saatte bir vinçle elleçlenen konteyner adedidir.	Ekipman Performansı
Terminal Alanı Verimliliği	Belirli bir terminal alanında günlük veya yıllık elleçlenen TEU miktarıdır.	Altyapı Kullanımı
Kapı İşlem Verimliliği	Kara taşıtlarının giriş/çıkış işlemlerinde ortalama işlem süresidir.	Lojistik Operasyon
Aktarma Süresi	Konteynerin terminalde kaldığı ortalama süredir.	Lojistik Verimlilik
Elleçleme Süresi	Bir gemideki yükleme/boşaltma sürecinin tamamlanma süresidir.	Operasyonel/Zaman Yönetimi

Bekleme Süresi	Gemi veya kara taşıtlarının hizmet almadan önce bekledikleri süresidir.	Hizmet Kalitesi
İş Gücü Verimliliği	Bir personel başına düşen yıllık konteyner (TEU) elleçleme miktarıdır.	Ekonomik/İnsan Kaynakları

Kaynak: UNCTAD, 2024, (<https://sft-framework.unctad.org/key-performance-indicators>). UNCTAD, 2024, (<https://tft.unctad.org/thematic-areas/port-management/port-performance-scorecard>).

Farklı olarak, konteyner terminallerindeki operasyonel performans göstergeleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Brooks, M. R., Pallis, A. A., 2008; Bartan, D., 2007; Dowd, T.-J., Leschine, T.-M., 1989; Fourgeaud, P., 2000):

- **Yıllık elleçlenen toplam konteyner içinde 40' lık/20' lik konteyner yüzdesi:** Terminalin yıllık olarak elleçlenen konteyner arasında 20' lik konteyner oranı, taşıma tercihleri ve terminalin yük yapısı hakkında bilgi sunmaktadır.
- **Her bir TEU' dan elde edilen ortalama gelir:** Finansal verimliliğe dair bir göstergeden oluşmaktadır. Toplam yıllık liman gelirinin aynı yıl içinde elleçlenen TEU sayısına oranlanmasıyla bulunmaktadır.
- **Her 100 harekette geminin rıhtımda ortalama bekleme süresi (saat):** Operasyonel hızın analizinde kullanılmaktadır. Rıhtım operasyonunda gerçekleşen her 100 konteynerlik faaliyet başına geminin ne kadar süre beklediğinin göstergesidir.
- **Ortalama saha işgal etme süresi (saat):** Yüklerin terminal sahasında gereksiz süreler içerisinde kalıp kalmadığını göstermektedir. Bir konteynerin sahada bulunma süresi ile saha alanına oranını ifade etmektedir.
- **Konteyner elleçleme hızı (TEU / Rıhtım Uzunluğu(m) / Yıl):** Altyapı kullanım yoğunluğudur. Birim rıhtım uzunluğunun yılda ne kadar konteyner elleçlendiğini göstermektedir.
- **Limandan ayrılma süresi (saat):** Geminin limana vardıktan sonra ayrılışına kadar olan geçen süreyi ifade etmektedir. Bu göstergenin kısa olması, terminalin verimli faaliyet içinde bulunduğunu göstermektedir. Liman içi operasyonel koordinasyon, yükleme-boşaltma verimliliği ve terminalde oluşan trafik yoğunluk hakkında bilgi sağlamaktadır.
- **Yıllık TEU elleçleme gelişimi (%):** Limanın bir yıl içinde elleçlenen toplam TEU miktarının, bir önceki yıla göre artış veya azalış oranıdır. Bu gösterge,

limanın büyüme hızını ve sektördeki payının değişimin analizinde kullanılmaktadır.

- **Toplam konteyner içinde ithal konteyner oranı (%):** Terminalin dış ticaret yönetimi ve iş hacmi hakkında bilgi vermektedir. Toplanan elleçlenen konteyner sayısı içinde ithalat amaçlı gelen konteynerlerin yüzdesidir.
- **Her bir vincin saatlik hareket sayısı:** Ekipman performansını ve iş gücünü doğrudan yansıtan, operasyonel verimliliğinin göstergesidir. Her bir vinç tarafından bir saat içerisinde gerçekleştiği ortalama konteyner miktarıdır.
- **Saha (hektar) ile rıhtım (m) oranı:** Terminal sahasının rıhtım uzunluğu oranıdır. Bu oran, terminalin alan kullanım dengesini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, sahanın yeterli büyüklükte olması konteynerlerin hızlı tahliye edilmesini kolaylaştırmaktadır.
- **Her bir gemi için ortalama döngü süresi:** Bir geminin limana yanaşması ile ayrılması arasında geçen toplam süreyi ifade etmektedir. Döngünün kısa olması, hizmetin hızlı ve verimli olduğunu göstermektedir.
- **Haftada limana gelen gemi sayısı:** Bir hafta içerisinde limana uğrayan gemi sayısıdır. Bu veri, limanın trafiği ve iş hacmi hakkında bilgi sunmaktadır.
- **Gemilerin demirde ortalama bekleme süresi:** Geminin limana ulaştıktan sonra rıhtıma yanaşmak için denizde beklediği ortalama süresidir.
- **Rıhtımın faydalı kullanım oranı (%):** Rıhtıma yanaşan gemilerin toplam rıhtım süresinin, operasyonel faaliyet süresine oranıdır.
- **Aylık ekipman durdurma saati:** Limanın ekipmanları bakım, onarım veya arıza nedeniyle çalıştırmama durumunu göstermektedir.
- **Rıhtım uzunluğu (m):** Limanda hizmet sağlayan rıhtımların toplam uzunluğudur. Bu uzunluk, limanın aynı anda kaç gemiye hizmet sağlayacağını belirlemektedir.
- **Elleçlenen her bir tondan elde edilen kazanç:** Finansal verimlilik ve operasyonel karlılığını göstermektedir. Bu kazanç, yıllık liman geliri ile aynı yıl elleçlenen konteynerin toplam tonajının oranlanması ile hesaplanmaktadır.
- **Servis süresi:** Geminin rıhtımda ne kadar kaldığının toplam süresidir. Operasyonel planlama verimliliği bu göstergeyle analiz edilmektedir.

- **Yanaşma yeri kullanımı:** Rıhtımın yıllık kullanılabilir süresine (365 gün x 24 saat) göre kullanım oranıdır.
- **Bekleme süresi:** Geminin uygun rıhtım için sırada bekleme süresini ifade etmektedir. Liman kapasite yetersizliği ve rıhtım tahsis planlama başarısının analizinde kullanılmaktadır.
- **Dolu konteyner / boş konteyner oranı:** Elleçlenen konteynerlerin içerisinde dolu konteynerlerin oranıdır. Boş konteynerlerin gelir getirmediği hesaba katılırsa, zaman ve ekipman kullanım verimliliğini doğrudan etkilemektedir.
- **Verimsiz taşımalar:** Boş, hafif veya üst güverteye konan konteynerlerin elleçlenmesi faaliyetleri gibi fayda sağlamayan hareketleri kapsamaktadır.
- **Konteyner yükleme-boşaltma / aktarma sayısı:** Elleçlenen toplam konteyner içerisinden terminal depo alanına konumlandırma veya başka gemiye transfer gibi aktarma hareketlerinin oranıdır.

Yukarıda bahsedilen konteyner terminal için operasyonel verimlilik faktörlerinin, terminal performansının analiz edilmesine olanak sağladığı ve analiz sonuçlarına göre iyileştirme fırsatları sunduğu görülmektedir. Çalışmanın dördüncü bölümünde gerçekleşecek olan Şanghay ve Mersin konteyner terminallerinin verimlilik analizinde bu göstergelerin bazıları referans alınarak değerlendirilmede bulunulmuştur.

4 KONTEYNER TERMİNALLERİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ

Konteyner terminalleri, uluslararası ticaretin önemli alanlarından biri olup, aynı zamanda lojistik faaliyetlerin hızlı ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu terminallerin verimlilik analizi, liman faaliyetlerinin verimliliğini artırmak ve kaynakların optimum şekilde kullanılmasını amaçlayan önemli bir disiplin içinde değerlendirilmektedir (Notteboom, T., 2006). Bu analizler, çok sayıda değişkenin ve komplike süreçlerin bir arada ilerlerken değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum, sağlanan verilerin belirsiz ve bulanık olmasından dolayı, araştırmacıları ve karar vericileri analiz sürecinde daha gelişmiş ve modern modellere yönlendirmektedir.

Literatür incelendiğinde, belirsizlik gibi durumları yönetebilmek için farklı yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir. Bu noktada, bulanık mantık teorisi ve bu teori içerisinde analizlerin modellenbildiği farklı modeller ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, Mersin Uluslararası Limanı ve Şanghay Limanı analizi sürecinde bulanık tabanlı AHP ve Fermatean COCOSO yöntemler seçilmiştir. İlk olarak uygulama aşamasında kullanılan modeller tanıtılmış; sonraki aşamada bu iki konteyner limanlarının analizi veri odaklı modellerle değerlendirilmiştir.

4.1 BULANIK MANTIK TEORİSİ

4.1.1. Klasik Mantık ve Klasik Küme Kavramı

Arapça “Söz Söyleme Sanatı, Nutuk”, Yunanca “Logos” anlamlarına gelen mantık; akıl, akıl yürütme, düzen, ilke ve düşünmeyi ifade etmektedir. Mantık, doğru kılavuzlardan doğru sonuçlar çıkartma yollarını inceleyen bir disiplindir (Erdin, 2007). Geçmişten günümüze kadar düşünmenin ve akıl yürütmenin kurallarını araştıran mantık, “doğru düşünmenin bilimi” olan klasik mantığın temelini oluşturmaktadır.

Aristoteles mantığı olarak bilinen klasik mantık, aslında ikili bir yapıya dayanır ve doğru ile yanlışın kesin olarak ayrıldığı varsayımını kabul etmektedir. Bu perspektif, Aristoteles geleneğini temel alarak, doğru ve düzenli akıl yürütme formlarını incelemektedir.

Klasik mantık ile sembolik mantık arasındaki fark, klasik mantığın dilsel olarak ifade edilmesidir. Bunun nedeni, Aristoteles’in doğru düşünme biçimlerini ele alırken düşünme ve dil arasında kesişim olduğunu vurgulamıştır. Bu sebeple, klasik mantık hem dilsel hem de içeriksel olma özelliğine sahiptir. İçeriksel özellikten kasıt, düşünmenin, dilin ve varlığın aynı kategorilere sahip olmasıdır. Aynı zamanda, Aristoteles klasik mantık ve

bilimin yakın bir ilişkiye sahip olduğu, bilimin ulaştığı sonuçları formüle etmek için kullanabilecek bir araç olarak gördüğünü ifade etmiştir. Bu sayede mantık, kesinlik kazanarak daha sağlam bir temele oturmuştur.

Klasik mantık, Aristoteles'in üç temel mantık ilkesine temellendirilmiştir. Bu ilkeler, akıl yürütme sistemini oluştururken, doğru çıkarımlar yapabilmenin temel kurallarını oluşturmaktadır. Aşağıda bu ilkeler açıklanmıştır:

- Özdeşlik ilkesi: Bir düşünme sürecinin başlangıcında, o terime ne atıf edildiyse, o düşünme sürecinin sonunda da aynı terime aynı anlamda atfı yapılmalıdır. Matematiksel olarak $A = A$ şeklinde gösterilmektedir. Örneğin, "Ahmet bir insandır." deniliyorsa, bu kavram Ahmet'in bir insan olduğu gerçeği sabit ve değişmezdir.
- Çelişmezlik ilkesi: Bir terimin aynı anda hem kendisi hem de tersinin olamayacağını kabul etmektedir. Mantıksal olarak " $\sim (A \cap \sim A)$ " olarak gösterilmektedir. Örneğin, "Bu kazak siyahtır." ifadesinde, kazağın farklı renkte olduğu ispatlanamazdır. Kazak ya siyahtır ya da değildir.
- Üçüncü durumun imkansızlığı ilkesi: Bu ilke klasik mantığın temelini oluştururken, düşünce sisteminin doğru ve yanlış olarak ikiye ayırmaktadır. Bir önerme ya doğru (1) ya da yanlış (0) olarak ifade edilmektedir. Bu ilke " $A \cup \sim A$ " şeklinde gösterilmektedir. Örneğin, "3 asal bir sayıdır." ifadesinde 3 ya asaldır ya da değildir. Üçüncü bir durum bulunmamaktadır.

Açıklanan ilkelere göre, klasik mantık ikili değerler (0 ya da 1) sistemi üzerine kurulu bir yapıya sahiptir. Bu sistem, birbirinden farklı iki disiplin olan matematik ile klasik mantık arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. İkili değerler, matematiksel modellerle ilişkilidir ve kümeler teorisine geçişi mümkün sağlamaktadır.

Klasik küme teorisi nesnelerin ya da elemanların bir kümeye ait olup olmadığı durumları belirlemektedir. Bu çerçevede, "küme" belirli kurallara göre tanımlanan birinden farklı elemanlardan oluşan grupları ifade etmektedir. Klasik kümeler kesin, ve net sınırlar ile ifade edilir ve bu sınırlar arasında belirsizlik bulunmamaktadır. Klasik kümelerde, A kümesine ait olan elemanların gösterimi aşağıda gösterilmektedir.

$a \in A \rightarrow a, A$ kümesinin elamanıdır.

$a \notin A \rightarrow a, A$ kümesini elamanı değildir.

Evrensel küme, özel bir problemle ilişkili tüm kümeleri kapsayan ve söz konusu problemin tüm elemanların bulunduğu kümeye denmektedir. E ile gösterilmektedir. Örneğin, E bir evrensel küme ve A kümesi E kümesinin bir alt kümesi ise $A \subset E$ şeklinde ifade edilmektedir.

4.1.1.1 Klasik Kümelerde Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu, bir elemanın belirli bir kümeye aitlik derecesini belirleyen fonksiyon türüdür. Bir elemanın bir kümeye dahil olduğu durumu belirtmek amacıyla üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Üyelik durumunu belirlemek için ikili sistemden faydalanır. Bir eleman kümeye ait ise 1 değerini, değil ise 0 değerini almaktadır.

Görsel 1.11

Üyelik Fonksiyonun Gösterimi

$$\mu_A : E \rightarrow \{0, 1\} \quad (1.1)$$

A kümesinde bulunan x bir eleman ve $\mu_A(x)$ ise üyelik değerini belirten bir fonksiyonun tanımını şu şekilde açıklanmaktadır:

Görsel 1.12

Üyelik Derecesinin Belirten Fonksiyon Tanımı

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1.2)$$

Burada, klasik mantığın “kesin doğruluk ilkesi” ve klasik küme teorisinin “kesin üyelik kavramı” örtüşmektedir. $\mu_A(a)$ fonksiyonu $\{1, 0\}$ değerlerinden birini alabilir. Bu fonksiyonun Evet / Hayır, Siyah / Beyaz ve 0 / 1 gibi net bir sonucu bulunmaktadır. Örneğin, Görsel 1.12 'de $E = \{0, 0.5, 1, 1.5, 2, 1.5, 3\}$ evrensel küme, $A = \{1, 1.5, 2\}$ olmak üzere evrensel kümenin bir alt kümesi ve A kümesi $[1,2]$ aralığında tanımlanmıştır. Bu elemanların iki ilkeye ilişkin üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

Görsel 1.13

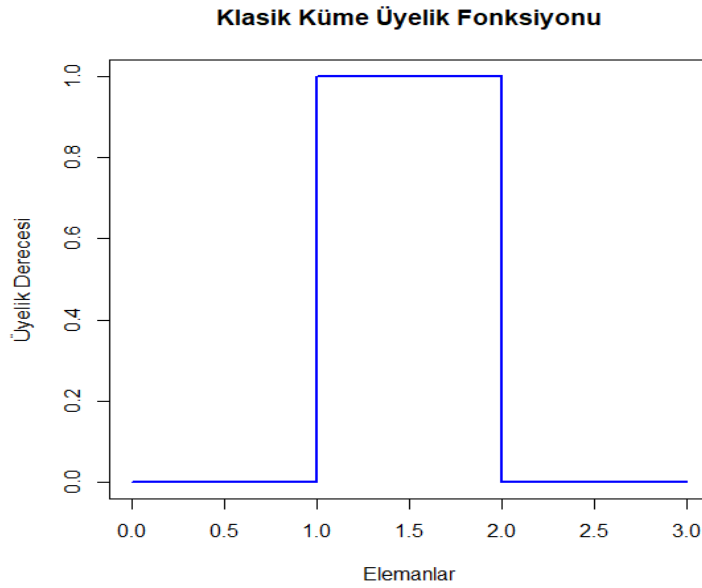
İki İlke İçin Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x = 1 \text{ veya } 1.5 \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1.3)$$

Eşitlik 1.3' de görüldüğü gibi, $0.5 \notin A$ olduğu için “kesin” olarak kümenin elemanı değildir. Fakat $1.5 \in A$ olduğu için, bu eleman “A kümesine aittir.” şeklinde tanımlanabilmektedir.

