

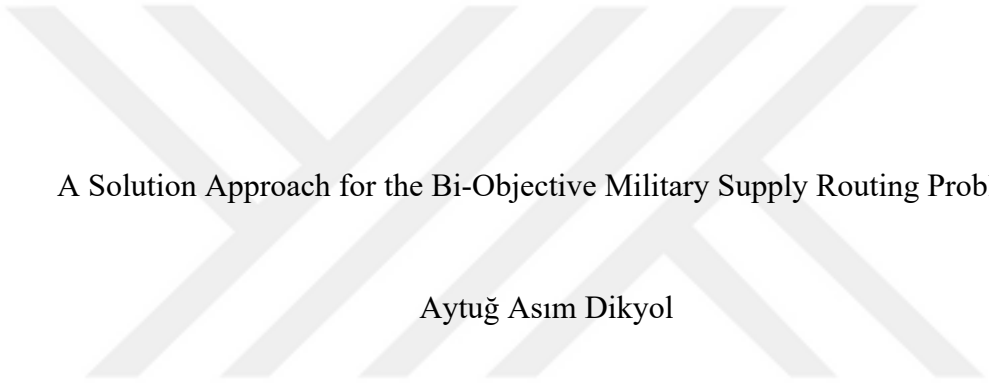
İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemine Yönelik Bir Çözüm Yaklaşımı

Aytuğ Asım Dikyol

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2023



A Solution Approach for the Bi-Objective Military Supply Routing Problem

Aytuğ Asım Dikyol

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

June 2023

İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemine Yönelik Bir Çözüm Yaklaşımı

Aytuğ Asım DİKYOL

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim ve Servis Sistemleri Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu

Haziran 2023

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Aytuğ Asım DİKYOL'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemine Yönelik Bir Çözüm Yaklaşımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU

İkinci Danışman: -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU

Üye : Prof. Dr. Hakan OKTAL

Üye : Doç. Dr. Meryem ULUSKAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Muzaffer Kapanoğlu danışmanlığında hazırlamış olduğum “İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemine Yönelik Bir Çözüm Yaklaşımı” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 12/06/2023

Aytuğ Asım Dikyol

ÖZET

Beklenilmeyen vakalara karşı gösterilen reaksiyon müdahale hızı, gerek savaş gerekse barış ortamında kritik bir husustur. Orduların verdiği ve vereceği kayıplar açısından her saatin, dakikanın ve hatta saniyenin önemi büyük olacaktır. Gerek barışta gerek savaşta operasyonların desteklenmesi için lojistik ulaşım planlaması yapılması gerekmektedir. Lojistik ihtiyaçların hızla karşılanabilmesi, hava ikmalinin doğru kullanılması ile etkin bir biçimde gerçekleştirilebilir. Hava ikmali; birimlerin savaşa paraşütle atıldığı hava operasyonlarını, birimlerin ileri havaalanlarına inen nakliye uçağı ile geldiği hava-kara operasyonlarını ve sonraki ikmal ile destek operasyonlarını kapsar. Bu yüzden nakliye uçakları lojistik ihtiyaçların bel kemiğini oluşturmaktadır.

Askeri hava ikmali oldukça maliyetlidir. Bu sebeple askeri hava ikmal planlaması kapsamında en uygun şekilde rota planlama oldukça önemlidir. Acil durumlarda bu planlamanın oldukça ivedi olması gerekmektedir. Ancak yapılacak ulaşım planlamalarının başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için ulaşımın güvenliğine de önem verilmesi gerekmektedir.

İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemine Yönelik Bir Çözüm Yaklaşımında amaç, uçakların rotalardan kaynaklanan uçuş maliyetlerinin toplamının minimuma indirilmesidir. Bir diğer amaç da uçakların rotalardaki güvenliğinin maksimum düzeyde olmasıdır. Bu çalışmada planlanan uçuş rotalarından kaynaklı oluşabilecek tehlike durumlarının olasılıkları kaçınma olarak tanımlanmış ve bu kaçınma değerinin, uçuş maliyetleri ile ödünleşmesi hedeflenmiştir.

Çok amaçlı bu askeri hava taşıma probleminin çözümünde bir karar destek sistemi oluşturularak askeri lojistik planlarının güvenilirliği ve kullanılabilirliği artırılmıştır. Karar verici uçuş rotalarından kaynaklanan maliyetleri ve oluşabilecek risk potansiyelini görerek planlamasını yapabilecektir. Karar destek sisteminin sunduğu Pareto-optimal çözümler, bu çok amaçlı rotalama probleminin çözümüne anlamlı katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemi, Çok Amaçlı Rotalama Problemi, Askeri Hava Kargo Problemi, Askeri Hava Taşıma Problemi, Çok Amaçlı Hava Kargo Problemi

SUMMARY

The speed of response to unexpected incidents is a critical aspect in both war and peace environments. In terms of the losses incurred by armies, every hour, minute, and even second holds great importance. Logistics transportation planning is required to support operations in both peace and war. The rapid fulfillment of logistical needs can be effectively achieved through the proper utilization of airlift. Airlift encompasses operations where units are parachuted into combat, units arrive at forward airfields by transport aircraft in air-to-ground operations, and subsequent resupply and support operations. Therefore, transport aircraft form the backbone of logistical needs.

Military airlift operations are highly costly, making efficient route planning a vital part of military airlift planning. In emergency situations, such planning needs to be expedited. However, ensuring the security of transportation is also crucial for the successful completion of transportation planning.

The objective of the A Solution Approach for the Bi-Objective Military Supply Routing Problem is to minimize the total flight costs incurred due to aircraft routes. Another objective is to maximize the safety of aircraft routes. In this study, the probabilities of hazardous situations arising from planned flight routes are defined as avoidance, and the aim is to balance this avoidance value with flight costs.

To solve this multi-objective military airlift problem, a decision support system is established to enhance the reliability and utility of military logistics plans. Decision-makers can plan their actions by assessing the costs incurred due to flight routes and the potential risk. The Pareto-optimal solutions provided by the decision support system contribute significantly to solving this multi-objective routing problem.

Keywords: Bi-Objective Military Supply Routing Problem, Multi-Purpose Routing Problem, Military Air Cargo Problem, Military Air Transport Problem, Multi-Purpose Air Cargo Problem

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı hazırlamamda ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayarak bilgi, birikim, öngörü ve tecrübeleri ile bana destek ve yol gösterici olan kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr Muzaffer Kapanoğlu'na teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kız kardeşim Aybüke Sabiha DİKYOL, annem Cemile DİKYOL ve babam Yücel DİKYOL'a sonsuz minnetarlıkla teşekkürler ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarım Özge TEKŞEN ve Yusuf Onur ARSLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamı, 06.02.2023 tarihinde ülkemizde yaşanan deprem felaketinden etkilenmiş bütün vatandaşlarımıza ve umudunu hiçbir zaman yitirmeyen yüce Türk gençliğine ithaf ettiğimi belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
DENEY SETİNDEKİ TANIMLAMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemini-----	9
3.2. Problem Çözüm Yaklaşımları-----	11
3.2.1 Problem Çözüm Matrisleri	13
3.2.2 Matematiksel Model	13
3.2.2.1 <u>Sabit Ağırlıklı Amaç Fonksiyonu</u>	13
3.2.2.2 <u>Matematiksel Modelin İfadesi</u>	14
3.2.3 Pareto-optimal Çözüm Yaklaşımı	16
3.2.4 En Yakın Komşu Algoritması	17
3.3. Örnek Problem Matrisleri.....	19
3.3.1.1. <u>Üsler Arası Maliyet Matrisi</u>	20
3.3.1.2. <u>Üsler Arası Kaçınma (Risk) Matrisi</u>	21
3.3.2. Üsler Arası Olası Uçuş Yolları ve Hesaplamaları	21

3.3.3. Problemin Matematiksel Model İle Çözümü.....	22
3.3.4. Problemin Pareto-optimal Çözüm Grafikleri	23
3.3.5. Üsler Arası Olası Uçuş Yollarında En Yakın Komşu Algoritmasının Uygulanması.....	25
3.3.6.1. <u>Tek Amaçlı Optimizasyon Problemleri ile Karşılaştırma</u>	25
3.3.6.2. <u>Çok Amaçlı Optimizasyon Problemleri ile Karşılaştırma</u>	26
3.3.6.3. <u>Pareto-optimal Grafikler ile Karşılaştırma</u>	27
3.4. MATLAB ile çözüm ifadesi-----	28
3.5. Normalleştirme-----	28
3.6. Karar Destek Sistemleri-----	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Test örneklerinin oluşturulması-----	33
4.1.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Seti	35
4.1.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Seti	35
4.1.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Seti	36
4.2. En İyi Çözüm Tabloları -----	37
4.2.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Seti	37
4.2.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Seti	38
4.2.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Seti	38
4.3. Pareto-optimal Grafik Gösterimi -----	39
4.4. En Yakın Komşu Sezgiseli Performansı-----	40
4.4.1. Tek Amaçlı Optimizasyon Performansı	40
4.4.1.1. <u>Toplam 5 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	41
4.4.1.2. <u>Toplam 6 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	42
4.4.1.3. <u>Toplam 7 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	43
4.4.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Performansı.....	44
4.4.2.1. <u>Toplam 5 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	45
4.4.2.2. <u>Toplam 6 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	46
4.4.2.3. <u>Toplam 7 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	46
4.4.3. EYK Algoritmasının Pareto-optimal Grafikle Karşılaştırımı.....	47

4.4.3.1. <u>Toplam 5 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	47
4.4.3.2. <u>Toplam 6 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	49
4.4.3.3. <u>Toplam 7 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti</u>	49
4.5. İAAİRP Karar Destek Sistemi -----	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	57
EK AÇIKLAMALAR	62
Ek-Açıklama-A: MATLAB Kodları	62
Ek-Açıklama-B: Pareto-optimal Grafikler	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

3.1. İAAİRP Çözüm Şeması.....	12
3.2. İAAİRP Şematik Gösterimi.....	19
3.3. Tüm Rotaların Noktasal Gösterimi.....	24
3.4. Kaçınma Katsayısı Ve Uçuş Maliyetinin Pareto Optimal Grafiği	24
3.5. Pareto-optimal Grafik Üzerinde Eyk Sezgiseli Çözümleri.....	27
3.6. Kds'lerin Özellikleri Ve Kapasiteleri.....	30
3.7. Kds'nin Mimari Yapısı.....	31
4.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 1. Örneği.....	68
4.2. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 2. Örneği.....	68
4.3. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 3. Örneği.....	69
4.4. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 4. Örneği.....	69
4.5. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 5. Örneği.....	70
4.6. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 6. Örneği.....	70
4.7. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 7. Örneği.....	71
4.8. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 8. Örneği.....	71
4.9. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 9. Örneği.....	72
4.10. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 10. Örneği.....	72
4.11. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 1. Örneği.....	73
4.12. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 2. Örneği.....	73
4.13. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 3. Örneği.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

4.14. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 4. Örneği.....	74
4.15. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 5. Örneği.....	75
4.16. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 6. Örneği.....	75
4.17. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 7. Örneği.....	76
4.18. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 8. Örneği.....	76
4.19. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 9. Örneği.....	77
4.20. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 10. Örneği.....	77
4.21. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 1. Örneği.....	78
4.22. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 2. Örneği.....	78
4.23. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 3. Örneği.....	79
4.24. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 4. Örneği.....	79
4.25. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 5. Örneği.....	80
4.26. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 6. Örneği.....	80
4.27. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 7. Örneği.....	81
4.28. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 8. Örneği.....	81
4.29. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 9. Örneği.....	82
4.30. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 10. Örneği.....	82
4.31. İAAİRP Karar destek sistemi.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Olası uçuş yolu rotaları	20
3.2. Örnek maliyet miktarı matrisi.....	21
3.3. Örnek kaçınma değerleri matrisi.....	21
3.4. Rotaların maliyet ve kaçınma değerleri.....	22
3.5. Çözümlerin en iyi sıralamaları listesi.....	22
3.6. Bulunan ve önceliklendirilmiş sıralamaların karşılaştırılması.....	23
3.7. EYK sezgiselinin en iyi çözümlere yakınsaması.....	26
3.8. Matematiksel model sonuçları.....	26
4.1. Maliyet Miktarı Matrisi	34
4.2. Kaçınma Değeri Matrisi	34
4.3. Toplam 5 üs bölgesi örnek seti tablosu.....	35
4.4. Toplam 6 üs bölgesi örnek seti tablosu.....	36
4.5. Toplam 7 üs bölgesi örnek seti tablosu.....	36
4.6. Toplam 5 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu.....	37
4.7. Toplam 6 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu.....	38
4.8. Toplam 7 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu.....	38
4.9. Toplam 5 üs bölgesi örnek setinin tek amaçlı optimizasyon performansı.....	41
4.10. Toplam 6 üs bölgesi örnek setinin tek amaçlı optimizasyon performansı.....	42
4.11. Toplam 7 üs bölgesi örnek setinin tek amaçlı optimizasyon performansı.....	43
4.12. 60 örnekli deney seti karşılaştırması.....	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.13. Toplam 5 üs bölgesi örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı.....	45
4.14. Toplam 6 üs bölgesi örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı.....	46
4.15. Toplam 7 üs bölgesi örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı.....	47
4.16. Toplam 5 üs bölgesi örnek setinin Pareto-optimal yakalama tablosu.....	48
4.17. Toplam 6 üs bölgesi örnek setinin Pareto-optimal yakalama tablosu.....	49
4.18. Toplam 7 üs bölgesi örnek setinin Pareto-optimal yakalama tablosu.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Kısaltmalar****Acıklamalar**

ABD

Amerika Birleşik Devletleri

İAAİRP

İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemi

EYK

En Yakın Komşu

GSP

Gezgin Satıcı Problemi

KDS

Karar Destek Sistemi



DENEY SETİNDEKİ TANIMLAMALAR

ANA ÜS	Uçakların ilk kalkış ve son iniş yaptıkları üsü ifade eder.
ZİYARET EDİLEN ÜS NOKTALARI	Uçakların güzergahları dahilindeki iniş ve kalkış yaptıkları üsleri ifade eden kümedir.
W	Matematiksel model ile elde edilmiş en iyi sonuçtur.
MALİYET	Uçakların kalkışından inişine kadar güzergahlarında oluşan harcama değerlerinin toplamıdır.
RİSK	Uçakların kalkışından inişine kadar güzergahlarında oluşan kaçınma değerlerinin toplamıdır.
ROTA	Matematiksel model ile elde edilmiş en iyi sonucun izlediği yoldur.
PARETO-OPTİMAL ROTA	İki amaç gözetilen örneklerdeki baskınlanamamış en iyi sonuçlar kümesidir.
EYK-M	Maliyet miktarı matrisinde EYK sezgiseli ile elde edilen çözümdür.
EYK-R	Kaçınma değeri matrisinde EYK ile elde edilen çözümdür.
MİN-M	Maliyet miktarı matrisinde elde edilen çözüm en iyi çözümdür.
MİN-R	Kaçınma değeri matrisinde elde edilen çözüm en iyi çözümdür.
%YAK.	EYK algoritması ile elde edilen çözümün en iyi çözüme yakınsadığı yüzdelik oranıdır.
Wrota	Matematiksel model ile elde edilmiş en iyi rotanın matematiksel değeridir.
Wmaliyet	Maliyet miktarı matrisinde EYK algoritması ile elde edilen en iyi rotanın matematiksel değeridir.
Wrisk	Kaçınma değeri matrisinde EYK algoritması ile elde edilen en iyi rotanın matematiksel değeridir.
ORT.	EYK algoritması ile elde edilen çözümlerin en iyi çözümlere yakınsanan değerlerinin ortalamasıdır.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

"İstikbal göklerde. Çünkü göklerini koruyamayan milletler yarınlarından asla emin olamazlar. Her işte olduğu gibi havacılıkta da en yüksek seviyede, gökte seni bekleyen yerini az zamanda dolduracaksın. Ey Türk Genci! Kısa zamanda gökte seni bekleyen yerini alacaksın." Mustafa Kemal ATATÜRK, 15 Mayıs 1925 tarihinde Türk Tayyare Cemiyetinin açılış töreninde bu sözleri söylemiştir. Bu söyleminin üzerinden fazla zaman geçmeden havacılıkta gelişen ve küresel hava hareketliliğini iyi yöneten ülkeler stratejik güç olmuşlardır. Son yüzyılda süper güç olarak tanımlayabileceğimiz Amerika Birleşik Devletleri (ABD), hava hareketliliğinden en iyi şekilde yararlanan ülke olarak buna örnek gösterilebilir. Küresel hava hareketliliği dünyayı değiştirmiştir. En açık şekilde, Amerikan ordusunun hız ve manevra kabiliyetine olan tutkusunu eşsiz bir sanata yükseltmiştir. II. Dünya Savaşı'ndan bu yana, her büyük ABD stratejik konseptinin ve bölgesel savaş planının hava hareketliliğine önemli ölçüde bağlı olduğunu varsaymak doğru olur (OWEN, 2013). İkinci Dünya Savaşı'ndan soğuk savaş dönemine, terörizme karşı yapılan hareketlerden insani yardım operasyonlarına kadar etkin bir hava gücünün dünya siyasetine yön verdiği görülmektedir.