Şekil 1.3

Klasik Küme Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Farklı bir örnek ile incelendiğinde, 1 ve 5 sayıları arasında çift pozitif tam sayılardan tanımlanan bir B kümesi için evrensel küme $E = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ içinde tanımlanan bir üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$B = \{2, 4\} \quad (1.4a)$$

$$B = \{x \in E, x = 1 \leq x \leq 5 \text{ arasındaki pozitif tam sayılar ve } x = 2, 4\} \quad (1.4b)$$

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & x = 2 \text{ veya } x = 4 \text{ ise.} \\ 0, & x \notin A \text{ ise.} \end{cases} \quad (1.4c)$$

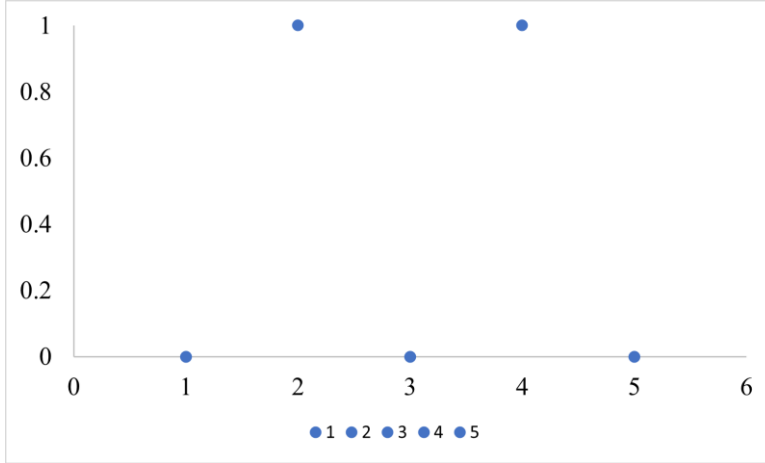
olarak tanımlanmaktadır. Üyelik fonksiyonu için elemanların tanımı aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} \mu_B(2) &= 1 & \mu_B(1) &= 0 \\ \mu_B(4) &= 1 & \mu_B(5) &= 0 \\ \mu_B(3) &= 0 \end{aligned} \quad (1.4d)$$

Bahsedilen klasik kümenin grafiği ise Şekil 1.4' de gösterilmektedir.

Şekil 1.4

Klasik Küme Üyelik Fonksiyonu Örneği



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

4.1.1.2 Klasik Kümenin Uygulama Alanları

Klasik mantık kesin doğruluk kuralları ile şekillenmekte ve tüm önermeler net çerçevede değerlendirilmektedir. Çelişkileri kabul etmez, üçüncü bir durum bulunmamakta ve mantıksal işlemler açıkça tanımlanan kurallar içerisinde tanımlanmıştır. Bu sistem, klasik küme teorisi ile benzerlik göstermekte, çünkü her iki modelde kesin sınırlar ve net üyelikler üzerine kurulmuştur. Örneğin, bir öğrencinin dersi geçip geçmediği klasik mantık sistemine göre belirlenmektedir. Eğer öğrenci “50 ve üzeri” aldıysa “geçti” olarak kabul edilir, “50’nin” altındaysa “kaldı” olarak değerlendirilir. Arada belirsiz ifadeler bulunmamaktadır ve öğrencinin dersi geçip geçmeme durumu kesindir.

Klasik küme teorisi, matematiğin temel taşlarından biri olup birçok alanda uygulanmaktadır. Matematikte sayı teorisi, cebir ve analiz gibi disiplinlerin temeli oluştururken, fonksiyonların ve ilişkilerin tanımı bu şekilde çerçevelenir. Bilgisayar biliminde ise algoritma tasarımı ve analizi, programlama dillerinde mantıksal operatörlerin kullanımı gibi alanlarda önemli bir rol oynamaktadır. Felsefe ve dil biliminde argüman analiz, mantıksal çıkarım ve dilin mantıksal yapısının incelenmesi gibi konuları içermektedir.

Klasik mantık ve klasik küme kavramlarını her biri ikili sistem üzerinde durmuştur. Bu durum birçok sınırın ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Örneğin klasik mantığın bir önermeyi “doğru” ya da “yanlış” olarak ayırması gerçek dünya ile çelişmektedir. Bunun sebebi bir kişinin “iyi” ve “kötü” kavramları, bulunduğu durumlara göre değişmektedir. Başka bir sınırı üçüncünün olmazlığı ilkesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, felsefi ve

kuantum gibi disiplinlerde farklılık göstermektedir. Birbirine dolanan iki parçacığın, ölçülmeden yukarı veya aşağı olduğu kesin bir dille belirtilememektedir. Bir diğer sınırı ise klasik mantık statik koşulların analizinde kullanılmasıdır. Bahsedilen durum, dinamik ve değişken sistemlerin karşılaştırılmasında yetersiz kalmaktadır.

Klasik mantığın savunduğu sınırlar, gerçek yaşamda karşılaşılan kesin olmayan durumların çözümünde yetersiz kalması sonucu yeni bir yaklaşım ortaya çıkmıştır.

4.1.2 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Kavramı

Bulanık mantık kavramı, 1956 yılında ABD’de düzenlenen bir konferansta gündeme gelmiş, ancak bu alanda ilk ciddi adım Prof. Dr. Lotfi Asker Zadeh tarafından “Fuzzy Sets” adlı makalesi ile atılmıştır. Bulanık mantık, klasik mantığın “doğru” veya “yanlış” gibi net sınırların aksine, bir problemin çözümü hakkında verilen kararın, birçok kümeye farklı derecelerde üye olabileceğini ifade etmektedir. Bu mantık türünde, her doğruluk veya yanlışlık ifadesi belirli bir dereceye sahiptir (Özdemir, O., Kalıncara Y., 2020).

Bulanık mantığın iki tanımı bulunmaktadır. Dar anlamda, bulanık mantık klasik mantığın genişletirilmiş hali olarak tanımlanmaktadır (Tekin, N., Karanfil, S., 1995). Geniş olarak tanımı ise, bulanık küme kişinin kararlarını ve değerlendirme süreçlerini algoritmik bir şekilde matematiksel olarak modellenmesidir (Altrock, C., 1995). Bu iki tanım açısından bakıldığında, bulanık mantığın temel esası bir önermenin doğruluğunu başka önermeler ile kesin yanlış ya da doğru arasında bulunan sonsuz sayıda üyelik dereceleri içeren kümenin elemanlarının değerleri veya sayısal ifade ile $[0,1]$ arasında gerçel sayıyla ilişkilendirilen bir fonksiyon olarak vurgulanmasıdır. Bu esas, Zadeh’in çalışmaları sonucu ortaya konmuş ve bulanık mantığın sadece çoklu mantık yapısını kullanmadığını, aynı zamanda bulanık üyelik dereceleri ve bulanık dilsel değişkenler ile çalıştığı sonucuna varılmıştır.

Bulanık mantığı diğer mantık türlerinden ayıran en temel özellik, üçüncünün olmazlığı ve çelişmezlik ilkelerinin geçerli olmamasıdır. Bulanık mantıkta, öne sürülen önermenin kesin doğru veya yanlış olduğu söylenmemektedir. Bu koşul, önermenin doğruluğunun farklı değerlerde üyelik fonksiyonlarına sahip olmasından ve önermenin bağlamlara yüklenen anlamlarında kaynaklanmaktadır.

Bulanık mantık, belirsiz ve değişken durumlar içerisinde yaklaşık sonuçların matematiksel olarak ifade edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Klasik mantıkta bir değer

ya “doğru” ya da “yanlış” olarak değerlendirilirken, bulanık mantık ara değerleri dikkate almaktadır. Örneğin, sıcaklığın değişimine bağlı olarak “çok az”, “az”, “orta”, “fazla”, “oldukça fazla”, ve “aşırı” gibi sözel kavramlar kullanılabilir. Bu sözel ifadeler, kesin sınırların yerine belirli bir aralıkta değişen üyelik fonksiyonları ile matematiksel olarak modellenmektedir. Bu şekilde, bulanık mantık kişilerin düşünme yapısına yakın bir yaklaşım sunarak, problemin daha esnek ve uyarlanabilir şekilde çözülebilmesini sağlamaktadır.

Farklı bir örnek ile açıklamak gerekirse, evrensel kümede boy uzunlukları dilsel ifade “uzun”, “orta” ve “kısa” gibi dilsel olarak tanımlanabilir.

$$E = \{ x \mid x \text{ bir boy uzunluklarını ifade etmektedir.} \} \quad (1.5a)$$

$$A = \{ \text{“Uzun”, “Orta”, “Kısa”} \} \quad (1.5b)$$

- Kısa boy için üyelik fonksiyonu ($\mu_{\text{Kısa}}(x)$);

$$\mu_{\text{Kısa}}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{0-2.5}, & 0 \leq x \leq 2.5 \\ \frac{5-x}{2.5-5}, & 2.5 \leq x \leq 5 \\ 0, & x > 5 \end{cases} \quad (1.5c)$$

- Orta boy için üyelik fonksiyon ($\mu_{\text{Orta}}(x)$);

$$\mu_{\text{Orta}}(x) = \begin{cases} \frac{x-2.5}{2.5-5}, & 2.5 \leq x \leq 5 \\ 1 - \frac{5-x}{5-7.5}, & 5 \leq x \leq 7.5 \\ 0, & x < 2.5 \text{ veya } x > 7.5 \end{cases} \quad (1.5d)$$

- Uzun boy için üyelik fonksiyonu ($\mu_{\text{Uzun}}(x)$);

$$\mu_{\text{Uzun}}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{5-7.5}, & 5 \leq x \leq 7.5 \\ 1 - \frac{x-7.5}{7.5-10}, & 7.5 \leq x \leq 10 \\ 0, & x < 5 \text{ veya } x > 10 \end{cases} \quad (1.5e)$$

Örneğin, 6.5 cm boyu olan bir kişi için üyelik fonksiyonu;

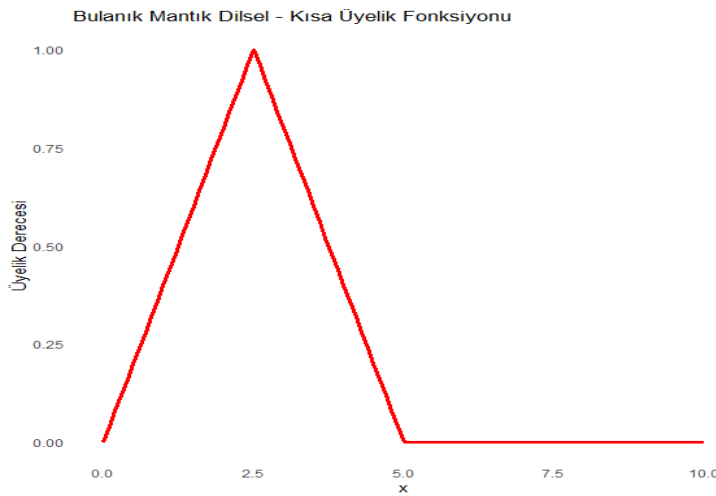
- Kısa boy için $\mu_{\text{Kısa}}(6.5) = 0$ (Bu durum, 6.5 değerinin tanımlanan kısa boy aralığının dışında kalması sonucudur.)
- Orta boy için $\mu_{\text{Orta}}(6.5) = 0.4$ (Bu durum, 6.5 değeri tanımlanan orta boy aralığının üst kısmına yakın olduğu sonucudur)

- Uzun boy için $\mu_{\text{Uzun}}(6.5) = 0.6$ (Bu durum, 6.5 değerin tanımlanan uzun boy aralığının alt kısmına yakın bir değeri aldığı sonucudur.)

Sonuç olarak, 6.5 cm boyu olan bir kişi “Orta” boy olarak %75 ve “Uzun” boy olarak ise %25 oranında tanımlanmış olmaktadır. Bu durum, üyelik fonksiyonlarının kişiyi iki kategoriye belirli derecede ait olduğunu ifade etmektedir. Şekil 1.5, Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’ de, tanımlanan kategorilerin üyelik fonksiyonu ile tanımlanan ifadelerin bir gösterimidir:

Şekil 1.5

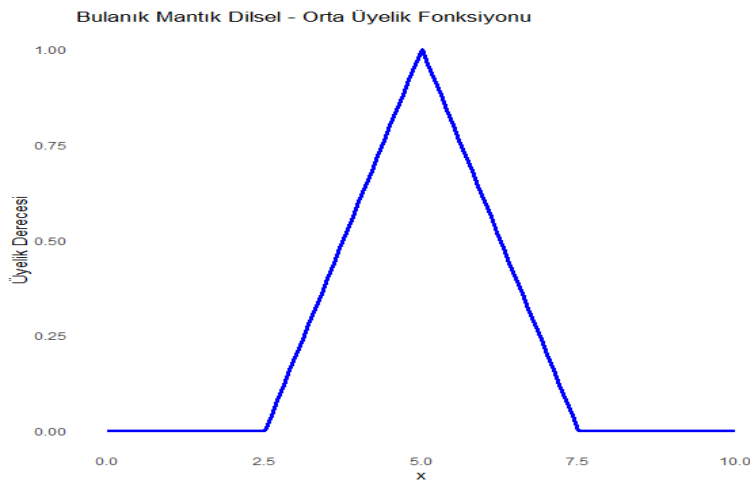
Bulanık Mantık Dilsel “Kısa” Üyelik Fonksiyon



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Şekil 1.6

Bulanık Mantık Dilsel “Orta” Üyelik Fonksiyon



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Şekil 1.7

Bulanık Mantık Dilsel “Uzun” Üyelik Fonksiyon



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Bulanık mantık, kesinlik ve netlik ilkelerinde uzak olmakta, belirsiz ve gri durumları matematiksel modelleme yöntemiyle sonuca yaklaştıran bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın geçerli olduğu durumlardan ilki, problemin karmaşık olması ve yeterli bilgiye ulaşılmaması ile kişilerin görüş ve değer yargılarının yer almasıdır. Örneğin, bir çalışanın performans değerlendirilmesinin yapılması, klasik mantık ilkeleri ile ya “iyi” ya da “kötü” olarak değerlendirilmesi zor olmaktadır. Bu yüzden, çalışanın bulanık mantık ile performansının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu mantık çerçevesinde değerlendirilmesi, çalışan %50 verimlilikle “orta düzeyde”, %70 verimlilikle “iyi” ve %90 verimlilikte ise “çok iyi performans” olarak kabul edilebilir. Bulanık mantığın kabul edildiği durumlardan ikinci ise, insanın kavrayış ve yargısına gerek duyulduğu koşullardır. Örneğin, Sony TV setlerinde bulanık mantığın “0” ile “1” arasında bir üyelik derecesi ile yönetmektedir. Bu durum, görüntü parlaklığı ve ses seviyesinin “ideal” olup olmaması, kullanıcın oluşabilecek durumlarda görüşlerine göre değişmektedir. Bir kişinin karanlık ortamda televizyon izlerken görüntü parlaklığını “düşük” ya da “yüksek” olarak tercih edebilir.

Bir problemin çözümüne başlamadan önce kullanacak sayısal ve sözel verilerin kullanılabilirliği için bulanık mantıktan faydalanılmaktadır. Özellikle sözel verilerin bilgisayara tanıtılmasında bulanık işlemler kullanılmaktadır. Bu işlemlerde en geçerli yöntemler bulanık küme, mantık ve sistemlerdir. Uzman kişilerden alınan sözel bilgilerin işlenmesinde her bir veri bulanık küme içerisinde üyelik derecelerine atanmaktadır. Bu işlem, bulanık mantığın temelini oluşturan bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Bu

teori, sınırların belli olmadığı ve belirsizliğin olduğu durumlarda karar vermeyi sağlayan süreçleri matematiksel olarak kesinlik kazandıran yöntemlerdir.