Hava gücünün etkin özellikleri hassas zamanlama, yüksek vuruş gücü ve esneklik olarak sayılabilir. Bu eşsiz özellikler, hızlı ve aynı zamanda devam ettirilebilir bir lojistik kapasite gerektirmektedir. Hava taşıma modu etkin kullanıldığı takdirde lojistik ihtiyaçlar hızla karşılanabilmekte ve vurucu güç olarak tanımlanan savaş uçakları hızla çalışabilecek hale getirilebilmektedir. Bu sebeplerle nakliye uçakları lojistik alt yapının kaba tabirle bel kemiğini oluşturmaktadır (AKSOY, 2018).

Hava gücünün etkinliğini gösterebilmesi ancak hava taşımacılığının etkinliğini gösterebilmesi ile sağlanabilecektir. Hava taşımacılığının etkinliğini artırıp sürdürülebilir bir hale getirmesini sağlamak, dünya siyasetinde rol almak isteyen bir ülke adına zorunluluk halini almaktadır. Hava ikmalini maksimum verimlilikte gerçekleştirebilmek adına matematiksel modellemeler ve çözüm yaklaşımları ile sezgisel algoritmalar kullanılarak hava ikmal görevlerinin etkinliklerini yeniden değerlendirilmektedir.

Çalışmamızın konusu olan İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemini (İAAİRP), Gezgin Satıcı Problemi(GSP)'nin bir varyantıdır. İAAİRP, GSP'den farklı olarak iki amaç içermektedir. Bunlar, maliyeti en aza indirme ve hava ikmal işlemlerinin güvenliğini sağlama amaçlarıdır. Dolayısıyla, İAAİRP hem maliyeti minimize etme hem de riski azaltma hedefini içeren daha karmaşık bir rotalama problemidir. Bu iki amaç fonksiyonunu aynı anda optimize etmek, çözümü daha güç ve karmaşık hale getirir. Çünkü iki amaç arasında bir denge sağlanması gerekmektedir. Örneğin, maliyeti düşürmek için riskli rotalar kullanılabilir, ancak bu durum güvenlik açısından problem oluşturabilir. Tam tersi şekilde, güvenli rotalar seçilerek risk azaltılabilir, ancak maliyetler artabilir.

Çalışma kapsamında, İAAİRP'nin çözümde matematiksel model ve Pareto-optimal çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. Matematiksel modelde, düğümler arasındaki maliyet ve kaçınma katsayıları gibi parametreler kullanılarak amaç fonksiyonu tanımlanır. Matematiksel model, belirlenen amaçları göz önünde bulundurarak optimal rota planlamaları elde etmeyi sağlar. Pareto-optimal çözüm yaklaşımı, tek bir amaç doğrultusunda çözüm elde etmek yerine, farklı amaçlar arasında bir denge sağlamayı amaçlar. Bu yaklaşımda, birbirine baskın olmayan ve farklı amaçlara yönelik çözümler arasında ödünleşme sağlanır. Pareto-optimal çözümler, tüm amaçları göz önünde bulundurarak en iyi kompromisleri sunar ve karar vericilere çeşitli seçenekler sunar.

Çalışmada ayrıca, sezgisel algoritmalar ile çözüme katkı sağlanmıştır ve En Yakın Komşu(EYK) algoritması tercih edilmiştir. EYK algoritmasının etkinliği matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sezgisel algoritmalar, büyük ve karmaşık problemleri hızlı bir şekilde çözmeye yönelik kullanışlı araçlardır ve İAAİRP gibi zorlu rotalama problemlerinin çözümünde etkili sonuçlar elde edilebilir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, literatür çalışmalarıyla ilgili yapılan araştırmalar ve mevcut çalışmaların özeti sunulmuştur. Bu bölümde, İAAİRP'nin geçmişi, literatürdeki benzer çalışmalar ve kullanılan çözüm yaklaşımları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmanın ana konusuna odaklanılarak, İAAİRP'nin tanımı yapılmıştır. Problemde ele alınan amaçlar ve kısıtlar açıklanarak çözüm yöntemleri belirtilmiştir. Ayrıca,

örnek bir problem üzerinde çözüm süreci adım adım gösterilmiştir. Bu bölümde, teorik çerçeve ve çözüm yöntemleriyle pratik bir problem örneği bir araya getirilerek okuyucuların konuyu daha iyi anlaması hedeflenmiştir. Dördüncü bölümde, örnek problemlerden oluşturulan deney setine odaklanılmıştır. Deney setinde kullanılan materyal ve yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmış ve bu yöntemlerin etkinliği ölçülmüştür. Deneylerde elde edilen sonuçlar, matematiksel modelin ve çözüm yöntemlerinin performansı ile ilgili bilgi sağlamıştır. Bu bölümde elde edilen bulgular, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanmış ve sonuçlar çıkarılmıştır. Son bölümde, yapılan çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı ve hedefleri gözden geçirilmiş, elde edilen sonuçlar ve bulgular özetlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmanın katkıları ve sınırlamaları belirtilerek, gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Bu çalışma ile askeri karar vericilere ya da askeri komuta heyetine, hava taşımacılığını maksimum verimde gerçekleştirebilmeleri için bir karar destek sistemi ile çözüm yaklaşımları sunulmuştur. Kullanılan karar destek sistemi, askeri karar vericilere hava ikmal rotalarını belirleme ve operasyonları daha etkin bir şekilde planlama imkanı sunmaktadır. Bu sayede hava taşımacılığının verimliliği artırılarak lojistik planlamalarda daha güvenilir ve kullanışlı çözümler elde edilebilir. İAAİRP'nin risk ve maliyetin birlikte değerlendirilmesi, askeri lojistik planlamalarında daha rasyonel ve akılcı kararlar alınmasına olanak tanır. Bu çalışmanın askeri planlama ve lojistik alanında önemli katkılar sağlaması beklenmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde literatürde çok amaçlı araç rotalama problemi üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Literatürde bulunan incelemelerden sonra bu tezin literatüre katkısına değinilmiştir.

Askeri hava taşımacılığının kendine özgü bir araştırma konusu ihtiva ettiği olduğu göz önündedir. Problemimizle aynı amaçları optimize eden herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple literatür içinde özgün bir içerik olduğu değerlendirilmiştir. Literatürde çözüm yaklaşımına benzer konularda yapılmış çalışmalar incelenip kavramsal çerçevemiz belirlenmiştir. Literatürdeki askeri hava taşımacılığı ile ilgili çalışmaların genel olarak insansız hava araçları (İHA) çalışmalarını kapsadığı görülmektedir.

Maksimum verimliliği artırmanın optimizasyonla mümkün olacağını bilerek tezimizde bu anlayışa paralel olarak hava gücünün etkin verimliliğini artırmaya yardımcı olmak hedeflenmiştir. Optimizasyon alanında çokça bilinen problemlerden biri sayılan GSP, bir satıcının bulunduğu şehirden başlayacak şekilde n adet ili ziyaret ederek tekrar bulunduğu ile mümkün olan en kısa uzaklığı dolaşarak dönmüş olduğu bütünleşik bir gerçek yaşam optimizasyon problemidir (Gupta, 2013).

NP-Zor sınıfında yer alan GSP'nin tam çözümünün bulunması zaman alıcı ve karmaşıktır. Bu durum da GSP'nin çözümünde sezgisel ile metasezgisel yöntemlerin gerekliliğini göstermektedir. (RATLIFF, 1983).

Aksoy ve Kapanoglu (2014), hava taşımacılığı temelli bir lojistik problemde bulanık kontrol ile hava koşulu risklerini tanıtarak, çoklu üs, farklı tipte araçlar, karışık talep matrisi ve farklı risk türlerini ele alabilen karışık tamsayıli matematiksel bir model önermişlerdir. Önerilen modelde belirlenen riskler ve diğer risk faktörleri, kargo uçakları için daha az riskli

rotalar oluşturmak için dahil edilmiş ve belirlenen risk ile ilgili maliyet arasında bir denge sağlanmıştır.