Bulanık küme kavramı, Zadeh'in çalışmasıyla ortaya çıkmış, küme elemanlarının üyelik derecesine göre belirlenmesini sağlamaktadır. Zadeh, bir kümenin üyelik fonksiyonuna sahip olduğunu ve bu kümenin her elemanlarının 0 ile 1 arasında değerler alabileceğini ileri sürmüştür. Bu küme üyelik derecelerinin sürekli bir aralıkta değiştiği bir sınıftır. (Zadeh, 1995).

Bulanık küme, klasik kümenin iki değerli üyeliğini çok değerli üyelik sistemine dönüştürerek belirsizliği formüleştirmektedir. E evrensel bir küme, $a \in E$ ve $A \subseteq E$ olmak üzere, A kümesinin üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında ise, A kümesine “bulanık küme” denilmekte ve $\tilde{A}$ ile ifade edilmektedir. Bulanık küme,

Zadeh (1965),

$$\tilde{A} = \{(a, \mu_{\tilde{A}}(a) \mid a \in E\} ; \quad (1.6)$$

Kaufmann ve Gupta (1988),

$$\forall a \in E: \mu_{\tilde{A}}(a) \in [0,1] ; \quad (1.7)$$

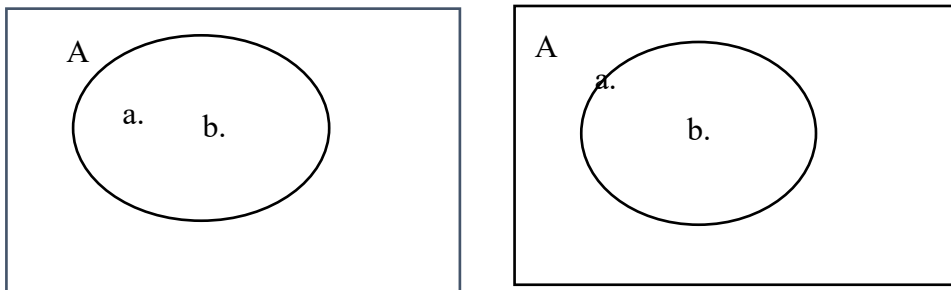
Lai ve Hwang (1992) ise,

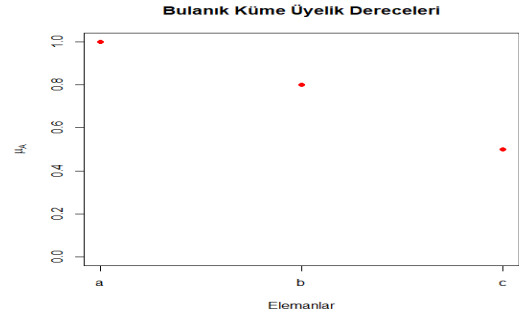
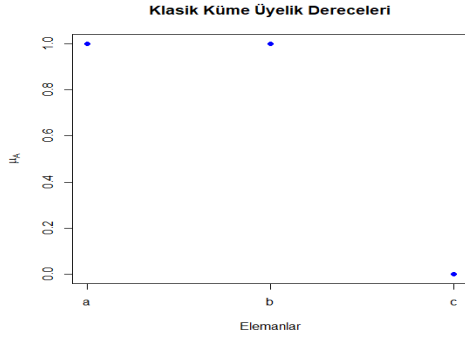
$$\tilde{A} = \{a, \mu_{\tilde{A}}(a) \mid a \in E\} \quad (1.8)$$

olarak tanımlamışlardır.

Şekil 1.8

Klasik ve Bulanık Kümenin Grafiksel Gösterimi





Kaynak: Şahin, H., Yılmaz M., 2022 s. 104

4.1.2.1 Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonu

Üyelik fonksiyonu, küme elemanlarının tanımlanan değerleri ile farklılık gösteren eğri olarak tanımlanmaktadır. Bu fonksiyon, alt küme sınırlarında bulunan değerlerin orta elemanların değerlerine göre daha düşük değerlere sahiptir. Farklı bir tanım ile 0 ile 1 arasındaki her değişimin her bir eleman için değerine üyelik derecesi, bunun bir alt küme içindeki değişime ise üyelik fonksiyonudur. Klasik ve bulanık kümelerin temelini üyelik fonksiyonları meydana getirmektedir.

E evrensel kümesine ait a elemanının üyelik fonksiyonu $\mu(a)$ ise;

A klasik kümesinin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_A(a):E \rightarrow \{0,1\} \quad (1.9)$$

ve $\tilde{A}$ bulanık kümenin üyelik fonksiyonu,

$$\mu_{\tilde{A}}(a):E \rightarrow [0,1] \quad (1.10)$$

olarak gösterilmektedir (Zadeh, 1965).

$\tilde{A}$ bulanık kümesi ve bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_A:E \rightarrow [0,1]$; $\mu_A(x) \in [0,1]$ $x \in E$ nin $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyelik derecesi olmak üzere; $A=\{(x,\mu_A(x))\}$ şeklinde gösterilmektedir.

E evrensel kümesi $E= \{x_1,x_2,\dots,x_n\}$ şeklinde bir sonlu küme ise;

$$\begin{aligned} \forall x \in E \text{ için } \tilde{A} &= \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x_1}{x_1}\right) + \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x_2}{x_2}\right) + \dots + \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x_n}{x_n}\right) \\ &= \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}\left(\frac{x_i}{x_i}\right) \end{aligned} \quad (1.11)$$

şeklinde ifade edilir.

Örneğin, $E = \{a, b, c, d, e\}$ sonlu bir kümedir. $\tilde{A}$ bulanık küme,

$$\tilde{A} = \{ (a, 0.2), (b, 0.4), (c, 0.6), (d, 0.8), (e, 1.0) \} \quad (1.12a)$$

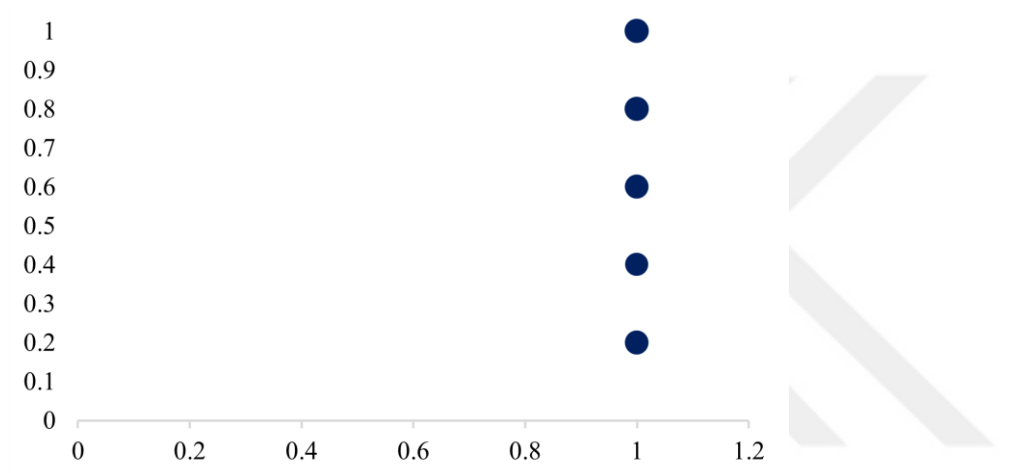
olarak tanımlanmıştır. Eşiklik 1.12b aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{A} = \frac{0.2}{a} + \frac{0.4}{b} + \frac{0.6}{c} + \frac{0.8}{d} + \frac{1.0}{e} \quad (1.12b)$$

şeklinde üyelik fonksiyonları yazılmaktadır. Şekil 1.9 sonlu bulanık kümenin gösterimidir.

Şekil 1.9

Sonlu Bulanık Küme



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

E evrensel kümesi $E = \{x_1, x_2, \dots\}$ şeklinde bir sonsuz küme ise;

$$\tilde{A} = \int \mu_{\tilde{A}} / x \, dx \quad (1.13)$$

olarak tanımlanmıştır (Dubois ve Prade, 1980).

Örneğin, $E = \mathbb{Z}^+ = \{ \text{Pozitif Tam Sayılar} \}$ olarak belirlenmiştir.

$\tilde{A}$ bulanık küme ve $\mu_{\tilde{A}}(x)$ fonksiyonu; $\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{x}$ olarak tanımlanmıştır.

$$\tilde{A} = \{1, 2, 3, 4, 5, \dots\} \quad (1.14a)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(1) = \frac{1}{1} = 1 \quad \mu_{\tilde{A}}(2) = \frac{1}{2} = 0.5$$

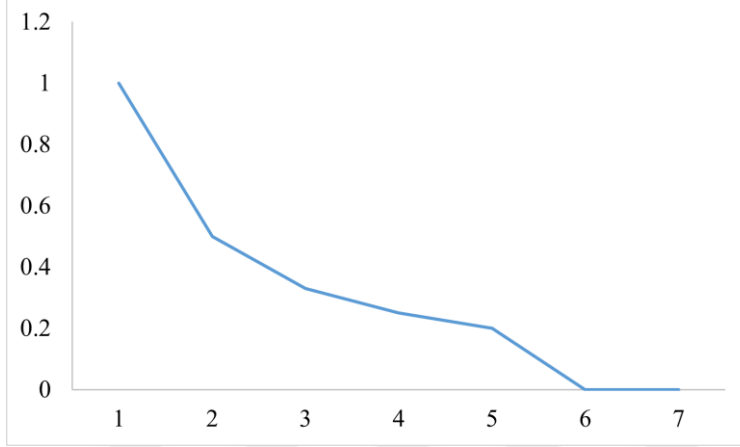
$$\mu_{\tilde{A}}(3) = \frac{1}{3} \approx 0.33 \quad \mu_{\tilde{A}}(4) = \frac{1}{4} = 0.25 \quad (1.14b)$$

$$\mu_{\tilde{A}}(5) = \frac{1}{5} = 0.20 \quad \dots$$

şeklinde üyelik fonksiyonları hesaplanmıştır. Görsel 1.18 sonsuz bulanık kümenin gösterimidir.

Şekil 1.10

Sonsuz Bulanık Küme



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Üyelik fonksiyonu, bulanıklığı bir fonksiyon olarak tanımlamakta ve belirsiz bir durumu bir fonksiyonla ilişkilendirmek için bu fonksiyonun özelliklerini belirlemektedir. Yapılarına göre farklı üyelik fonksiyonları bulunsa da, bu fonksiyonların bulundurmaları gereken özellikler aşağıda bahsedilmiştir.

- **Normallik:** Bulanık kümenin normal durumu için ifade edilen kümenin elemanlarından bir tanesinin derecesi en az 1 olması gerekmektedir.
- **Monotonluk:** Bulanık kümenin monoton olması için derecesi 1 olan elemana yakın olan sağdaki ve soldaki elemanların üyelik dereceleri 1' e yakın olmalıdır.
- **Simetri:** Üyelik derecesi 1 olan elemanın sağa ya da sola eşit mesafede hareket edildiğinde bulunan elemanların derecelerinin birbirine eşit olmalıdır. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonu $x=c$ noktası için simetrik ise;

$$\mu_{\tilde{A}}(x + c) = \mu_{\tilde{A}}(x - c) \quad (1.15)$$

olarak ifade edilmektedir.

Üyelik fonksiyonları, bir bulanık kümenin elemanlarını farklı üyelik dereceleri ile göstermektedir. Bulanık küme yöntemi ile çözülmesi beklenen bir problemde kullanılacak üyelik fonksiyonların türlerinde çok önemlidir. Bu nedenle, bir çok üyelik

fonksiyon türleri mevcuttur. Literatürde sıklıkla kullanılan üyelik fonksiyon türleri aşağıda sıralanmıştır.

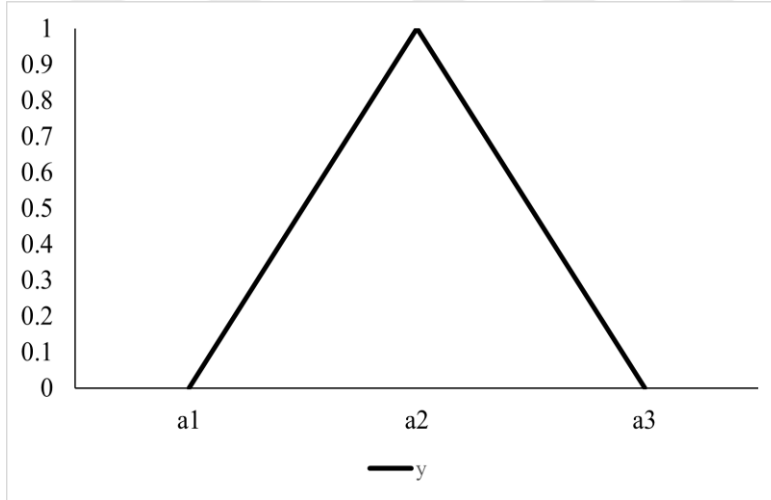
- **Üçgensel Üyelik Fonksiyon:** Üçgen bir üyelik fonksiyonu üç parametre ile tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonun parçalı olarak tanımı aşağıda verilmiştir.

Parametreler: $\mu_{\tilde{A}} = a_1, a_2, a_3$

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0, & x < a_1 \text{ veya } x > a_3 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \end{cases} \quad (1.16)$$

Şekil 1.11

Üçgensel Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

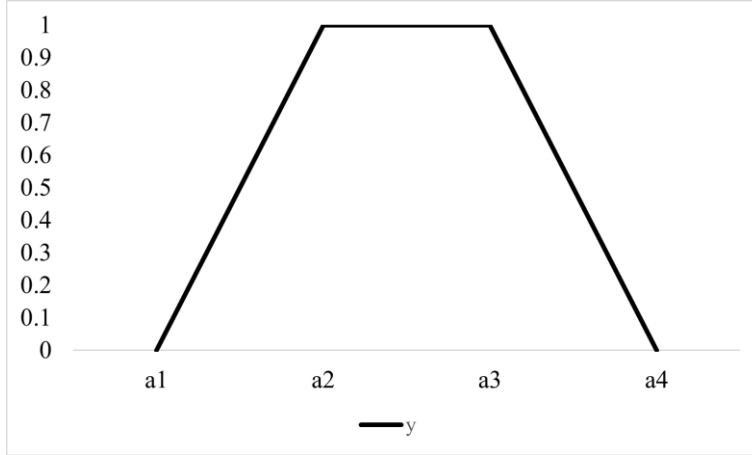
- **Yamuksal Üyelik Fonksiyon:** Yamuk üyelik fonksiyonu dört parametre ile ifade edilmektedir. Parçalı fonksiyon tanımı aşağıda gösterilmiştir.

Parametreler: $\mu_{\tilde{A}} = a_1, a_2, a_3, a_4$

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (1.17)$$

Şekil 1.12

Yamuksal Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

- **Gaussian Üyelik Fonksiyonu:** Gaussian üyelik fonksiyonu iki parametresi bulunmaktadır. Bu fonksiyonun σ parametresi küçüldükçe fonksiyon incelirken, σ büyüdükçe fonksiyon yayvanlaşmaktadır.

Parametreler: $\mu_{\tilde{A}} = \bar{x}$, σ

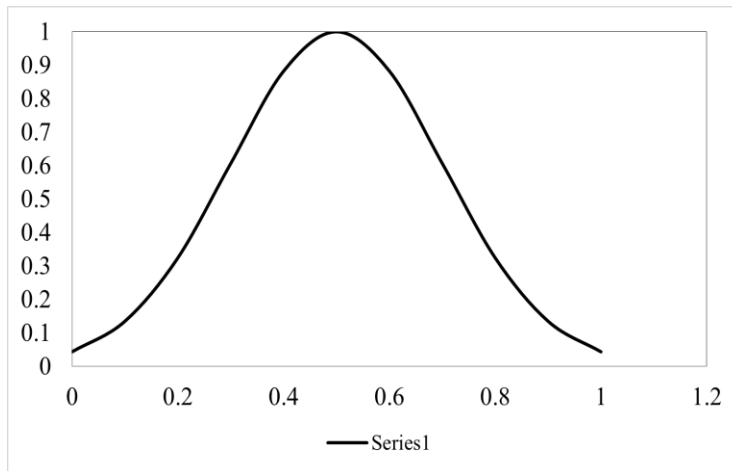
$\bar{x}$: Fonksiyonun merkezi

σ : Fonksiyonun genişliği

$$\mu_{\tilde{A}}(x; \bar{x}, \sigma) = e^{-\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2} \quad (1.18)$$

Şekil 1.13

Gaussian Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

- **Çan Üyelik Fonksiyonu:** Çan üyelik fonksiyonu, belirsiz ve bulanık sınırların modellenmesinde ve bulanık kontrol sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu fonksiyonun üç parametresi bulunmaktadır.