Ercan ve Gencer (2013), İnsansız Hava Sistemleri'nde (İHS) dinamik rota planlaması yapmışlardır. Böylece görev esnasında ortaya çıkan değişiklikler ve yeni hedeflerin sisteme dâhil olması gibi dinamik durumları ele almışlardır. Çalışmalarda İHS sistemlerini ağ merkezli yetenek konseptinde ele alan çalışmaların oranı düşük olmuştur. Stratejik İHS planlamalarının merkezi olarak yapılması ve uygun çözümlerin üretilmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Değirmen vd. (2018), afet bölgelerinde hızlı ve güvenli bir şekilde durum tespiti için İHA'ların avantajları vurgulanmıştır. Çalışmada, olası bir deprem sonrası durum tespiti için İHA'ların rota planlaması için kümeleme ve matematiksel programlama tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Gerçek bir örnek üzerinde uygulama yapılarak, İHA rotalarının belirlendiği ve toplam mesafeyi minimize edecek rotaların seçildiği görülmüştür.

Irmak (2023), İHA'ların hava kargo taşımacılığında ve son teslimat aşamasında hız ve verimlilik sağlayarak maliyetleri minimize etme potansiyeline sahip olmasının yanı sıra, lojistik operasyonlarda hız, esneklik ve çevre dostu olmalarına önem vurgulamıştır. Ancak, İHA'ların kullandığı zorluklarını da belirtmiştir, özellikle hava sahası düzenlemeleri, güvenlik sorunları ve veri gizliliği gibi kriterlerin İHA'ların kullanımına olan etkisine değinmiştir.

Yang vd. (2018) GSP'yi çok amaçlı olarak ele almışlar ve farklı araç tiplerini ile zaman penceresi bakımından incelemişlerdir. Araç tipinin, yük kapasitesi ve dağıtım maliyeti, alıcı memnuniyeti ile çevresel kirliliği içeren optimal amaç fonksiyonu değerini etkilediğini göstermişlerdir.

Toro vd. (2017) iki amaçlı bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Bu modelde yerleşim ve rotalama kararlarını birleştirmişlerdir. Böylelikle çevresel etkileri ve operasyonel maliyetleri en küçüklemeyi hedeflemişlerdir.

Demir vd. (2014) ise uyarlanabilir değişken komşu arama algoritmasını, sürdürülebilirlik adına iki amaçlı rotalama probleminde kullanmışlardır. Yakıt tüketimi ve toplam zamanı en iyilemeyi hedeflemişlerdir.

Halvorsen-Weare ve Savelsbergh (2016) çok amaçlı rotalama problemini ele almışlardır. Karma kapasiteli genel rotalama problemini ele alarak, minimum maliyetli rotaları ararken aynı zamanda iş yükünün dengelenmesini amaçlamışlardır.

Tükenmez ve Kaya (2014), araç rotalama probleminin sosyal, çevresel ve finansal amaçlarını aynı anda analiz ederek çok amaçlı en uygun rotanın bulunmasını amaçlamışlardır. Çok Amaçlı Araç Rotalama Problemi için çevresel hususları en aza indirirken toplam dahili maliyetleri en aza indirerek daha sürdürülebilir bir dengeye yönelik olumlu bir katkı hedeflemişlerdir.

Abedi vd. (2015), çok amaçlı karma tamsayılı doğrusal programlama problemini ele almışlardır. Modeli tek amaçlı hale getirerek en büyük tamamlanma zamanı ile erken ve geç bitirme cezalarını en küçüklemeyi amaçlamışlardır.

Yüksel (2019), permütasyon akış tipi çizelgeleme problemini ele almış ve artırılmış epsilon kısıt yöntemini kullanarak problemi tek amaçlı halde çözmüştür. Amaç fonksiyonunda, toplam enerji tüketimini iyileştirmeye çalışan bir amaç ekleyerek tüketimi en küçüklemeyi hedeflemiştir.

Arkat vd. (2017), çalışmalarında çok amaçlı problemlerini epsilon kısıt yöntemi ile tek amaçlı hale getirmişlerdir. Hücreler arası hareketin minimizasyonu ile makine kullanım oranlarının maksimizasyonu amacıyla matematiksel model kullanmışlardır.

Mozdgir vd. (2013), çok amaçlı problemi ağırlıklı toplam skalerleştirme yöntemi ile tek amaçlı olarak çözmüşlerdir. En büyük tamamlanma zamanı ile ortalama tamamlanma zamanının en küçüklenmesini amaçlamışlardır.

Karabulut (2018), çok ürünlü ve çok makineli montaj hattı çizelgeleme probleminde, çok amaçlı probleminde amaçları ağırlıklandırılmıştır. Mevcut problem çözümü için ağırlıklar eşit alınarak, üretim maliyetini ve depolama maliyetini en küçükmeye çalışan bir doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli önermiştir.

Büyük boyutlu olan kombinatorial optimizasyon problemlerinde kesin yöntemlerle çözüm elde etmek mümkün olmadığından bu problemlerin çözümü için sezgisel algoritmalar tercih konusu edilmektedir. Bu algoritmalar en iyi çözümü garanti etmemekle beraber, hızlı ve kısa zamanda optimale yakın çözümler verirler (Kaya ve Fırlalı, 2016).

Chen, vd. (2010), Kapasite kısıtlı araç rotalama problemini çözmek için en yakın komşu algoritmasından yararlanmışlardır. Deney seti çözümünde bilinen en iyi değerleri elde etmişlerdir.

Akpınar (2016), EYK ve karınca kolonisi algoritması kullanarak küçük boyutlardaki KARP'ler için çözüm aramışlardır ve etkili çözümler elde etmişlerdir.

İbrahim vd. (2016), EYK sezgiseli ile melezleştirilmiş genetik algoritmayı, inceledikleri var olan bir firmanın şişelenmiş su dağıtım probleminin çözümünde kullanmışlardır. Algoritma, firmanın hali hazırdaki uyguladıkları verilerden daha iyi

sonuçlara ulaşmıştır. Toplam yol, ceza maliyeti ve zaman kriterleri iyileştirildiği görülmüştür.

Şahin ve Karagül (2018), GSP'nin çözümü için EYK algoritması üzerine kurulu bir yöntem sunmuşlardır. Literatürde bulunan EYK, Tabu Arama, Genetik Algoritma, Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Ağaç Fizyolojisi Optimizasyon algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. EYK sezgiselinin, rota belirleme aşaması için önerdiği yönteme eklenmesi çabuk ve etkili sonuçlar alınmasında büyük etken olmuştur.

Kabadurmuş ve Erdoğan (2023), oluşturdukları model ile toplam katedilen uzaklıktan kaynaklanan karbon salınımını minimuma indirirken, zaman penceresi faktörünü ihlalini azaltarak, hizmet seviyesini üst düzeye çıkarmayı hedeflemişlerdir. Tüm senaryolarda bakıldığında karbon salınımının en küçüklenmesi ve hizmet seviyesinin en iyilenmesinin birbiriyle çeliştiği görülmektedir. Yöneticilerin, kendi kriterleri doğrultusunda en iyi rotalama kararını verebilmesi için Pareto-optimal çözüm yönteminden yararlanmasını ve bu yöntemle çözümler içerisinde karar vermelerini önermişlerdir.

Timurlek ve Şener (2020), bir yük gemisi formunun Simülasyon Yönelimli Tasarım yaklaşımı ile çok amaçlı optimizasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Pareto-optimal çözüm kümesi içindeki farklı önem ağırlıklı senaryolara göre değerlendirme ve karşılaştırma yapmışlardır. Tüm senaryolarda %3-%4 arası iyileştirme sağlamışlardır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Problemini

ABD, II. Dünya savaşından itibaren küresel hava hareketliliğini iyi yöneterek süper güç olmayı başarmış ve bu başarısı ile birlikte uluslararası sahada diplomatik ilişkilere yön veren bir ülke haline gelmiştir. Kabaca ifade edilirse küresel hava hareketliliği ABD'nin dünyayla ilişki kurma şeklini değiştirmektedir. Amerikan liderleri, dostları ile düşmanlarına kısa sürede güçlü bir şekilde müdahale etme, saldırı veya savunma yapma niyetlerini ve yeteneklerini işaret etmek için hava hareketliliğini kullanmaktadır. Amerika'nın dostları ile düşmanlarının diploması ve hesaplarını etkilemektedir (OWEN, 2013).