Parametreler: $\mu_{\tilde{A}} = a_1, a_2, a_3$

a_1 : Fonksiyonun genişliği

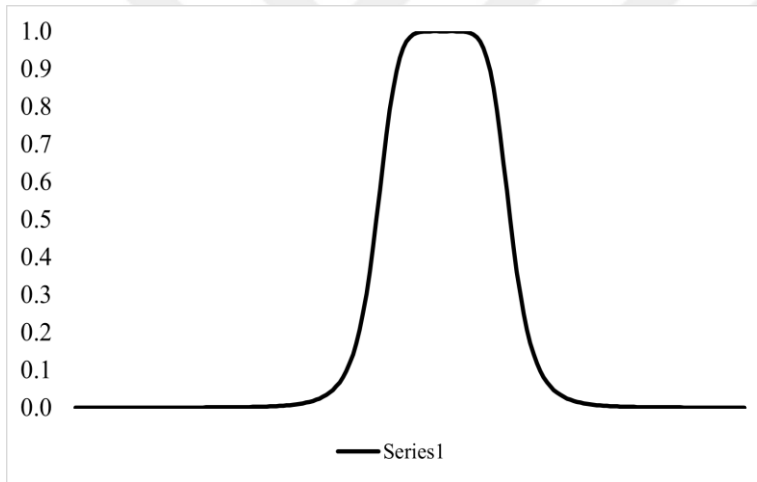
a_2 : Fonksiyonun eğimi

a_3 : Fonksiyonun merkezi

$$\mu_{\tilde{A}}(a_1, a_2, a_3) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-a_3}{a_1} \right|^{2a_2}} \quad (1.19)$$

Şekil 1.14

Çan Üyelik Fonksiyonu



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

4.2. Fermatean Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler, belirsiz ve eksik olan bilgilerin modellenmesi için geliştirilmiş modellerdir. Zadeh' in 1965 yılında önerdiği bulanık mantık teorisinin temel mantığı küme elemanlarının, kümeye ait olma derecesinin ifade edilmesidir. İlerleyen süreçte farklı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalarla birlikte, kümenin elemanlarının kümeye ait olup olmadığı önermesinin herhangi bir yargıya sahip olmamasının da derecesini belirleyebilmek için çeşitli bulanık küme uzantıları geliştirmişlerdir. Bu sebeple, Zadeh' in çalışmalarında bahsedilen küme teorisi "klasik bulanık kümeler" olarak adlandırılmıştır (Kabak, M., Erdebili, B., 2021). Genişletilmiş bulanık uzantılardan biri olan Fermatean bulanık küme, ilk olarak Senapati ve Yager'in "Fermatean Fuzzy Sets"

makalesinde bahsedilmiştir (Senapati, Yager, 2019). Bu kavram, Pisagor Bulanık Küme (PFS) ve Sezgisel Bulanık Küme' nin (IFS) birleştirilmesi ile daha genişletilmiş bir bulanık kümedir.

Fermatean bulanık küme kavramına ilişkin detaylı özelliklerinden bahsedilmeden önce, Sezgisel Bulanık Küme (IFS) ve Pisagor Bulanık Küme' nin (PFS) uzantıları hakkında bir çerçeve sunulacaktır.

4.2.1 Sezgisel Bulanık Küme (IFS)

Sezgisel bulanık küme teorisi, Atanassov tarafından 1986 yılında klasik bulanık kümelerin bir genişletmesi olarak ifade edilmiştir. Bu küme, bir elemanın üyelik derecesi ($\mu_A(x)$), üye olmama derecesi ($\nu_A(x)$) ve bu iki değer toplamının birden küçük olması durumunda ortaya çıkan kararsızlık derecesi ile ifade edilir (Atanassov, K., T., 1986). Bu yöntem, bir elemanın üyelik derecesine ek olarak, bu elemanın ait olmama derecesi ve bu iki değer toplamından kaynaklanan belirsizlik payını da modellenmektedir.

Sezgisel bulanık kümelerin gösterimi aşağıdaki gibidir (Atanassov, K., T., 1986):

E bir evrensel küme ve $\tilde{A}$ sezgisel bulanık küme olarak tanımlanmıştır.

$$\tilde{A} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x) \rangle \mid x \in E \} \quad (1.20a)$$

$$\mu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0, 1], \nu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0, 1] \quad (1.20b)$$

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \leq 1 \quad (1.20c)$$

$$\forall x \in E, \quad (1.20d)$$

$$\text{Tereddüt derecesi: } \pi_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) - \nu_{\tilde{A}}(x) \quad (1.20e)$$

4.2.2 Pisagor Bulanık Küme (PFS)

Pisagor bulanık küme, Yager (2013) tarafından klasik bulanık küme ve sezgisel bulanık kümenin geliştirilmiş bir hali olarak tanımlanmıştır. Bu model, bir küme elemanının kümeye ait olma ve olmama derecelerini belirlerken, sezgisel bulanık kümelerden farklı olarak, üye ve üye olmama derecelerinin kareleri toplamı 1' i geçmemesi gerekmektedir. Bu sayede, karar vericilere belirsizlik durumlarında daha esnek değerlendirme olanağı sunmaktadır. Pisagor bulanık küme aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Zhang, X., Xu., Z., 2014).

$$\tilde{P} = \{ \langle x, (\mu_{\tilde{P}}(x), \nu_{\tilde{P}}(x)) \rangle \mid x \in E \} \quad (1.21a)$$

$$\mu_{\tilde{p}} : E \rightarrow [0, 1], \quad v_{\tilde{p}} : E \rightarrow [0, 1] \quad (1.21b)$$

$$\text{Üye olmama derecesi: } 0 \leq (\mu_{\tilde{p}}(x))^2 + (v_{\tilde{p}}(x))^2 \leq 1 \quad (1.21c)$$

$$x \in E, \quad (1.21d)$$

$$\text{Belirsizlik derecesi: } \sqrt{1 - (\mu_{\tilde{p}}(x))^2 - (v_{\tilde{p}}(x))^2} \quad (1.21e)$$

4.2.3. FERMATEAN BULANIK KÜME

Belirsiz ve kişisel değerlendirmelerin olduğu karar verme süreçlerinde, klasik bulanık kümelerin belli durumlarda yetersiz kaldığı görülebilmektedir. 2019 yılında Senapati ve Yager tarafından, belirsiz süreçlerin daha esnek ve etkili bir biçimde modellenmesi için, Sezgisel Bulanık Küme ve Pisagor Bulanık Kümenin uzantısı olarak Fermatean Bulanık Küme önerilmiştir. Fermatean bulanık küme, bir elemanın bir kümeye üye olma ve olmama derecelerini daha geniş değer aralıkları ile tanımlanmasına olanak sağlamaktadır. Bu küme, $(\mu_{\tilde{F}}(x))^3$ ve $(v_{\tilde{F}}(x))^3$ küplerinin toplam değerinin $[0, 1]$ aralığında tanımlamak ve Pisagor bulanık kümenin dışında kalan belirsiz durumlar için genel bir tanımlama sunmaktadır (Senapati, T., Yager, R., R., 2019).

E bir evrensel küme olarak tanımlanmıştır. $\tilde{F}$ ise, E kümesi içerisinde tanımlanan bir fermatean bulanık kümedir. Aşağıda fermatean bulanık kümenin temel tanımları sıralanmıştır.

Tanım 4.1. Bir fermatean bulanık küme için,

$$\tilde{F} = \{ \langle x, (\mu_{\tilde{F}}(x), v_{\tilde{F}}(x)) \rangle \mid x \in E \} \quad (1.22a)$$

$$\mu_{\tilde{F}}(x) : X \rightarrow [0, 1], \quad v_{\tilde{F}}(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (1.22b)$$

$$\forall x \in X, \quad (1.22c)$$

aşağıdaki koşulu sağlamalıdır.

$$0 \leq (\mu_{\tilde{F}}(x))^3 + (v_{\tilde{F}}(x))^3 \leq 1 \quad (1.22d)$$

Yani, bir elemanın bir kümeye ait olma ve olmama derecelerinin küplerinin toplamı 1'i geçmemelidir. Ayrıca, oluşan fermatean bulanık kümenin $\mu_{\tilde{F}}(x)$ ve $v_{\tilde{F}}(x)$ her bir elemanın sırasıyla kümeye ait olma ve olmama dereceleri olarak ifade edilmektedir.

Fermatean belirsizlik derecesi:

$$\pi_F(x) = \sqrt[3]{1 - (\mu_F(x))^3 - (v_F(x))^3} \quad (1.22e)$$

Tanım 4.2. Fermatean bulanık üyelik dereceleri, Şekil 2.11' de görüldüğü gibi, Pisagor ve sezgisel bulanık üyelik derecelerinden daha geniş bir kümeyi ifade etmektedir.

- Sezgisel bulanık küme üyelik derecesi:

$$\mu + v \leq 1 \quad (1.23)$$

- Pisagor bulanık küme üyelik derecesi:

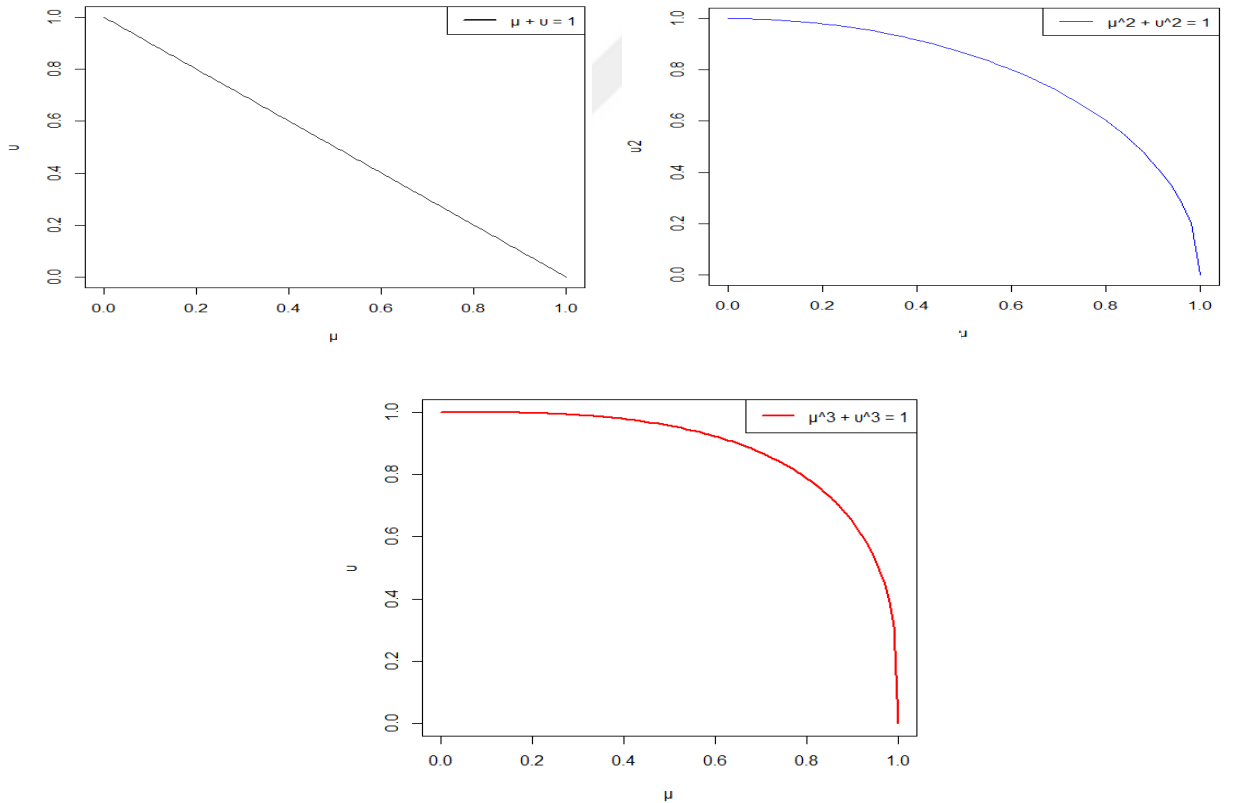
$$\mu^2 + v^2 \leq 1 \quad (1.24)$$

- Fermatean bulanık küme üyelik derecesi:

$$\mu^3 + v^3 \leq 1 \quad (1.25)$$

Şekil 1.15

SBK, PBK ve FBK Üyelik Karşılaştırılması



Kaynak: Senapati, T., Yager, R., R., 2019

Tanım 4.3. Fermatean bulanık küme işlemleri;

$\tilde{F}=(\mu_{\tilde{F}},v_{\tilde{F}})$, $\tilde{F}_1=(\mu_{\tilde{F}_1},v_{\tilde{F}_1})$ ve $\tilde{F}_2=(\mu_{\tilde{F}_2},v_{\tilde{F}_2})$ ise,

$$\tilde{F}_1 \cap \tilde{F}_2 = (\min \{\mu_{\tilde{F}_1}, \mu_{\tilde{F}_2}\}, \max \{v_{\tilde{F}_1}, v_{\tilde{F}_2}\}); \quad (1.26a)$$

$$\tilde{F}_1 \cup \tilde{F}_2 = (\max \{\mu_{\tilde{F}_1}, \mu_{\tilde{F}_2}\}, \min \{v_{\tilde{F}_1}, v_{\tilde{F}_2}\}); \quad (1.26b)$$

$$\tilde{F}^c = (v_{\tilde{F}}, \mu_{\tilde{F}}). \quad (1.26c)$$

tanımlanır.

Tanım 4.4. Fermatean bulanık kümeler için küme işlemlerinin özellikleri;

$\lambda > 0$ olmak üzere;

$\tilde{F}=(\mu_{\tilde{F}},v_{\tilde{F}})$, $\tilde{F}_1=(\mu_{\tilde{F}_1},v_{\tilde{F}_1})$ ve $\tilde{F}_2=(\mu_{\tilde{F}_2},v_{\tilde{F}_2})$ ise;

$$\tilde{F}_1 \boxplus \tilde{F}_2 = (\sqrt[3]{\mu_{\tilde{F}_1}^3 + \mu_{\tilde{F}_2}^3 - \mu_{\tilde{F}_1}^3 \mu_{\tilde{F}_2}^3}, v_{\tilde{F}_1} v_{\tilde{F}_2}); \quad (1.27a)$$

$$\tilde{F}_1 \boxtimes \tilde{F}_2 = (\mu_{\tilde{F}_1} \mu_{\tilde{F}_2}, \sqrt[3]{v_{\tilde{F}_1}^3 + v_{\tilde{F}_2}^3 - v_{\tilde{F}_1}^3 v_{\tilde{F}_2}^3}); \quad (1.27b)$$

$$\lambda \tilde{F} = (\sqrt[3]{1 - (1 - \mu_{\tilde{F}}^3)^\lambda}, v_{\tilde{F}}^\lambda); \quad (1.27c)$$

$$\tilde{F}^\lambda = (\mu_{\tilde{F}}^\lambda, \sqrt[3]{1 - (1 - \mu_{\tilde{F}}^3)^\lambda}). \quad (1.27d)$$

şeklinde tanımlanır.

Tanım 4.5. Bir fermatean bulanık kümenin skor fonksiyonu;

$\tilde{F} = (\mu_{\tilde{F}}, v_{\tilde{F}})$ tanımlı, $\text{score}(\tilde{F})$ ve $\text{acc}(\tilde{F})$ fonksiyonları x elemanına ait skor ve doğruluk değerleridir.

$$\text{score}(\tilde{F}) = (\mu_{\tilde{F}}(x)^3 - v_{\tilde{F}}(x)^3) \rightarrow \text{Skor Fonksiyonu} \quad (1.28)$$

Skor fonksiyonu $[-1, 1]$ aralığında değer almaktadır. Skor değerinin büyük olması, güçlü üyeliği ifade etmektedir.

$$\text{acc}(\tilde{F}) = (\mu_{\tilde{F}}(x)^3 + v_{\tilde{F}}(x)^3) \rightarrow \text{Doğruluk Fonksiyonu} \quad (1.29)$$

Skor fonksiyonun yetersiz kaldığı durumlarda, doğruluk fonksiyonu kullanılmaktadır. Doğruluk derecesi $[0, 1]$ arasında değer almaktadır. Bu derecenin büyük olması, kararlı bir üyelik yapısı anlamına gelmektedir.

$\tilde{F}_1=(\mu_{\tilde{F}_1}, v_{\tilde{F}_1})$ ve $\tilde{F}_2=(\mu_{\tilde{F}_2}, v_{\tilde{F}_2})$ iki bulanık sayının skor ve doğruluk fonksiyonlarının karşılaştırılması;

$$\text{score}(\tilde{F}_1) < \text{score}(\tilde{F}_2) \text{ ise; } \tilde{F}_1 < \tilde{F}_2, \quad (1.30a)$$

$$\text{score}(\tilde{F}_1) > \text{score}(\tilde{F}_2) \text{ ise; } \tilde{F}_1 > \tilde{F}_2, \quad (1.30b)$$

$$\text{score}(\tilde{F}_1) = \text{score}(\tilde{F}_2). \quad (1.30c)$$

$$\text{acc}(\tilde{F}_1) < \text{acc}(\tilde{F}_2) \text{ ise; } \tilde{F}_1 < \tilde{F}_2, \quad (1.31a)$$

$$\text{acc}(\tilde{F}_1) > \text{acc}(\tilde{F}_2) \text{ ise; } \tilde{F}_1 > \tilde{F}_2, \quad (1.31b)$$

$$\text{acc}(\tilde{F}_1) = \text{acc}(\tilde{F}_2). \quad (1.31c)$$

$$\tilde{F}_1 = \tilde{F}_2.$$

$$(1.32)$$

biçimindedir.

Tanım 4.6. $\tilde{F}=(\mu_{\tilde{F}}, v_{\tilde{F}})$ ve $(i = 1, 2, \dots, n)$ tanımlı fermatean bulanık kümenin fermatean bulanık ağırlıklı ortalama (FFWA) fonksiyonu aşağıda tanımlanmıştır.

$\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ve $w_i = w_1, w_2, \dots, w_n$ olmak üzere;

$$\text{FFWA}(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_n) = (\sum_{i=1}^n w_i \mu_{\tilde{F}_i}, \sum_{i=1}^n w_i v_{\tilde{F}_i}). \quad (1.33)$$

ifade edilir.

Tanım 4.7. $\tilde{F}=(\mu_{\tilde{F}}, v_{\tilde{F}})$ ve n ($i = 1, 2, \dots, n$) adet fermatean bulanık sayının ağırlıklı geometrik ortalama (FFWG) fonksiyonu;

$\sum_{i=1}^n w_i = 1$ ve $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$;

$$\text{FFWG}(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_n) = (\prod_{i=1}^n \mu_{\tilde{F}_i}^{w_i}, \prod_{i=1}^n v_{\tilde{F}_i}^{w_i}). \quad (1.34)$$

tanımlanır.

Tanım 4.8. İki fermatean bulanık küme arasındaki mesafeyi ölçmek amacıyla öklid uzaklığı hesaplanmıştır. Fermatean bulanık arasındaki öklid uzaklığı;

$\tilde{F}_1=(\mu_{\tilde{F}_1}, v_{\tilde{F}_1})$ ve $\tilde{F}_2=(\mu_{\tilde{F}_2}, v_{\tilde{F}_2})$ iki bulanık sayı olarak;

$$d_E(\tilde{F}_1, \tilde{F}_2) = \sqrt{(\mu_{\tilde{F}_1} - \mu_{\tilde{F}_2})^2 + (v_{\tilde{F}_1} - v_{\tilde{F}_2})^2}. \quad (1.35)$$

şeklindedir.

Fermatean bulanık kümelerle ilişkin tanım ve işlemlerine bakıldığında, bu modelin belirsizliğin fazla olduğu karar verme durumlarında daha esnek, güçlü ve ayrıntılı bir modelleme sunduğu görünmektedir. Bu kümeler, özellikle karar vericilerin görüşlerinin farklılık gösterdiği ortamlarda, klasik bulanık teorisinin oluşturduğu sınırlar içerisinde kalmayıp, daha alternatif bir yapı oluşturmaktadır. Fermatean bulanık kümelerin bahsedilen özellikleri sayesinde, çok kriterli karar verme, tıbbi tanı sistemleri, finansal değerlendirme, mühendislik alanında yapılan hata analizleri ve yapay zekâ destekli sistemlerde uygulanabilmektedir.

4.3 ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Karar verme süreçlerinde, karar vericilerin birden fazla, bazı durumlarda çelişkili faktörleri göz önünde bulundurması gerekmektedir. Bu sebeple, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri karar verme süreçlerinde destek sağlama amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntemler, karar vericilerin probleme çözüm bulabilmesi için farklı yaklaşım ve modeller sağlamaktadır (Şahin, M., 2022).

ÇKKV yöntemleri, geçerli alternatiflerin incelenmesi ve sıralanması, diğer süreçlerde bu alternatiflerin arasından en uygun kriterin seçimi olarak ifade edilebilmektedir (Şahin, M., 2022). Bu yöntemler, alternatiflerin ve kriterlerin fazla olduğu problemlerde, son kararın en uygun ve kolay şekilde alınmasını sağlamaktadır.

Bir karar verici problemin analizinde kriterleri o problemin amacına göre belirlemelidir. Bu kriterler seçilen ÇKKV yöntemine uygulanabilir ve ölçülebilir olmalıdır. Belirlenen kriterlerin alt kümeleri olarak seçilen alternatiflerin zayıf ve güçlü yönleri ortaya konmalıdır. Bu sayede karar verici, seçilen ÇKKV yöntemi çerçevesinde en uygun alternatifi belirleyebilmektedir.

Güncel koşullar altında karşılaşılan problemlerin karmaşık bir modelde olmasından kaynaklı birçok ÇKKV yöntemi geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Fermatean Bulanık COCOSO yöntemlerinin uygulanma şekilleri aşağıda incelenmektedir.

4.3.1 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1980 yılında Saaty tarafından geliştirilmiştir. AHP' nin temel amacı, karmaşık yapıları

problemleri kriterlere ve alt alternatiflere ayırarak hiyerarşik bir yapı oluşturmak ve bu sayede daha tutarlı bir ağırlıklandırma yapmaktır. Bu hiyerarşik yapı, süreci hem öznel hem de mantıksal yargılarla ele alır; ikili karşılaştırmalar yoluyla ile kriterlerin ve alternatiflerin göreceli önemlerini belirler (Saaty, T., L., 1980).

Karar verici karşılaştırma aşamasında kullandığı değerler, Saaty tarafından geliştirilen 1-9 temel ölçeği ile ifade edilmektedir (Saaty, T. L., 1980). Bu ölçek, ikili karar matrisinde dokuz farklı derecelendirme olanağı sağlamaktadır. Tablo 1.4' de karşılaştırmada kullanılan temel ölçek yer almaktadır.

Tablo 1.4

Temel Ölçek

Önem Dereceleri	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	İki faaliyet hedefe eşit düzeyde katkıda bulunur.
3	Orta düzeyde önemli	Deneyim ve yargı, bir faaliyeti diğerine açık şekilde tercih eder.
5	Temel veya güçlü önemli	Deneyim ve yargı, bir faaliyeti diğerine güçlü şekilde tercih eder.
7	Çok güçlü önemli	Bir faaliyet açıkça tercih edilir ve üstünlüğü uygulamada gösterilmiştir.
9	Aşırı önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesini destekleyen kanıt, mümkün olan en yüksek düzeyde doğruluk sağlar.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde, iki yargı arasındaki değerlerdir.

Kaynak: Saaty, R. W. (1987).

Bununla birlikte, klasik AHP modelinde karar vericilerin kesin değerler ile karşılaştırma yapmaları istenmektedir. Uygulamada karşılaşılan belirsizlik, bulanıklık ve öznel değerlendirmeler, klasik AHP yaklaşımında bazı sınırları ortaya koymaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar klasik AHP modeli ve bulanık mantık birleştirilerek, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) önermişlerdir. BAHP modeli, karar vericilerin değerlendirme sürecinde karşılaştıkları belirsizliklerin yönetiminde üçgensel bulanık sayıları kullanarak daha etkin bir yaklaşım sunabilmektedirler.

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP), çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan klasik Analitik Hiyerarşi Prosesi' nin (AHP), bulanık mantık ile entegre edilmiş halidir. Bunun yöntem, karar verme süreçlerinde karşılaşılan öznel ve gri durumların daha etkili şekilde yönetebilmek için geliştirilmiştir. BAHP yöntemi bulanık süreçleri modellemede bulanık mantığı kullanırken, karşılaştırma adımlarında üçgensel bulanık sayıları kullanmaktadır.

Literatürde farklı araştırmacılar tarafından önerilen birçok BAHP yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, bulanık küme teorisini kullanmasıyla alternatif seçim ve gerekçe problemlerine sistematik yaklaşım sunmaktadır. BAHP' nin teorik yapıları açısından öne çıkan en önemli üç yöntem, Van Laarhoven ve Pedrycz (1983), Buckley (1985) ve Chang (1996) tarafından geliştirilen yaklaşımlardır; bu yöntemler aşağıda incelenmiştir.

- **Van Laarhoven ve Pedrycz (1983):** Üçgensel bulanık fonksiyonları ile tanımlanan bulanık oranları karşılatırmışlardır. Bulanık ağırlıklandırmalar ve değerler, Lootsma' nın logaritmik en küçük kareler modelinin kullanarak ortaya çıkmıştır (Kahraman, C., Cengiz, U., Ruan, D., 2004).
- **Buckley (1996):** Yamuk bulanık sayıları kullanarak, yeni bir model geliştirmiştir. Bulanık ağırlıklandırmalar ve skorları geometrik ortalama ile hesaplamıştır (Kahraman, C., Cengiz, U., Ruan, D., 2004).
- **Chang (1996):** "Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP" makalesinde, ikili karşılaştırmalar için üçgensel bulanık sayıları kullanmış ve her bir kriterin önem değerlerini belirlemek için sentetik kapsam değerini hesaplamıştır. Genişletme analizi ile, karşılaştırmalar yoluyla elde edilen bulanık değerlerin, alt alternatiflerin önem değerleri altındaki performansını dikkatli bir şekilde birleştirmiştir (Chang, D. Y., 1996).

Yukarıdaki yöntemler değerlendirildiğinde, literatür içerisinde en çok Chang' ın genişletme analizi kullanılmıştır. Aşağıda Chang'ın BAHP yöntemi adımları verilmiştir.

BAHP modeli için kriterler ve alternatifler için kullanılan dilsel değerler ve üçgen bulanık sayıların karşılık ölçeği Tablo 1.5' de gösterilmiştir.

Tablo 1.5

BAHP Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayı Karşılığı

Dilsel Değişkenler	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit derecede önemli	(1, 1, 1)	(1/1, 1/1, 1/1)
Orta derecede önemli	(1, 3, 5)	(1/5, 1/3, 1/1)
Kuvvetli derecede önemli	(3, 5, 7)	(1/7, 1/5, 1/3)
Çok kuvvetli derecede önemli	(5, 7, 9)	(1/9, 1/7, 1/5)
Mutlak derecede önemli	(7, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/7)
	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1/1)
Ara değerler	(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)

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ nesneler kümesi, $U = (u_1, u_2, \dots, u_3)$ amaçlar kümesi olarak tanımlanmıştır. Her nesne ele alınmış ve her hedef ayrı bir mertebe değeri (g_i) oluşturulur. Her nesne için "m" genişletilmiş analiz değerleri elde edilir. $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^n$ ($i=1, 2, \dots, n$) ve $M_{g_i}^j$ ($j=1, 2, \dots, m$) üçgensel bulanık sayılardır.

Adım 1: Değişken i' nin problem amacına göre bulanık sentetik genişletme değeri;

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1.36a)$$

elde edilir. $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değeri için "m" değerine bulanık toplama işlemi;

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (1.36b)$$

biçimindedir.

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ elde etmek için, $M_{g_i}^j$ ($j=1, 2, \dots, m$) değerinin toplama işlemi;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j) \quad (1.36c)$$

biçiminde ve tersi;

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^n u_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^n l_j} \right) \quad (1.36d)$$

olarak hesaplanır.

Adım 2: Elde edilen bulanık sayılar karşılaştırılarak olasılık derecesi hesaplanmaktadır.

$$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1); \quad (1.37a)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup (\min (\mu_{m_1}(x), \mu_{m_2}(y))) \quad (1.37b)$$

$$y \geq x, \quad (1.37c)$$

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

$$\text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2(d)} = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer durumlar} \end{cases} \quad (1.37d)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Denklemdede, d , μ_{m_1} ve μ_{m_2} arasındaki en yüksek kesişim noktası d 'nin düşey eksenidir. M_1 ve M_2' yi karşılaştırabilmek için hem $V(M_2 \geq M_1)$ hem de $V(M_1 \geq M_2)$ hesaplanmalıdır.

Adım 3: Konveks bir bulanık sayının " k " tane bulanık sayı M_i ($i = 1, 2, \dots, k$)' dan daha büyük olma olasılığının derecesi aşağıdaki biçimdedir.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i), \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad (1.38a)$$

Bu durumda $S_i, k=1, 2, \dots, n; i \neq k$ için

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad k=1, 2, \dots, n; k \neq i \quad (1.38b)$$

olasılığı yapılabilir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (1.38c)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) n tane elemandır.

Adım 4: W ağırlık vektörünün normalize edilmesi:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (1.39a)$$

olarak bulunur ve W burada bulanık sayı değildir.

$$d(A_i) = \frac{d'(A_i)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)} \quad (1.39b)$$

biçimde hesaplanmaktadır.

- Ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak ana kriterleri ağırlıkları hesaplanmaktadır: W_{MC_i} ($i=1, 2, \dots, n$)
- Her bir alt kriterin alt ana kriterine göre değerlendirildiği bulanık ikili karşılaştırma matrisleri kullanılması ile alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanır: $W_{MC_{ij}}$ ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)
- Her bir alt kriterin alt kritere göre değerlendirildiği bulanık ikili karşılaştırma matrisleri ile alternatiflerin ağırlıkları hesaplanır: $W_{ASC_{ij}}$
- i. ana kriter ile ilişkin alt kriterlerin alternatif öncelik ağırlıkları; her bir alt kriterlerin ağırlıkları ile alternatiflerin ağırlıklarının çarpılıp toplanması ile hesaplanır.

$$A_k = \sum_{i=1}^n W_{SC_{ij}} \times W_{ASC_{ij}}, \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1.39c)$$

- Alternatiflerin hedefe ilişkin ağırlıklar, i. ana kriterin ağırlıkları ile A_{ij} ağırlıklarının toplanması ile ifade edilir.

$$A_k = \sum_{i=1}^n W_{C_i} \times A_{ij}, \quad k=1, 2, \dots, s \quad (1.39d)$$

$$\sum_{k=1}^s A_k = 1 \quad (1.39e)$$

$i = 1, 2, \dots, n$: Ana kriter sayısı

$j = 1, 2, \dots, m$: Alt kriter sayısı

s = Alternatif sayısı

4.3.2. Fermatean Bulanık COCOSO

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan COCOSO (Combined Compromise Solution), 2019 yılında Yazdani, Zarate, Kazimieras Zavadskas ve Turkis tarafından yeni bir model olarak sunulmuştur. COCOSO, karar verme problemlerinde alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanması için geliştirilmiştir (Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E. and Turskis, Z. (2019)). Bu yöntem, karar verme sürecinde doğruluğun netliği ve değerlendirilen kriterlerin belirlenmesi sürecinde daha isabetli sonuçlar sunması nedeniyle, uygun bir kriterin seçilmesinde tercih edilen bir modeldir (Phurksaphanrat, B., Panjavongroj, S. (2023)). COCOSO, CRITIC, EDAS ve WASPAS

yöntemlerinde kullanılan aşamaları bütünleştirerek hem toplam skorları hem de kişisel skorların dikkate alındığı hibrit bir yaklaşımdır.

Klasik COCOSO yöntemi, karar verme durumunda açığa çıkan belirsizlikleri doğrudan ele almamaktadır. Bu nedenle, belirsizliğin etkin bir şekilde modellenenebilmesi için Fermatean Bulanık Sayılar ve COCOSO yöntemi entegre edilerek, daha esnek bir model sunulmuştur. Bu model, klasik COCOSO yönteminin adımlarının Fermatean bulanık ortama entegrasyonu ile elde edilmiştir. Fermatean Bulanık COCOSO yöntemi, 2022 yılında Lai, Liao, Long, Kazimieras Zavadskas tarafından önerilen " A Hesitant Fermatean Fuzzy CoCoSo Method for Group Decision-Making and an Application to Blockchain Platform Evaluation" makalesinde, karar vericilerin değerlendirme aşamasında daha esnek biçimde modelleyen Hesitant Fermatean Bulanık COCOSO yaklaşımına dayanmaktadır (Lai, H., Liao, H., Long, Y., Kazimieras Zavadskas, E., 2022).