Hava hakimiyetinin dünya düzenini şekillendirdiği ve uluslararası ilişkilere yön verdiği göz önündedir. O halde hava gücünün etkin kullanımının ayrı bir çalışma alanı olarak ele alınması gerekmektedir. SLAYTON'a (2010) göre, hava taşımacılığının babası sayılan Tunner; " Uçakların uzun mesafelerde teslim edilmesi için belirli ve kesin bir uzmanlık, savaş görevlerinin tamamlanması için gerekli olanların ötesinde teknikler ve eğitim gerektiren bir uzmanlık gerektiğini erken öğrendik." Başka bir yerde, "hava taşımacılığı kendi başına bir bilimdir; maksimum verimlilikte gerçekleştirilmesi için hava taşımacılığı, hava taşımacılığı tekniklerini bilen ve kendini hava taşımacılığına adanmış kişiler-profesyoneller tarafından yürütülmelidir! " söyleminde bulunarak hava gücünün etkin kullanımının özel bir alan olduğunu vurgulamıştır.

Askeri hava taşımacılığının sivil hava taşımacılığından ayrı zorluklarının olduğunu ve ayrı bir alana sahip olduğunu bilinmektedir. Tunner, askeri hava taşımacılığının kargo, rotalar, tehlikeler ve lojistik açısından sivil taşımacılığından tamamen farklı bir uçuş olduğunu, büyük ve zorlu bir askeri komuta tarafından idare edilmesi gerektiğini savunmuştur (SLAYTON, 2010). Hava ikmal, askeri birliklerin savaş bölgelerine veya hareket alanlarına operasyonel hareketidir. Bu tür hareketler, birimlerin savaşa paraşütle atıldığı hava operasyonlarını; birimlerin ileri havaalanlarına inen nakliye uçağı ile geldiği hava kara operasyonları; ve sonraki ikmal ve destek operasyonlarıdır (OWEN, 2013).

Askeri hava taşımacılığı sadece planlama yapmayı değil aynı zamanda hedefine mümkün olan en iyi sonucu alacak şekilde ulaşmak için strateji geliştirme sürecini ihtiva etmektedir. Harekat alanı içi hava ikmali, havadan iniş, havadan indirme, çıkarma veya diğer dağıtım tekniklerinin yanı sıra, belirli harekat alanı hedeflerini ve gereksinimlerini karşılamak için muharebe operasyonlarına katılanlar da dahil olmak üzere tüm harekat alanı kuvvetlerinin hava lojistik desteği yoluyla hava hareketini, personel ve ekipmanın doğrudan hedef alanlara teslimini sağlamaktadır (Department of Army, 2020).

Karar ortamı; birtakım belirlilik ve belirsizliklerden oluşurken çeşitli risk seviyelerindeki durumları da içermektedir. Askeri karar süreci ise, en başta muharebe veya harekata dair faktörlerin ayrıntılı değerlendirildiği buna bağlı olarak çıktı-girdi dengesini de takip eden süreçtir (APLAK, 2018). Askeri hava taşımacılığı belirli risk faktörleri içinde karar almayı zorunlu kılmaktadır.

Lynn vd. (2003) tarafından ordunun operasyonel performansının toplamına odaklanılması gerektiğini ve hava ikmalinin bu bağlamdaki büyük etkisinden söz edilmiştir. Öngörülemez kriz durumlarına karşı hazırlığın ve kara kuvvetleri çağrısına etkili bir şekilde hava desteğini sağlanmasının önemini vurgulanmaktadır. Yetenekli bir kuvvetin yanıt verme hızı, genellikle askeri operasyonlarda belirleyici bir etkiye sahip olduğunu belirtilmektedir.

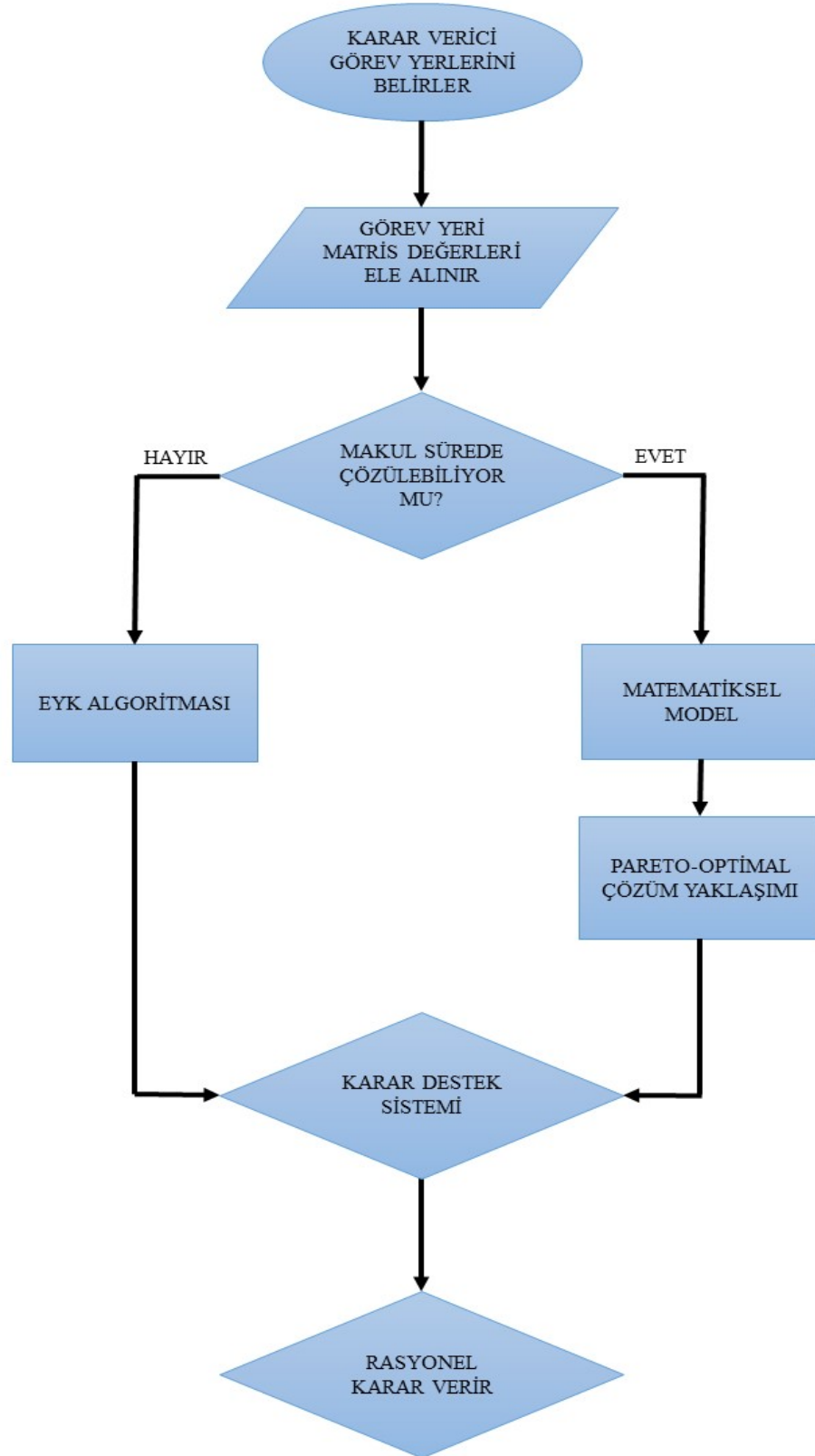
Gerek savaşta gerekse barışta askeri operasyonların desteklenmesi amacıyla lojistik ulaşım planlaması yapılması gerekmektedir. Lojistik ihtiyaçların hızla karşılanabilmesi, hava ikmalinin doğru kullanılması ile etkin bir biçimde gerçekleşebilmektedir. Ancak, askeri hava ikmali oldukça maliyetlidir ve bu sebeple rota planlama oldukça önemlidir. Askeri hava taşımacılığı, maliyetlerin yanı sıra belirli risk potansiyeli içeren bir süreçtir. Risk yönetimi, askeri hava ikmal planlamasında en uygun rotaların seçilmesi ve potansiyel tehlikelerin en aza indirilmesi için büyük önem taşırken, aynı zamanda operasyonel verimliliğin artırılmasına da katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, rota planlaması yapılırken hem riskten kaçınma hem de kaynakların en etkin şekilde kullanılması göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2. Problem Çözüm Yaklaşımları

İAAİRP'nin temel amacı, uçakların uçtukları rotalardan kaynaklanan toplam uçuş maliyetlerini minimuma indirmek ve aynı zamanda rotalardaki güvenliği maksimum düzeyde sağlamaktır. İAAİRP, çok amaçlı bir optimizasyon problemidir çünkü iki farklı amaç, yani maliyeti minimize etmek ve güvenliği maksimum düzeyde tutmak birlikte optimize edilmelidir. Bu tür çok amaçlı problemlerde, bir amaç iyileştirilirken diğer amaçlar da göz önünde bulundurulur ve en uygun uzlaşık çözümler aranır.