Fermatean Bulanık COCOSO (FF-COCOSO) yönteminin aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

Adım 1: Fermatean bulanık karar matrisi;

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} (\mu_{11}, v_{11}) & (\mu_{12}, v_{12}) \dots & (\mu_{1n}, v_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (\mu_{m1}, v_{m1}) & (\mu_{m2}, v_{m2}) \dots & (\mu_{mn}, v_{mn}) \end{bmatrix} \quad (1.40)$$

Burada;

- $\tilde{D}$: Fermatean Bulanık Karar Matrisi
- m : Alternatif Sayısı
- n : Kriter Sayısı
- (μ_{ij}, v_{ij}) : A_i alternatifinin, C_j kriterine ilişkin üyelik ve karşıt üyelik dereceleri.

Adım 2: Fermatean bulanık karar matrisi normalize edilmesi;

- Fayda Kriterleri için:

$$\tilde{N}_{ij} = \tilde{e}_{ij} \quad (1.41a)$$

olduğu gibi kalır.

- Maliyet Kriterleri için:

$$\tilde{N}_{ij} = \text{Com}(\tilde{e}_{ij}) = (v_{\tilde{e}_{ij}}, \mu_{\tilde{e}_{ij}}) \quad (1.41b)$$

üyelik derecesi ve karşıtlık derecesi yer değiştirir.

Adım 3: Ağırlıklı karşılaştırılabilirliğin Fermatean toplamı $\tilde{F}_i$ ve karşılaştırılabilirliğin Fermatean güç ağırlığı $\tilde{G}_i$ sıralamaları aşağıdaki verilmiştir.

$$\tilde{F}_i = \sum_{j=1}^n (w_j \tilde{e}_{ij}) \quad (1.42a)$$

$$\tilde{G}_i = \sum_{j=1}^n (\tilde{e}_{ij})^{w_j} \quad (1.42b)$$

Fermatean bulanık değerleri $\tilde{F}_i$ ve $\tilde{G}_i$ skor ve doğruluk işlemleri kullanılarak keskin değerlere F_i ve G_i dönüştürülür.

$$T(\tilde{F}_i) = \mu_{F_i}^3 - v_{F_i}^3 \quad (1.42c)$$

$$F_i = 1 - T(\tilde{F}_i) \quad (1.42d)$$

$$T(\tilde{G}_i) = \mu_{F_i}^3 - v_{F_i}^3 \quad (1.42e)$$

$$G_i = 1 + T(\tilde{G}_i) \quad (1.42f)$$

Adım 4: Birleştirilmiş değerlendirme puanları $(a_{i\mu}, a_{iv}, a_{i\gamma})$ şu şekilde hesaplanır.

$$a_{i\mu} = \frac{F_i + G_i}{\sum_{i=1}^m (F_i + G_i)} \quad (1.43a)$$

$$a_{iv} = \frac{F_i}{\min(F_i)} + \frac{G_i}{\min(G_i)} \quad (1.43b)$$

$$a_{i\gamma} = \frac{\lambda(F_i) + (1-\lambda)(G_i)}{(\lambda \max(F_i) + (1-\lambda) \max(G_i))} \quad (1.43c)$$

$$\lambda \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (1.43d)$$

genellikle 0.5 olarak kabul edilir.

Adım 5: Her bir alternatif için son puan (a_i) hesaplanır.

$$a_i = (a_{i\mu} a_{iv} a_{i\gamma})^{1/3} + \frac{1}{3}(a_{i\mu} + a_{iv} + a_{i\gamma}) \quad (1.44)$$

En yüksek puana sahip alternatif, en uygun alternatif olarak seçilir.

4.4 Şanghai ve Mersin Konteyner Terminallerinin Verimlilik Analizi

Bu çalışmada yalnızca iki alternatif limanın (Mersin Uluslararası Limanı ve Şanghai Limanı) karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Alternatif sayısının sınırlı tutulması,

çalışmanın karşılaştırmalı bir durum analizi niteliğini güçlendirmektedir. Analiz konusu olan limanlardan biri Türkiye'nin önde gelen bölgesel bir lojistik merkezi konumundayken; diğeri küresel ölçekte öncü ve yüksek kapasiteye sahip bir liman olarak konumlanmaktadır. Bu özellikleriyle söz konusu iki alternatif, analizde karşıt uçları temsil eden örneklem birimleri olarak değerlendirilmiştir. Bu sayede, kritik verimlilik kriterleri bağlamında derinlemesine bir karşılaştırma yapılması olanak tanımaktadır.

Verimlilik avantajlarının değerlendirilmesinde, belirsiz durumların olduğu bu karar ortamında, Bulanık AHP ve Fermatean Bulanık COCOSO yöntemlerinin entegrasyonu, hem kriterlerin ağırlıklandırılmasını hem de alternatiflerin performanslarının daha esnek ve kapsayıcı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemsel tercih, yalnızca nitel verilerinin ele alındığı çok kriterli karar verme yöntemlerine özgü belirsizlik durumlarında, anlamlı ve uygulanabilir sonuçlar üretmeyi hedeflemiştir.

4.4.1 Problemin Soruları

- Belirsizlik içeren karar ortamlarında liman verimliliği nasıl ölçülebilir?
- Geleneksel yöntemlerin eksikleri, bütünleşik modellerle nasıl giderilebilir?
- AHP ve COCOSO yöntemlerinin entegrasyonu, karar sürecini nasıl güçlendirir?
- Fermatean Bulanık mantık, verimlilik analizinde ne tür avantajlar sağlar?
- Şanghay ve Mersin limanlarının operasyonel performansı hangi yönlerden farklılaşmaktadır?

4.4.2 Analiz Sürecinin Algoritması

Çalışmanın analizinde Bulanık AHP ve Fermatean Bulanık COCOSO yöntemleri kullanılmıştır. Tablo 1.6 'da analizin çözüm aşamaları gösterilmektedir.

Tablo 1.6

Analiz Sürecinin Algoritması

Çözüm Aşamaları	Yürütülen Aşama
1	Verimlilik analizi için kriterlerin belirlenmesi
2	Belirlenen kriterlerin hiyerarşi tablosunun oluşturulması
3	Kriterlerin ve alternatiflerin sezgisel üçgensel bulanık sayılarla derecelendirilmesi
4	Kriterlerin ve alternatiflerin Bulanık AHP ile ağırlıklandırılması

5	Ağırlıklandırılan kriterlerin ve alternatiflerin Fermatean Bulanık COCOSO ile sıralanması
6	Her bir aşama için R programlama için sonuç elde edilmesi
7	En verimli kriter veya kriterlerin belirlenmesi

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

4.4.3 Veri Seti ve Araştırmanın Analiz Kısmı

Araştırmanın uygulama aşamasında, konteyner limanlarının verimliliğinin karşılaştırılması için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak analizi sağlanmıştır. Çalışmanın amacı kapsamında, Türkiye bölgesinden Mersin Uluslararası Limanı (MIP) ve Çin bölgesinden ise Şanghay Limanı (SIPG) seçilmiştir. Her iki liman, hem ulusal hem de uluslararası pazar içerisinde stratejik öneme sahip olması nedeniyle karşılaştırmalı analiz uygulaması için tercih edilmiştir.

Veri seti için seçilen Mersin ve Şanghay konteyner limanlarının lojistik kapasitesi ve ticaret hacmi çalışmanın temel çerçevesini oluşturmaktadır. Aşağıda, çalışmada kullanılan iki stratejik merkezin temel özellikleri kısaca tanıtılmıştır.

- **Mersin Uluslararası Limanı (MIP);** Akdeniz'in doğu kıyısında yer alan ve Türkiye'nin en büyük konteyner limanlarından biri olan stratejik bir lojistik merkezdir. Asya, Avrupa ve Afrika arasında transit taşımayı optimize etme kapasitesiyle bölgesel taşımacılıkta önemli bir geçiş noktasıdır. MIP' in Süveyş Kanalı'na yakınlığı, onu uluslararası tedarik zinciri açısından avantajlı bir konuma getirmektedir. Bu avantajı destekleyen Mersin Serbest Bölgesi, limanla doğrudan entegre çalışmakta ve liman içerisinden "koridor" adı verilen özel bağlantı yolları ile gümrük işlemi gerektirmeyen operasyonlara imkan sağlamaktadır. 2007 yılında özelleşen MIP, o tarihten bu yana yaklaşık 25 milyon TEU konteyner elleçleyerek önemli bir operasyonel kapasiteye ulaşmıştır.

Görsel 1.14

Mersin Uluslararası Limanı (MIP)



Kaynak: <https://mersinport.com.tr>

- **Şanghay Limanı (SIPG);** Yangtze Nehri Deltası'nın stratejik bir konumu ve güçlü altyapısı sayesinde, Çin'in " Tek Kuşak Tek Yol" projesinin ana lojistik merkezlerinden bir konumundadır. Bu nedenle, SIPG hem Asya-Pasifik bölgesinin hem de uluslararası ticaret ağlarının en kritik konum noktalarından biri olarak ön plana çıkmaktadır. Dünyanın en büyük konteyner liman unvanını taşıyan liman, 2023 yılında 49.3 milyon TEU' luk konteyner elleçleme hacmiyle küresel deniz ticaretinin yaklaşık %7' sini tek başına gerçekleştirmiştir. Özellikle 2017 yılında hizmete giren ilk tam otomatik konteyner terminali olan Yangshan Derin Su Limanı, operasyonel verimliliği büyük ölçüde artırmıştır. 2024 yılında tamamlanan genişleme projesiyle limanın yıllık kapasitesini 6 milyon TEU daha artıran liman, blockchain tabanlı dijital platformları ve yapay zeka destekli lojistik sistemleri sayesinde ortalama gümrük işlem sürelerini %30 oranında azaltmıştır. Çin'in toplam ihracatının yaklaşık %30' unu tek başına gerçekleştiren ve 200' den fazla ülkeyle doğrudan ticaret bağlantısı bulunan liman, yalnızca Çin ekonomisi için değil, uluslararası tedarik zincirleri için de vazgeçilmez bir rol üstlenmektedir. Tüm bu özellikleriyle Şanghay Limanı, sadece bir yük elleçleme merkezi değil, aynı zamanda uluslararası ticaretin yönünü belirleyen stratejik bir lojistik platformdur.

Görsel 1.15

Şanghay Limanı (SIPG)



Kaynak: <https://www.porttechnology.org>

Veri seti, liman işletmelerinin resmi sitesinden, sektörel kurum ve kuruluşlar ile yayınlanmış liman raporları gibi ikinci kaynaklardan elde edilmiştir. Veri setinde; konteyner elleçleme kapasitesi, vinç sayısı, rıhtım uzunluğu ve stok alanı gibi somut ve karşılaştırılabilir kriterler ele alınmıştır. Bu çalışmada herhangi bir saha çalışması, anket veya uzman görüşlerine başvurulmamış; tamamen mevcut veriler üzerinden analiz gerçekleştirilmiştir.

4.4.4 Verimlilik Kriterlerinin Belirlenmesi

Liman işletmelerinin performans verimliliği, hem sürdürülebilir kalkınma hem de lojistik süreçlerin kalitesi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu araştırmada Mersin ve Şanghay konteyner limanlarının verimlilik derecelerinin karşılaştırılması olarak analiz edilebilmesi için objektif ve ölçülebilir düzeyde kriterler belirlenmelidir. Analizde kullanılması gereken kriterler, limanların operasyonel başarılarını nicel verilerle incelemeye destek olacak ve karşılaştırma aşamasında sağlıklı bir temele oturmasına yardım edecektir. Bu nedenle, aşağıda açıklanan kriterler, kapsamlı bir literatür taraması sonucunda elde edilmiştir. Bu kriterler;

- **Konteyner vinç sayısı:** Konteyner vinçleri, gemiden karaya ya da karadan geriye konteyner operasyonlarını gerçekleştirme işlemlerini sağlayan ekipmanlardır. Vinç sayısı, operasyon verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu sayının fazla olması, birden fazla geminin elleçleme faaliyetlerin aynı andan olmasını sağlarken, teknolojik olarak üstün sağlaması elleçleme verimliliğini

sağlamaktadır (Notteboom, T., & Rodrigue, J. P., 2022; Drewry, 2023). Eğer limanın vinç sayısı düşük ve teknoloji donanımlarından yoksun ise, gemilerin limanda bekleme sürelerinin artmasına ve doğrudan maliyetin artmasına olanak taşımaktadır (UNCTAD, 2023).

- **Konteyner rıhtım uzunluğu:** Konteyner rıhtım uzunluğu, gemilerin yanaşabileceği noktayı ifade etmektedir. Bu uzunluk, bir limanın aynı anda hizmet verebileceği gemi sayısını belirlemektedir. Uzun rıhtımlar, büyük gemilerin yanaşabilmesi ve elleçlenen konteyner hacmini doğrudan etkilemektedir (Talley, W.K., 2023). Aynı zamanda su derinliği ile birlikte liman verimliliği belirlemektedir (PIANC, 2022).
- **Konteyner stok alanı:** Liman sahasında konteynerlerin depolandığı, gemilere yüklenmeden ya da boşaltıldığı alanı ifade etmektedir. Stok alanı verimliliği, liman trafiğini ve konteynerlerin sahada etkili biçimde yerleştirmesine olanak taşımaktadır (Notteboom, T., 2013).
- **Yıllık konteyner hacmi:** Limanın bir yıl boyunca işlendiği toplam konteyner sayısını ifade etmektedir. Bu hacim, bir limanın taşıma kapasitesini ve pazardaki rolünü gösteren en önemli faktördür. Yüksek konteyner hacmi, sadece limanın altyapısının büyüklüğünü değil, aynı zamanda lojistik verimliliğini ve ticaret yapısıyla doğrudan ilişkilidir (Notteboom, T., Rodrigue, J. P., 2022).
- **Personel sayısı:** Limanda çalışan toplam personel sayısını tanımlanır ve limanın büyüklüğü ve komplike yapısı ile doğru orantılıdır. Büyük limanlar, operasyonelleri daha hızlı ve verimli şekilde yönetebilmesi için daha fazla personele ihtiyaç duymaktadır. Yüksek personel sayısı, genel olarak daha yoğun operasyonları ve büyük limanların gösterimi olsa da, aynı zamanda işletme maliyetlerini de etkileyebilir. Bu nedenle personel sayısının, otomasyon seviyesi ile artırılması verimliliğinde artmasına yardımcı olmaktadır (Notteboom, T., Rodrigue, J. P., 2019).

Yukarıda açıklanan kriterler, Bulanık AHP ve Fermatean Bulanık COCOSO ile analizi edilerek karşılaştırılması sağlanmıştır.

4.4.5 Mersin ve Şanghay Konteyner Limanlarının Karşılaştırılmasına Yönelik Kriterlerin ve Alternatiflerin Analizi

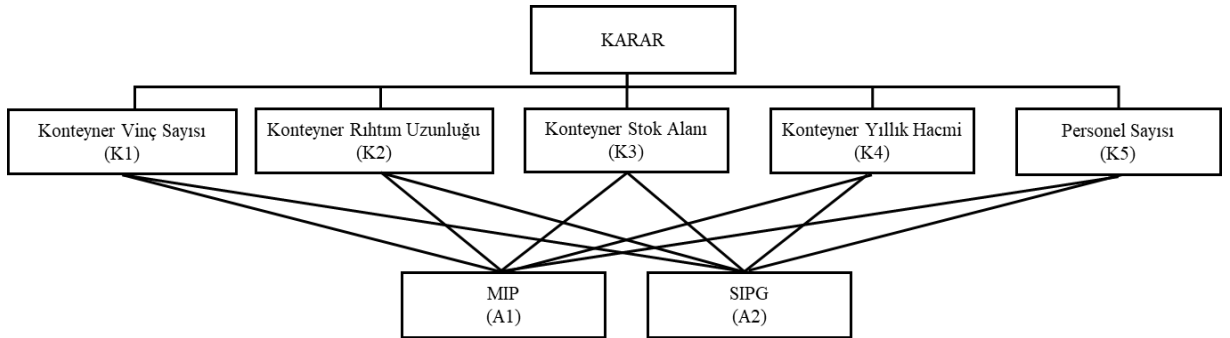
Bu bölümde Mersin ve Şanghay konteyner limanlarının verimlilik analizi için araştırma için belirlenen alternatiflerin ve kriterlerin ağırlıklandırılması amacıyla Bulanık AHP yöntemi kullanılmaktadır. Literatür taraması ve sektörel değerlendirilmeler sonucu belirlenen kriterleri, karar vericilere yönelik anket ya da uzman görüşü kullanılmadan, sezgisel üçgensel bulanık sayılar ile karşılaştırma matrisi temsil etmektedir. Bu aşamada, değerlendirilmenin daha objektif değerlendirilmesi için anket ve uzman görüşü kullanılmamaktadır. Aşağıda Bulanık AHP adımları detaylandırılmaktadır.

4.4.5.1 Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Araştırma için kullanılacak kriterler konteyner vinç sayısı, konteyner rıhtım uzunluğu, konteyner stok alanı, konteyner yıllık hacmi ve personel sayısı olarak belirlenmiştir. Alternatif olarak ise Türkiye'den Mersin Uluslararası Limanı (MIP) ve Asya bölgesinden Şanghay Limanı (SIPG) seçilmiştir. Konteyner limanları için oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 1.16 'de gösterilmiştir.

Şekil 1.16

Konteyner Limanlarının Hiyerarşik Yapısı



Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

4.4.5.2 Kriterlerin ve Alternatiflerin Sezgisel Üçgensel Bulanık Sayılar ile Derecelendirme İşlemi

Bu bölümde belirlenen kriterler ve alternatif olarak seçilen MIP ve SIPG konteyner terminalleri sezgisel üçgensel bulanık sayılar ile derecelendirilmiştir. Bu işlemin yapılmasının sebebi, araştırmada uzman görüşü ya da anket uygulaması kullanılmadığı için ölçeklendirme kısmına veriye dayalı olarak bir derecelendirme matrisi uygulanmıştır. Bu analiz kısmı için daha tutarlı ve yaklaşık değerler elde edilmesini sağlamıştır.

Adım 1: Tablo 1.7 'de, kriterler için bir sezgisel üçgensel bulanık sayılar matrisi oluşturulmuştur. Kriterler;

- Konteyner Vinç Sayısı (K1)
- Konteyner Rıhtım Uzunluğu (K2)
- Konteyner Stok Alanı (K3)
- Konteyner Yıllık Hacmi (K4)
- Personel Sayısı (K5).

Tablo 1.7

Kriterlerin Sezgisel Üçgensel Bulanık Dereceleri

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1, 1, 1	2, 3, 4	3, 4, 5	1, 2, 3	4, 5, 6
K2	1/4, 1/3, 1/2	1, 1, 1	1/3, 1/2, 1	1, 2, 3	3, 4, 5
K3	1/5, 1/4, 1/3	1, 2, 3	1, 1, 1	3, 4, 5	6, 7, 8
K4	1/3, 1/2, 1	1/3, 1/2, 1	1/5, 1/4, 1/3	1, 1, 1	2, 3, 4
K5	1/6, 1/5, 1/4	1/5, 1/4, 1/3	1/8, 1/7, 1/6	1/4, 1/3, 1/2	1, 1, 1

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Adım 2: Her bir alternatif her bir kritere göre derecelendirme matrisi aşağıda belirtilmiştir. Alternatifler;

- Mersin Uluslararası Limanı (MIP): A1
- Şanghay Limanı (SIPG): A2

1. Konteyner Vinç Sayısı (K1)

Tablo 1.8

K1 ve A1-A2 Sezgisel Üçgensel Bulanık Dereceleri

Alternatifler	K1
A1	7, 9, 9
A2	7, 9, 9

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

2. Konteyner Rıhtım Uzunluğu (K2)

Tablo 1.9*K2 ve A1-A2 Üçgensel Bulanık Dereceleri*

Alternatifler	K2
A1	3, 5, 5
A2	7, 9, 9

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.**3. Konteyner Stok Alanı (K3)****Tablo 1.10***K3 ve A1- A2 Üçgensel Bulanık Dereceleri*

Alternatifler	K3
A1	7, 9, 9
A2	7, 9, 9

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.**4. Konteyner Rıhtım Uzunluğu (K4)****Tablo 1.11***K4 ve A1-A2 Sezgisel Üçgensel Dereceleri*

Alternatifler	K4
A1	7, 9, 9
A2	7, 9, 9

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.**5. Personel Sayısı (K5)****Tablo 1.12***K5 ve A1-A2 Sezgisel Üçgensel Dereceleri*

Alternatifler	K5
A1	3, 5, 5
A2	7, 9, 9

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.**4.4.5.3 Kriter ve Alternatiflerin Bulanık AHP Yöntemi ile Ağırlıklandırılması**

Bulanık AHP yöntemi için Chang (1996)'a ait olan genişletme analizi aşamaları kullanılmıştır. Bir önceki bölümde hazırlanan sezgisel üçgensel bulanık sayılar ile

oluşturulan kriter ve alternatif matrisleri, bu aşamada Bulanık AHP metodu ile ağırlıklandırılması yapılmıştır. Bu adımların her bir R programlama ile hazırlanmıştır.

- **Kriterler için Bulanık AHP:** Tablo 1.13 'de Bulanık AHP adımları R programlamada işlenerek, aşağıdaki kriter ağırlıkları sağlanmıştır.

Tablo 1.13

Kriterlerin Bulanık AHP Ağırlıkları

Kriterler	F-AHP ile Ağırlıkları
K1	0.329
K2	0.167
K3	0.335
K4	0.116
K5	0.052

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Bulanık AHP ile bulunan kriter ağırlıklarının tutarlılık oranları aşağıda gösterilmiştir. Bu değerler üzerinden;

CI: - 0.198

RI: 1.12 ise,

Tutarlılık oranı (CR): - 0.177 olarak hesaplanmıştır. $CR < 0.1$ ' den küçük olduğu durumlarda matrisin tutarlı olduğu koşulu sağlanmaktadır.

- **Alternatifler için Bulanık AHP:** Tablo 1.14' de Bulanık AHP adımları R programlamada işlenmesiyle alternatiflerin ağırlık skorları belirlenmiştir.

Tablo 1.14

Alternatiflerin Bulanık AHP Ağırlık Skorları

Alternatifler	F-AHP ile Ağırlık Skorları
A1	225 bin
A2	3.3 milyon

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Bulanık AHP ile sağlanan alternatiflerin ağırlık skorları üzerinden tutarlılık oranları aşağıda gösterilmiştir. Bu ağırlıklar çerçevesinde;

$$CI = -0.198$$

$$RI = 1.12$$

Tutarlılık Oranı (CR) = -0.177 olarak hesaplanmıştır. $CR < 0.1$ ' den küçük olduğu durumlarda matrisin tutarlı olduğu koşulu sağlanmaktadır.

4.4.5.4 Kriterlerin ve Alternatiflerin Fermatean Bulanık COCOSO Yöntemiyle Sıralanması

Genel olarak klasik COCOSO yöntemi alternatiflerin ağırlıklandırılmasında kullanılmaktadır. Bu bölümde, ağırlıkları belirlenen kriterler ve alternatifler temel alınarak, Fermatean Bulanık COCOSO yöntemiyle sıralanması için kullanılmıştır. Bu yöntemin her aşaması R programlama ile gerçekleştirilmiş ve yaklaşık değerlere ulaşılarak sıralama oluşturulmuştur.

Kriterler;

- Konteyner Vinç Sayısı (K1)
- Konteyner Rıhtım Uzunluğu (K2)
- Konteyner Stok Alanı (K3)
- Konteyner Yıllık Hacmi (K4)
- Personel Sayısı (K5);

Alternatifler;

- Mersin Uluslararası Limanı (MIP): A1
- Şanghay Limanı (SIPG): A2,

olmak üzere tablo 1.15 ve 1.16 Fermatean Bulanık COCOSO aşamaları ile elde edilen sonuçlar ve önem sıralamaları aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.15

Alternatiflerin Fermatean Bulanık COCOSO Sonuçları ve Önem Sıraları

Alternatif	Si	Pi	KIA1	KIA2	KIA3	Birleşik Skor	Sıra
A2	0.72	0.19	0.41	1.43	0.85	1.528	1
A1	0.65	0.17	0.36	1.31	0.76	1.382	2

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Tablo 1.16

Kriterlerin Fermatean Bulanık COCOSO Sonuçları ve Önem Sıraları

Kriterler	Ağırlıklar	Sıra
K3	0.335	1
K1	0.329	2
K2	0.167	3
K4	0.116	4
K5	0.052	5

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

5 Sonuç ve Öneriler

Uluslararası sektörel ve ekonomik gelişmeler, liman endüstrisinde yaşanan rekabetçi ortamı doğrudan etkilemekte ve limanların global ticaret ağları içerisindeki rolünü yeniden belirlemektedir. Artan ticaret yoğunluğu, teknolojinin giderek artan etkisi, operasyonlarda kullanılan ekipmanların giderek dijitalleşmesi ve sürdürülebilir odaklı yatırımlar, liman performans göstergelerinin yalnızca fiziki kapasitesiyle değil, aynı zamanda teknoloji, çevresel etkenler ve entegre halde çalışabilen sahalar ile değerlendirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu gelişmeler değerlendirildiğinde, limanların performans ve rekabet gücünü artırabilmeleri için, bu sahaların verimliliklerinin analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu aşamada, konteyner limanlarının faaliyet süreçlerindeki verimliliği ön plana çıkmakta ve global ticaretin yönünü belirlemektedir.

Konteyner limanları ülkelerin rekabet düzeylerini belirlemede kritik unsur olmakta ve bu sektörün rekabet içerisindeki yerini yönlendirmektedir. Bu yüzden, limanların operasyonel verimliliği, küresel ticaretin sorunsuz ve dengeli olarak ilerleyebilmesini doğrudan etkilemektedir. Limanların altyapı kapasitesi, teknolojik sistemler ve personel yönetimi gibi kriterler, verimlilik üzerinde doğrudan etkili olmakta ve limanların stratejik önem düzeylerini tespit etmektedir. Bu aşamada, konteyner limanlarının operasyonel verimliliğinin detaylı analizi, hem liman yöneticilerinin karar verme aşamasında hem de ülkelerin küresel rekabet gücünü artırma çalışmalarında kritik rol oynamaktadır.

Bu araştırma kapsamında, Türkiye'nin en önemli konteyner limanlarından biri olan Mersin Uluslararası Limanı (MIP) ile dünyanın en büyük ve en yoğun konteyner limanlarından biri olan Şanghay Limanı (SIPG)'nin performans verimlilik düzeyleri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu karşılaştırma, limanların operasyonel kapasitesi, altyapı özellikleri ve personel gibi gösterge esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın amacı, farklı coğrafyada bulunan bu iki konteyner limanın güçlü ve zayıf yönlerini belirleyerek, operasyonel kapasitesini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek ve elde edilen sonuçlar çerçevesinde limanların verimliliklerini sürdürülebilir şekilde ilerleyebilmesi için öneriler geliştirmektir.

Çalışmada, MIP ve SIPG' nin verimlilik kriterleri, mevcut literatür çerçevesinde objektif ve ölçülebilir parametreler esas alınarak değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, anket veya uzman görüşü kullanılmadığı için, Bulanık AHP ile ağırlıklandırma işlemi öncesi, veri odaklı Sezgisel Üçgensel Bulanık Derecelendirme yöntemi kullanılmıştır. Sonraki aşamada, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (Bulanık AHP) yöntemi ile kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıkları belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen kriter ve alternatif ağırlıkları Fermatean Bulanık COCOSO metoduyla sıralanması ve karşılaştırılması sağlanmıştır. Böylece limanların genel performans skorları elde edilmiştir.

Literatür kapsamında belirlenen beş temel kriter sırasıyla konteyner vinç sayısı, konteyner rıhtım uzunluğu, konteyner stok alanı, yıllık konteyner hacmi ve personel sayısıdır. Bu beş kriterin Sezgisel Üçgensel Bulanık Derecelendirme yöntemiyle üçgensel sayıları tanımlanmıştır. Bu sayılar esas alınarak, Bulanık AHP yöntemi sonucunda kriterler arası en yüksek öneme sahip olanın K3 ve ağırlığı ise 0.335 olarak saptanmıştır. Ayrıca, Bulanık AHP yönteminden sonra, hem kriterler hem de alternatifler için tutarlılık oranlarının kabul edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiş ve sonuçların güvenilirliği teyit edilmiştir. Alternatifler açısından bakıldığında, hem Bulanık AHP hem de Fermatean Bulanık COCOSO analizi sonucunda A2' nin A1' e göre daha yüksek verimlilik skoruna sahip olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, en yüksek ağırlığa sahip olan K3 ve K1 kriterleri, liman altyapısının güçlendirilmesi ve teknolojik ekipmanların artırılmasının ne kadar önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu kriterlerin çerçevesinde, global çapta konteyner merkezi olan SIPG' nin, ölçek ekonomisi ve yüksek otomasyon seviyesi sayesinde büyük bir rekabet avantajı elde ettiği gözlenmektedir. Bu durum, SIPG' nin geniş altyapı

imkanları ve gelişmiş teknolojik ekipmanları sayesinde operasyonel verimliliğini artırarak, konteyner trafiğini verimli bir şekilde yönetebildiğini göstermektedir.

Diğer taraftan, MIP ise, bölgesel sektör dinamiklerine uygun ve güçlü faaliyet göstermekle birlikte, saha büyüklüğü ve otomasyon düzeyi bakımından SIPG' nin gerisinde kalmaktadır. Bu fark, limanların rekabet avantajında altyapı yatırımlarına ve teknolojik gelişmelere öncelik tanınmasının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca, K2 ve K4 kriterler gibi fiziksel kapasiteyi doğrudan etkileyen faktörler limanların aynı anda birden fazla gemiye hizmet vermesini sağlamaktadır. Son olarak K5 kriteri değerlendirildiğinde, limanın insan gücü yerine dijital sistemlere ve teknolojik ekipmanlarının ön plana çıktığı görülmektedir. Sonuç olarak, MIP sürdürülebilir büyüme ve rekabet gücünü elde edebilmesi için konteyner saha alanını genişletmeli ve otomasyon sistemlerine yatırım yapması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Agerschou, H., Lundgren, H., Sorensen, T., Ernst, T., Korsgaard, J., Schmidt, L. R., & Chi, W. K. (1985). *Planning and design of ports and marine terminals*. John Wiley and Sons Ltd. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(86\)90017-8](https://doi.org/10.1016/0191-2607(86)90017-8)
- Akıncı, S., & Ünder, H. A. (2013). *Klasik mantık* (Yay. No: 2814; AÖF Yay. No: 1772). Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Al-Eraqi, A.S., Mustafa, A., Khader, A.T., Barros, C.P., (2008) Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: Application of DEA Using Window Analysis. *European Journal of Scientific Research*, Cilt 23, Sayı 4, s: 597-612
- Alnipak, S. Bulanık AHP yöntemi ile konteyner terminalleri için RFID sistemi seçimi ve Türkiye'deki uygulaması.
- Altınçubuk, F. (2000). *Liman idare ve işletmesi*. Deniz Ticaret Odası Yayınları.
- Altıntaş, F. F. (2021). G7 ülkelerinin bilgi performanslarının analizi: COCOSO yöntemi ile bir uygulama. *Journal of Life Economics*, 8(3), 337-347.
- Arman, K., & Organ, A. (2023). AB'YE ÜYE VE ADAY ÜLKELERİN LOJİSTİK PERFORMANSLARININ MEREC VE COCOSO YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ. *Uluslararası Ticaret ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 36-46.
- Atanassov K.T. (1986) Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets Syst* 20:87–96
- Atanassov, K. T. (1983). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20, 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Ateş, A. (2010). Türkiye konteyner terminallerinde verimlilik analizi.
- Ateş, A., & Esmer, S. (2013). Türk konteyner terminalleri üzerinde 2009 yılı küresel finans krizinin etkileri. *Sayıştay Dergisi*, (91), 105-125.
- Ayaz, İ. S., & Bucak, U. (2024). Liman Sıkışıklığı Faktörleri ve Çözümüne Yönelik Stratejilerin Analizi. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences*, 10(2), 116-130.
- Aytekin, A. (2023). Çok kriterli karar analizi. Nobel Bilimsel Eserler. ISBN: 978-625-433-633-1
- Baştuğ, S., & Esmer, S. (2022). Konteyner Taşımacılığı Pazarında Sürdürülebilir Liman Rekabetinin Belirleyicileri: Sistemik Literatür Araştırması. *İzmir İktisat Dergisi*, 37(1), 34-52.
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). Bulanık mantık ilke ve temelleri. Bıçaklar Kitabevi.
- Baykal, R. (2012). *Karma taşımacılık yaklaşımıyla limanlar ve terminaller*. Birsan Yayınevi.
- Bayraktutan, Y., & Özbilgin, M. (2013). Limanların uluslararası ticarete etkisi ve Kocaeli limanlarının ülke ekonomisindeki yeri. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 26, 15.
- Branch, A. E. (1986). *Elements of port operation and management*. [Kitap]. [Yayınevi belirtilmemiş].
- Brooks, M. R., & Pallis, A. A. (2008). Assessing port governance models: Process and performance components. *Maritime Policy & Management*, 35(4), 411–432. <https://doi.org/10.1080/03088830802215060>
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*, 17(3), 233-247.