İAAİRP'nin temel yapısı, bir Araç Rotalama Problemi olarak tanımlanmaktadır. Uçakların belirli bir ana üsten kalkış yaparak olası hava yolu uçuşlarını gerçekleştirmesi, hedeflenen tüm dağıtım üslerini ziyaret etmesi ve sonunda tekrar ana üse dönmesi, uçakların tam bir Hamilton turu yapmasını sağlar. Bu nedenle İAAİRP, literatürde bir GSP gibi görülmektedir.

İAAİRP'nin çözümünde matematiksel modellerden, Pareto-optimal çözüm yaklaşımından, sezgisel algoritmalar ve karar destek sisteminden yararlanılmıştır. Matematiksel modeller, problemin matematiksel olarak ifade edilmesini ve çözümünün analitik yöntemlerle elde edilmesini sağlar. Pareto-optimal çözüm yaklaşımı, çok amaçlı problemlerde farklı amaçları dikkate alarak en iyi uzlaşık çözümleri elde etmeye yönelik bir yöntemdir. Sezgisel algoritmalar ise hızlı ve iyi çözümlerin bulunmasına odaklanan yaklaşımlar olup, problemin karmaşıklığına ve boyutuna bağlı olarak daha kısa sürede sonuçlar üretebilir ve çözüm kalitesini artırabilir. Karar destek sistemleri ise askeri karar vericilere yardımcı olmak için kullanılan yazılım tabanlı sistemlerdir. Bu yöntemlerin birlikte kullanılması, İAAİRP'nin etkin ve uygun çözümlerinin elde edilmesine yardımcı olur.



Şekil 3.1: İAAİRP Çözüm Şeması

3.2.1 Problem Çözüm Matrisleri

İAAİRP için iki tür amaç tanımlanmıştır. İlk amaç, uçakların uçtukları güzergahtan kaynaklanan toplam uçuş maliyetlerinin birim uçuş saati boyunca minimuma indirilmesidir. İkinci amaç ise uçakların uçtukları rotalardan kaynaklanan kaçınma değerlerinin minimuma indirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, bölgeyi bilen uzmanlar, hava yolu uçuş koşulları ve düşman unsurları gibi kriterleri değerlendirerek olası hava yolunun rotasının tercih edilme durumunu etkileyen kaçınma katsayısı değerlerini belirlemişlerdir. Üsler arası olası hava yolları için bu değerler saptanmış ve her bir olası hava yolu rotasına özgü halde oluşturulmuştur.

Karar verici göreve gidilecek üsleri belirler. Maliyet miktarı ve kaçınma değerleri matrislerinin içinden göreve gidilecek olan üslerin olduğu bir alt matris oluşturularak üsler arası değerler ele alınır. Matrislerden yararlanılarak problemde kullanılan matematiksel model, Pareto-optimal çözüm yaklaşımı ve sezgisel algoritmalar sayesinde İAAİRP'nin çözümü elde edilir.

3.2.2 Matematiksel Model

Özünde bir GSP olan çok amaçlı optimizasyon problemiminin en iyi çözüme ulaştırılmasında matematiksel bir model kullanılmıştır. Problemin çözümü için toplam maliyetin en küçüklenmesi ve en kaçınma katsayısının en küçüklenmesi olmak üzere iki amaç değerlendirilip sabit ağırlıklı amaç fonksiyonu yöntemiyle tek bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur.

3.2.2.1 Sabit Ağırlıklı Amaç Fonksiyonu

Sabit ağırlıklı amaç fonksiyonu, birden çok amacı, tek bir amaç altında birleştirip tek amaçlı problem şekline getirir (Michalewicz, 1994; Murata ve Ishibuchi, 1995). İAAİRP,

risk ve maliyeti birlikte gözetilen çok amaçlı bir problem olarak ele alınmıştır. Bu çalışmadaki problem bu kriter altındaki amaçlar birleştirilerek ve eşit ağırlıklandırılarak çözümlenmiştir.

Sabit ağırlıklar ayarlanarak, çözüm algoritmasının, çözüm uzayını arama yönü ayarlanabilir. Sabit ağırlıklı amaç fonksiyonu yönteminde bir veya birden fazla amacın ağırlık değeri yüksek verilerek, arama uzayında belirli bir yönde hareket etmesi sağlanabilir. Burada karar verici en önemli gördüğü amacın ağırlık değerini daha yüksek tutarak, elde etmek istediği sonuçlara ulaşacak şekilde arama uzayının taranmasını sağlayabilir (Kaya ve Fırlı, 2016).

Karar vericiye göre bir amaç, diğer amaçlardan daha önemli ise sabit ağırlıklarında yapacağı değişim, çözüm kümesindeki tercihi doğrultusunda istediği sonuçları elde etmesini sağlayacaktır. Bu yönüyle de matematiksel modelimiz İAAİRP'nin değişen koşullar altında bilinçli bir şekilde maliyet ve risk açısından kontrollü çözümleme yapmasını sağlayacaktır. Böylelikle karar vericiye çözüm uzayındaki istediği yönde arama ve çözümleme olanağı tanınmıştır.

3.2.2.2 Matematiksel Modelin İfadesi

Kümeler:

- $M = \{1, 2, \dots, n\}$ düğümler kümesi

İndisler:

- $i, j \in M$ bir yoldaki düğümleri ifade eden indislerdir.

Parametreler:

- c_{ij} = i 'inci düğüm ile j 'inci düğüm arasındaki yolun maliyeti
- k_{ij} = i 'inci düğüm ile j 'inci düğüm arasındaki yolun kaçınma katsayısı
- w_1, w_2 = Ağırlıklandırma ve ölçeklendirme katsayıları

Karar değişkenleri:

- $X_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 'den } j \text{ 'ye gidildiğinde} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$
- u_i : i. düğüm için alt tur engelleme değişkeni
- u_j : j. düğüm için alt tur engelleme değişkeni

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min} = w_1 \sum_{(i \neq j)} c_{ij} X_{ij} + w_2 \sum_{(i \neq j)} k_{ij} X_{ij}; \quad (2.1)$$

Denklem (2.1) tur maliyetini ve kaçınma katsayı değerini minimize eden amaç fonksiyonudur.

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1} X_{ji} = 1 \quad 1 \leq i \leq n; \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1} X_{ij} = 1 \quad 1 \leq j \leq n; \quad (2.3)$$

Denklem (2.2) ve (2.3) her bir üsse bir kez girileceği ve her üstten bir kez çıkılacağını garanti eden kısıtlardır.

$$u_i - u_j + (n-1) \cdot x_{ij} \leq n-2 \quad 2 \leq i, j \leq n; i \neq j \quad (2.4)$$

$$1 \leq u_i \leq n-1 \quad 2 \leq i \leq n \quad (2.5)$$

Denklem (2.4) ve (2.5) oluşabilecek alt turları engellemek için kullanılan kısıtlardır.

$$\begin{aligned}
& \bullet \quad X_{ij} \in \{0,1\} & (1 \leq i,j \leq n; i \neq j) \\
& \bullet \quad X_{ij} \leq 1 - k_{ij} & (2.6)
\end{aligned}$$

Denklem (2.6) Bu kısıt, k_{ij} değeri 1 olduğunda (yani düğümler arasındaki geçiş yasaklandığında), X_{ij} 'nin 0 olmasını garanti eder. Karar verici, riskin çok yüksek olduğunu düşündüğü yolda modelin o yolu kullanmasını tamamen engeller.

3.2.3 Pareto-optimal Çözüm Yaklaşımı

Çok ölçütlü karar problemleri için Pareto-Eniyi tanımı ilk olarak 1906 yılında Pareto tarafından izleyen şekilde verilmiştir. “Topluluktaki bireylerin tamamı dikkate alındığında, ekonomik olarak en iyi nokta, topluluktaki herhangi bir bireyin tatmin düzeyini, diğerlerinin tatmin düzeyini bozmadan çok az da olsa artırmanın mümkün olmadığı noktadır.” Eğer matematiksel bir tanım yapılmak istenirse, $f(x)$, tüm amaçları enküçükleme şeklinde olan çok amaçlı bir matematiksel modelin x çözümüne karşı gelen amaç vektörü iken, $f(x) < f(x^*)$ şartını sağlayan bir x çözümü bulunamıyor ise, x^* , Pareto-Eniyi çözüm (etkin çözüm ya da bastırılmayan çözüm) olarak isimlendirilir. Tek amaçlı programlamada tek bir en iyi çözüm araştırılırken, çok amaçlı programlamada genellikle birden çok Pareto-Eniyi çözüm söz konusudur. Bu nedenle tek bir eniyi çözüm değil Pareto-Eniyi çözümler kümesi araştırılmaktadır (Kapanoğlu, 2022).