- Candan, G. (2019). Lojistik performans değerlendirmesi için bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleri ile bütünleşik bir yaklaşım. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(5), 277-286.
- Chen, W. (2024). Port expansion projects in China. *Asian Logistics Review*.
- Culliane, K., Wang, T., (2010) The Efficiency Analysis of Container Port Production Using DEA Panel Data Approaches. *OR Spectrum*, 32, 717-738
- Cullinane, K., Song, D. W. (2006) Estimating the Relative Efficiency of European Container Ports: A Stochastic Frontier Analysis. *Research in Transportation Economics* Cilt 16 Port Economics, Eds Cullinane, K., and Talley, W. K. Amsterdam, Netherlands.
- Cullinane, K., Song, D. W. (2003) A Stochastic Frontier Model of the Productive Efficiency of Korean Container Terminals. *Applied Economics*, 35
- Cullinane, Kevin, & Song, Dong-Wook, & Gray, R. (2002) A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia: Assessing the Influence of Administrative and Ownership Structures, *Transportation Research Part A*, Cilt 36, s:743-762
- Çağlar, V. (2012). *Türk özel limanlarının etkinlik ve verimlilik analizi* (Doctoral dissertation, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Çağlar, V., & Oral, E. Z. (2011). Liman Verimlilik ve Etkinlik Ölçme Yöntemlerinin Analizi. *Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 666, 667.
- Çağlar, V., & Oral, E. Z. (2011). Liman Verimlilik ve Etkinlik Ölçme Yöntemlerinin Analizi. *Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 666, 667.
- Çakar, T. (2019). Bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemleri. İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları. ISBN: 978-605-4827-65-7
- Çelik, Y., & Başarıcı, A. S. (2021). LİMAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE KRİTERLERİ. *Mersin Üniversitesi Denizcilik Ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 136-159. <https://doi.org/10.54410/denlojad.1011704>
- Çetinkaya, A. (2023). Bulanık mantık ve Python uygulamaları. İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları. ISBN: 978-605-4827-98-5
- Çin Ulaştırma Bakanlığı: <https://www.mot.gov.cn>
- Deniz Ticaret Odası: <https://www.denizticaretodasi.org.tr>
- Denizcilik Genel Müdürlüğü: <https://denizcilik.uab.gov.tr>
- Ecer, F., & Güneş, E. (2024). G7 ülkelerinin bilgi iletişim teknoloji düzeylerini belirleme: MEREC-CRITIC entegre ağırlıklı CoCoSo metodolojisi. *Journal of Mehmet Akif Ersoy University Economics and Administrative Sciences Faculty*, 11(1), 219-242.
- Editör. (Tarih yok). Türk limanlarının karşısındaki rekabet riski. *Deniz Haber*. <https://www.denizhaber.com/yazarlar/editor/turk-limanlarinin-karsisindaki-rekabet-riski/122377>
- Erdal, M. (Ed.). (2017). Konteyner deniz ve liman işletmeciliği. Beta Yayınları. ISBN: 978-605-333-863-5
- Ergülen, A., & Bolayır, B. (2020). Bulanık mantık, doğrusal programlama ve bulanık doğrusal programlama. Ekin Basım Yayın. ISBN: 978-6257983402

- Eroğlu, G. (2024). Klasik mantıktan modern mantığa geçiş: Modern mantığın doğuşuna temel sayılabilecek bazı hususlar. *Hikmet Yurdu Düşünce-Yorum sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 5(9), 115-136.
- Esmer, S. (2010). *Konteyner terminallerinde lojistik süreçlerin optimizasyonu ve bir simülasyon modeli*. Dokuz Eylül Yayınları.
- Esmer, S. (2019). Liman ve terminal yönetimi (LOJ406U). Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Esmer, S. (2019). *Liman ve terminal yönetimi*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Esmer, S. (Tarih yok). *Konteyner terminallerinde lojistik süreçlerin optimizasyonu ve bir simülasyon modeli* (Yüksek lisans tezi). <http://hdl.handle.net/20.500.12397/13898>
- Garg, H., Shahzadi, G., & Akram, M. (2020). Decision-making analysis based on Fermatean fuzzy Yager aggregation operators with application in COVID-19 testing facility. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020(1), 7279027.
- Golui, S., Mahapatra, B.S., Mahapatra, G.S.: A new correlation-based measure on Fermatean fuzzy applied on multi-criteria decision making for electric vehicle selection. *Expert Syst. Appl.* 237, 121605 (2024). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121605>
- Güzey, H. (2019). *Bir liman işletmesi için kapasite yeterlilik analizi* (Master's thesis, Bursa Uludag University (Turkey)).
- Hadi, A., Khan, W., & Khan, A. (2021). A novel approach to MADM problems using Fermatean fuzzy Hamacher aggregation operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(7), 3464-3499.
- <https://www.ship-technology.com>
- Kabak, M., & Erdebili, B. (Ed.). (2021). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri*. Nobel Akademik Yayıncılık. ISBN: 9786254398292
- Kalmar Global. (t.y.). *Straddle carriers*. <https://www.kalmarglobal.com>
- Karuppiyah, K., & Sankaranarayanan, B. (2023). An integrated multi-criteria decision-making approach for evaluating e-waste mitigation strategies. *Applied Soft Computing*, 144, 110420.
- Kendir, T. E., & Bucak, U. Konteyner Limanlarında Geleneksel İstifleme Yöntemlerinin Kaynak Temelli Yaklaşım Bağlamında Bulanık AHP Yöntemiyle Analizi: Sistemsel Bir Öneri. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (223), 64-78.
- Kendir, T. E., & Bucak, U. Konteyner Limanlarında Geleneksel İstifleme Yöntemlerinin Kaynak Temelli Yaklaşım Bağlamında Bulanık AHP Yöntemiyle Analizi: Sistemsel Bir Öneri. *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (223), 64-78.
- Kim, K. H., & Günther, H. O. (2007). Container terminals and terminal operations. In K. H. Kim & H. O. Günther (Eds.), *Container terminals and cargo systems* (pp. 1–30). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49550-5_1
- Kim, K. H., & Park, Y. (2004). A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research*, 156(3), 752–768. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00133-4)
- Lai, H., Liao, H., Long, Y., & et al. (2022). A hesitant Fermatean fuzzy CoCoSo method for group decision-making and an application to blockchain platform evaluation. *International Journal of Fuzzy Systems*, 24, 2643–2661. <https://doi.org/10.1007/s40815-022-01319-7>

- Lai, H., Liao, H., Wen, Z., Zavadskas, E. K., & Al-Barakati, A. (2020). An improved CoCoSo method with a maximum variance optimization model for cloud service provider selection. *Engineering Economics*, 31(4), 411-424.
- Liebherr. (t.y.). *Gantry crane*. <https://www.liebherr.com>
- Liu, H., & Wang, Y. (2023). Digital transformation in port operations. *International Shipping Journal*.
- Mangan, J., Lalwani, C., & Fynes, B. (2007). Roles for sea ports in the context of varying supply chain strategies: The development of port-centric logistics. In *Developing Sustainable Collaborative Supply Chains* (pp. 585–604). Nottingham University Business School.
- MARTINEZ-BUDRIA, E., DIAZ-ARMAS, R., NAVVARO-IBANEZ, M. ve RAVELO-MESA, T. (1999), A Study of the Efficiency of Spanish Port Authorities Using Data Envelopment Analysis, *International Journal of Transport Economics*, 26 (2), 237-253. <https://www.researchgate.net/publication/372568009>
- Mersin Deniz Ticaret Odası: <https://mdto.org.tr>
- Mersin Limanı: <https://mersinport.com.tr>
- Mishra, A. R., Rani, P., & Pandey, K. (2022). Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 1-17.
- MOFCOM. (2024). *China's foreign trade statistics*. [Yayınevi belirtilmemiş].
- NDRC. (2023). *Belt and Road Initiative progress report*. [Yayınevi belirtilmemiş].
- Nehir, E. M. (2022). Global liman işletmelerinde verimlilik ölçümü: Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık veri zarflama analizi= Efficiency measurement in global port operations: Fuzzy analytical hierarchy process and fuzzy data envelopment analysis.
- Notteboom, T. (2013). Maritime transportation and seaports. In J. Grugel & J. Rigg (Eds.), *The SAGE handbook of transport studies* (pp. 83–102). Sage Publications.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2012). The corporate geography of global container terminal operators. *Maritime Policy & Management*, 39(3), 249–279. <https://doi.org/10.1080/03088839.2012.671970>
- Notteboom, T., Coeck, C. (2000) Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models. *International Journal of Maritime Economics*, 2(2), s: 83-106
- Özlem, D. (2004). Mantık: Klasik/Sembolik Mantık, Mantık Felsefesi (7. baskı). İnkılâp Kitabevi.
- Paksoy, T., Pehlivan, N. Y., & Özceylan, E. (2013). Bulanık küme teorisi: Bulanık matematiksel programlamaya giriş (1. basım). AYIN Yayıncılık. ISBN: 978-605-133-514-8
- Pamucar, D., Ulutaş, A., Topal, A., Karamaşa, Ç., & Ecer, F. (2024). Fermatean fuzzy framework based on preference selection index and combined compromise solution methods for green supplier selection in textile industry. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 11(1), 2319786.
- Pestana Barros, C. (2003). The Measurement of efficiency of Portuguese Sea Port Authorities with DEA. *International journal of transport economics: Rivista internazionale di economia dei trasporti*: XXX, 3, 2003, 1000-1020.

- POITRAS, G., TONGZON, J. ve LI, H. (1996), Measuring Port Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis, Department of Economics and Statistics, National University of Singapore. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/113953>
- Rani, P., Mishra, A.R. Interval-valued fermatean fuzzy sets with multi-criteria weighted aggregated sum product assessment-based decision analysis framework. *Neural Comput & Applic* 34, 8051–8067 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06782-1>
- ROLL, Y. ve HAYUTH, Y. (1993), Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA), *Maritime Policy and Management*, 20 (2), 153-161. <https://doi.org/10.1080/030888393000000025>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176.
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073–1076.
- Seatrade Maritime. (2024). Shanghai port handles 50 million TEU in 2024. <https://www.seatrade-maritime.com/ports-logistics/shanghai-port-handles-50-million-teu-in-2024>
- Senapati, T., & Yager, R. R. (2019). Some new operations over Fermatean fuzzy numbers and application of Fermatean fuzzy WPM in multiple criteria decision making. *Informatica*, 30(2), 391-412.
- Senapati, T., & Yager, R. R. (2020). Fermatean fuzzy sets. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, 11, 663-674.
- Shahzadi, G., Zafar, F., & Alghamdi, M. A. (2021). Multiple-Attribute Decision-Making Using Fermatean Fuzzy Hamacher Interactive Geometric Operators. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021(1), 5150933.
- SIPG. (2024). *Annual container throughput report*. [Yayınevi belirtilmemiş].
- Steenken, D., Voß, S., & Stahlbock, R. (2005). Container terminal operation and operations research — A classification and literature review. In H.-O. Günther & K. H. Kim (Eds.), *Container Terminals and Automated Transport Systems* (pp. 3–49). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-26686-0_1
- Şanghai Limanı: <https://en.portshanghai.com.cn>
- Şanghai Limanı: <https://www.portshanghai.com.cn>
- Tacar, E. M. (2014). Konteyner terminallerinde benzetim uygulaması (Master's thesis, Bursa Uludağ University (Turkey)).
- Tongzon, J. (2001), “Efficiency Measurement of Selected Australian and other International Ports using Data Envelopment Analysis”, *Transportation Research, Part A*, 113-128.
- TONGZON, J. L. (1995), Determinants of Port Performance and Efficiency, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 29 (3), 245-252.
- Türkiye Liman İşletmecileri Derneği: <https://www.turklim.org>
- Valentine, V. F., & Gray, R. (2001, July). The measurement of port efficiency using data envelopment analysis. In *Proceedings of the 9th world conference on transport research* (Vol. 22, p. 27). South Korea: Seoul.
- Van Laarhoven, P. J., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.

- Von Altrock, C. (1997). *Fuzzy logic and neuro-fuzzy applications explained*. Prentice-Hall PTR.
- Wang, T.F., Song, D.W., Culliane, K. (2003) Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approaches, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Sayı:5 s: 698-713
- Wang, T.-F., Song, D.-W., & Cullinane, K. (2003). Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approaches. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 698-713.
- Wei, D., Meng, D., Rong, Y., Liu, Y., Garg, H., & Pamucar, D. (2022). Fermatean Fuzzy Schweizer–Sklar operators and BWM-entropy-based combined compromise solution approach: an application to green supplier selection. *Entropy*, 24(6), 776.
- Wiegman, B.W., Rietveld, P., Pels, E. and Van Woudenberg, S. (2004) Container Terminals and Utilisation of Facilities. *International Journal of Transport Economics*. Sayı: 31, Sayfa: 313–339.
- Yager, R. R. (2013). Pythagorean fuzzy subsets. In *2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)* (pp. 57–61). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608375>
- Yazdani, M., & Chatterjee, P. (2018). Intelligent decision making tools in manufacturing technology selection. In S. Sidhu, P. Bains, R. Zitoun, & M. Yazdani (Eds.), *Futuristic composites: Materials horizons: From nature to nanomaterials* (pp. [sayfa numarası eksik]). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2417-8_5
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management decision*, 57(9), 2501-2519.
- Yüksekıldız, E. (2022). ENTROPİ ve EATWOS yöntemleri ile Türkiye konteyner limanlarının verimlilik analizi. *Verimlilik Dergisi*, (2), 3-24.
- Yürüyen, A. A., & Ulutaş, A. (2020). Bulanık AHP ve bulanık EDAS yöntemleri ile üçüncü parti lojistik firması seçimi. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(İktisadi ve İdari Bilimler), 283-294.
- Zadeh LA (1965) Fuzzy sets. *Inf Control* 8(3):338–35
- Zhang, L., et al. (2022). Automation in mega-ports: The Shanghai case. *Journal of Maritime Economics*. [Cilt ve sayfa numarası eksik].
- Zhang, X., & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 29(11), 1061–1078. <https://doi.org/10.1002/int.21676>

ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Beyzanur AKTARMAÇ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Bilgileri : 2014 – 2016, Artvin Çoruh Üniversitesi, Deniz ve Liman İşletmeciliği

2018 – 2022, Anadolu Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler
Fakültesi, İşletme

2023 – 2025, Anadolu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,
İşletme/Sayısal Yöntemler

Tez Başlığı : Fermatean Bulanık Küme Teorisi İle Şanghay ve Mersin Limanlarında
Verimlilik Kriterlerinin Analizi: AHP ve COCOSO Yöntemlerinin Entegrasyonu

İlgi Alanları : Bulanık Küme ve Türevleri, Verimlilik, Analiz, Liman, Denizcilik,
Konteyner Terminalleri, Matematiksel Programlama, Python, R Programlama, Çok
Kriterli Karar Verme Problemleri, Ticaret, Lojistik Planlama

Bilimsel Faaliyetleri (Kongre, Sempozyum, Çalıştay vb.) : 8. Uluslararası Tarım,
Çevre ve Sağlık Kongresi (ICAEH 2025), Aydın, Türkiye

Görev Aldığı Projeler : TÜBİTAK. 123N792. Çevre Krizi Bağlamında Tarım İşletmesi
Ekosistemi Varlıklarındaki Muhasebe ve Raporlama Modeli. Asistan / Stajyer, 2024-2026.