Pareto-optimal çözüm yaklaşımı, evrimsel algoritmalarda kullanılmıştır. Böylelikle çok amaçlı optimizasyon problemlerinin kullanım alanı genişleyerek algoritmalar geliştirilmiştir. Popülasyonda elde edilmiş bir çözüm kümesinde en iyi çözüm kavramı bulunmayabilir. Bir çözüm amaç bakımından göre diğerlerinden daha kötü, daha iyi veya benzer nitelikte olabilir. Burada en iyi çözüm diğerleri tarafından bastırılmayan çözüm demektir. Çözüm kümesinde diğer çözümler tarafından bastırılmayan çözüm optimal çözümdür. İşte bu tür optimal çözümlere Pareto-optimal çözüm denir ve bütün halindeki bu tür optimal trade-offs (karar değişkenlerinin, amaç uzayında koordinatta gösterilmesi sonucu

oluşacak yüzey veya eğri) çözümlerin oluşturduğu kümenin adı da Pareto-optimal kümedir. (Dias 2002, Deb 2002, Osyczka 2002).

İAAİRP, çok amaçlı bir rotalama problemidir. Aynı zamanda amaçları birbiri ile çelişen bir problem yapısı olması nedeni ile tek bir çözüm elde etmesi güçtür. Karar vericinin çözüme etkisi de göz önünde bulundurulduğunda, Pareto-optimal çözüm yaklaşımından yararlanmak uygun olacaktır. Bu sayede, çözüm uzayındaki farklı amaçlara yönelik uygun çözümler sunulmuş olacaktır.

3.2.4 En Yakın Komşu Algoritması

Bellmore ile Nemhauser (1966) tarafından geliştirilen En Yakın Komşu (EYK) algoritması, GSP'nin çözümünde kullanılabilen sezgisel bir algoritmadır. çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, istenilen en iyi sonuçları elde etmek sezgisel yöntemlerle oldukça güç olabilmektedir. Ancak literatürde EYK'nın GSP'nin çözümünde en hızlı yöntemlerden biri olduğu görülmektedir.

GSP'nin küçük boyutlu ve tek amaçlı problemleri, analitik modeller kullanılarak çözüme kavuşturulabilir. Ancak orta ve büyük boyutlu GSP'lerin optimum çözümlerinin bulunması ciddi sıkıntılar içerebilir. Bu gibi durumlarda, En Yakın Komşu sezgiseli gibi yaklaşık en iyi çözüm veren yöntemlerden yararlanılarak sıkıntıların aşılması mümkün olabilir. Sezgisel algoritmalar, pratik ve hızlı bir çözüm sağlama açısından optimizasyon problemlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

GSP'nin çözümünde kullanılacak materyal ve yöntemin, problemin kabul edilebilir bir zaman aralığında çözüme kavuşması adına önemi büyüktür. Şahin (2019, s.2) bu konuyu makalesinde şöyle belirtmiştir: “Çözümü için analitik modeller kullanılabilen GSP'nin boyutunun artması, kabul edilebilir bir süre zarfında çözüme ulaşmayı zorlaştırır. Bu problemin çözümü için günümüze kadar birçok sezgisel, metasezgisel ve kesin çözüm yöntemi kullanılmıştır. Küçük boyutlu problemler analitik modeller yardımıyla rahatlıkla

çözülebilirken, büyük boyutlu problemlerin kabul edilebilir bir süre zarfında çözümü oldukça zordur. Lin-Kernighan-Helsagun algoritmasının kullanıldığı Concorde yazılımı ile Almanya'nın 15.112 şehri için optimal sonuçları bulmak 22 yıl sürmüştür.”

EYK algoritmasının adımları aşağıda özetlenmiştir;

Adım 1: Gidilecek rota dizisi oluşturulur. İlk olarak başlangıç düğümü belirlenir. Düğüm bu diziye atanır.

Adım 2: Başlangıç düğümünden diğer düğümlere olan mesafeler belirlenir.

Adım 3: Mesafeler arasındaki en kısa olan seçilir. Başlangıç düğümünden sonra rota dizisine atanır.

Adım 4: Önceden atanmış düğümler hariç olmak üzere, bütün düğümler atanana kadar Adım 2 ve Adım 3 aynı şekilde uygulanır.

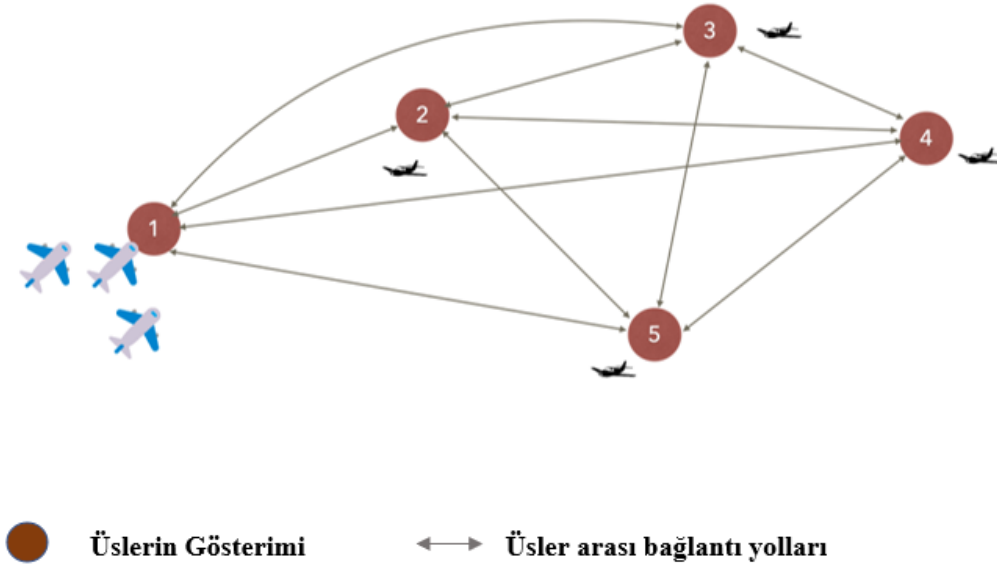
Adım 5: Rota dizisine atanan düğümler sırasıyla gidilecek olan rotayı oluşturur.

Optimizasyon problemlerinde sezgisel algortimalar, optimale yakın sonuçlar elde eden, stratejilere dayalı, çabuk ve pratik bir çözüm şeklinde kabul görmektedir. Problem optimum çözümü şayet bulunamayacak kadar karmaşık ise, sezgisel yöntemler sezgiye ya da bazı deneysel bulgulara dayanan karar kurallarıyla belirli sayıda adımdan sonrasında en iyi olmasa bile tatminkar bir sonuç vermektedirler (Kaya ve Fırlı, 2016).

3.3 İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Probleminin Örnek Bir Çözümü

İAAİRP'nin bir örnek çözümleme yapılmıştır. Örnek çözümleme, askeri karar vericinin, ikmal plan senaryolarına benzetilerek yapılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Örnek çözümleme, İAAİRP'nin farklı senaryolarda ve çeşitli koşullardaki performanslarından biridir.

3.3.1. Örnek Problem Matrisleri



Şekil 3.2: İAAİRP şematik gösterimi

Ele alınan örnekte 1'i Ana üs olmak üzere toplamda 5 üs bölgesi ele alınmıştır. Üs bölgelerinin sayısı karar vericinin görev planlamasına göre değişmektedir. Şekil 3.1 toplamda 5 üs bölgesi görevi bulunan örnek problemin şekilsel gösterimidir.

Çizelge 3.1: Olası uçuş yolu rotaları

ROTA	UÇUŞ YOLU					
Rota 1	1	2	3	4	5	1
Rota 2	1	2	3	5	4	1
Rota 3	1	2	4	3	5	1
Rota 4	1	2	4	5	3	1
Rota 5	1	2	5	3	4	1
Rota 6	1	2	5	4	3	1

Rota 7	1	3	2	4	5	1
Rota 8	1	3	2	5	4	1
Rota 9	1	3	4	2	5	1
Rota 10	1	3	5	2	4	1
Rota 11	1	4	2	3	5	1
Rota 12	1	4	3	2	5	1

Çizelge 3.1'deki gibi toplamda 5 üs görevi olan bir hava aracının gidebileceği uçuş yolu rotası 24 adettir. Olası uçuş yolları birbiri ile simetrik olması sebebiyle toplamda 12 adet olası uçuş yolu rotaları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Üs sayısı arttıkça olası uçuş yolu rotası da üstel olarak artmaktadır. Toplam 6 üs görevi olan bir hava aracı için 120, toplam 7 üs görevi olan bir hava aracı için 720 adet olası uçuş yolu rotası oluşacaktır.

3.3.1.1. Üsler Arası Maliyet Matrisi

Örnek problem için karar vericinin belirlediği görev yerleri arası (1'i Ana üs olmak üzere toplamda 5 üs bölgesi) maliyet miktarı matrisi Çizelge 3.2'de görülmektedir. Ana üs ve dağıtım üsleri arasındaki maliyet miktarları belirtilmiştir. Olası hava yolu uçuşu, ana üste başlayacak olup, dağıtım yapıldıktan sonra ana üsse dönüş sağlanarak tamamlanmaktadır.

Çizelge 3.2: Örnek maliyet miktarı matrisi

	ANA ÜS (1)	ÜS (2)	ÜS (3)	ÜS (4)	ÜS (5)
ANA ÜS (1)	-	866	702	792	328
ÜS (2)	866	-	173	346	1144
ÜS (3)	702	173	-	319	974
ÜS (4)	792	346	319	-	1114
ÜS (5)	328	1144	974	1114	-

3.3.1.2. Üsler Arası Kaçınma (Risk) Matrisi

Örnek problem için karar vericinin belirlediği görev yerleri arası kaçınma değeri matrisi Çizelge 3.3'te görülmektedir. Ana üs ve dağıtım üsleri arasındaki kaçınma değerleri belirtilmiştir. Olası hava yolu uçuşu ana üste başlayacak olup, dağıtım yapıldıktan sonra ana üsse dönüş sağlanarak tamamlanmaktadır.

Çizelge 3.3: Örnek kaçınma değerleri matrisi

	ANA ÜS (1)	ÜS (2)	ÜS (3)	ÜS (4)	ÜS (5)
ANA ÜS (1)		0,06	0,05	0,02	0,01
ÜS (2)	0,06		0,04	0,09	0,03
ÜS (3)	0,05	0,04		0,08	0,04
ÜS (4)	0,02	0,09	0,08		0,02
ÜS (5)	0,01	0,03	0,04	0,02	

3.3.2. Üsler Arası Olası Uçuş Yolları ve Hesaplamaları

Çizelge 3.4'de ise ana üs ve dağıtım üsleri arasında oluşabilecek uçuş yolu rotalarının maliyet miktarlarının ve kaçınma değerlerinin tamamı listelenmiştir. Çizelge 3.5'te tercih edilen uçuş yollarına göre elde edilen çözümlerin, hem maliyet miktarı açısından en iyi çözüm sıralamaları sol sütun tarafında, kaçınma değeri açısından elde edilmiş en iyi çözüm sıralamaları liste halinde verilmiştir.

Çizelge 3.4: Rotaların maliyet ve kaçınma değerleri

ROTA	UÇUŞ YOL						MALİYET	KAÇINMA
Rota 1	1	2	3	4	5	1	2800	0,21
Rota 2	1	2	3	5	4	1	3919	0,18
Rota 3	1	2	4	3	5	1	2833	0,28
Rota 4	1	2	4	5	3	1	4002	0,26

Rota 5	1	2	5	3	4	1	4095	0,23
Rota 6	1	2	5	4	3	1	4145	0,24
Rota 7	1	3	2	4	5	1	2663	0,21
Rota 8	1	3	2	5	4	1	3925	0,16
Rota 9	1	3	4	2	5	1	2839	0,26
Rota 10	1	3	5	2	4	1	3958	0,23
Rota 11	1	4	2	3	5	1	2613	0,20
Rota 12	1	4	3	2	5	1	2756	0,18

Çizelge 3.5: Çözümlerin en iyi sıralamaları listesi

ÖNCELİKLENDİRİLMİŞ SIRALAMA			
MALİYET MİKTARI		KAÇINMA DEĞERLERİ	
Rota 11	2613	Rota 8	0,16
Rota 7	2663	Rota 2	0,18
Rota 12	2756	Rota 12	0,18
Rota 1	2800	Rota 11	0,20
Rota 3	2833	Rota 1	0,21
Rota 9	2839	Rota 7	0,21
Rota 2	3919	Rota 5	0,23
Rota 8	3925	Rota 10	0,23
Rota 10	3958	Rota 6	0,24
Rota 4	4002	Rota 4	0,26
Rota 5	4095	Rota 9	0,26
Rota 6	4145	Rota 3	0,28

3.3.3. Problemin Matematiksel Model İle Çözümü

Çizelge 3.6'da çok amaçlı optimizasyon problemi için matematiksel model kullanılarak elde edilen çözümler ve bu çözümlerin en iyi sıralaması sol ve sağ sütunlarında

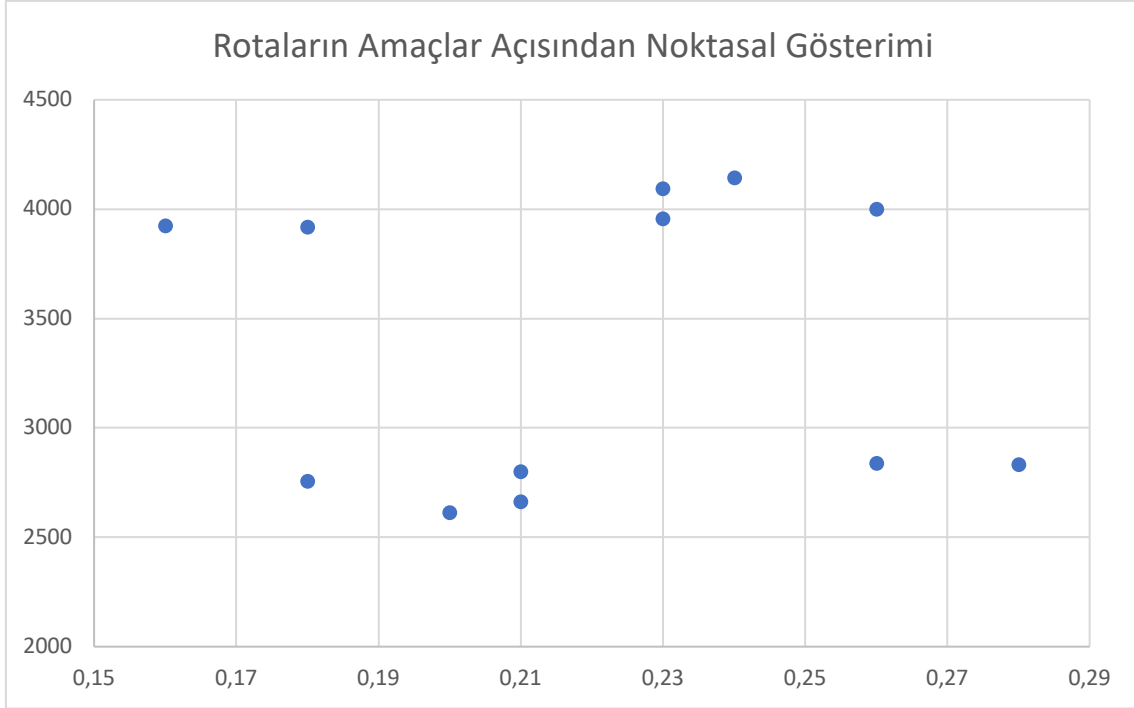
gösterilir. Bu şekilde, farklı hedef fonksiyonlarını bir arada dikkate alarak en uygun çözümlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 3.6: Bulunan ve önceliklendirilmiş sıralamaların karşılaştırılması

BULUNAN SIRALAMA		ÖNCELİKLENDİRİLMİŞ SIRALAMA	
Rota 1	0,141858	Rota 12	0,119682
Rota 2	0,170186	Rota 11	0,12608
Rota 3	0,191373	Rota 7	0,134917
Rota 4	0,25103	Rota 1	0,141858
Rota 5	0,227226	Rota 8	0,151508
Rota 6	0,24	Rota 2	0,170186
Rota 7	0,134917	Rota 9	0,17808
Rota 8	0,151508	Rota 3	0,191373
Rota 9	0,17808	Rota 10	0,219624
Rota 10	0,219624	Rota 5	0,227226
Rota 11	0,12608	Rota 6	0,24
Rota 12	0,119682	Rota 4	0,25103

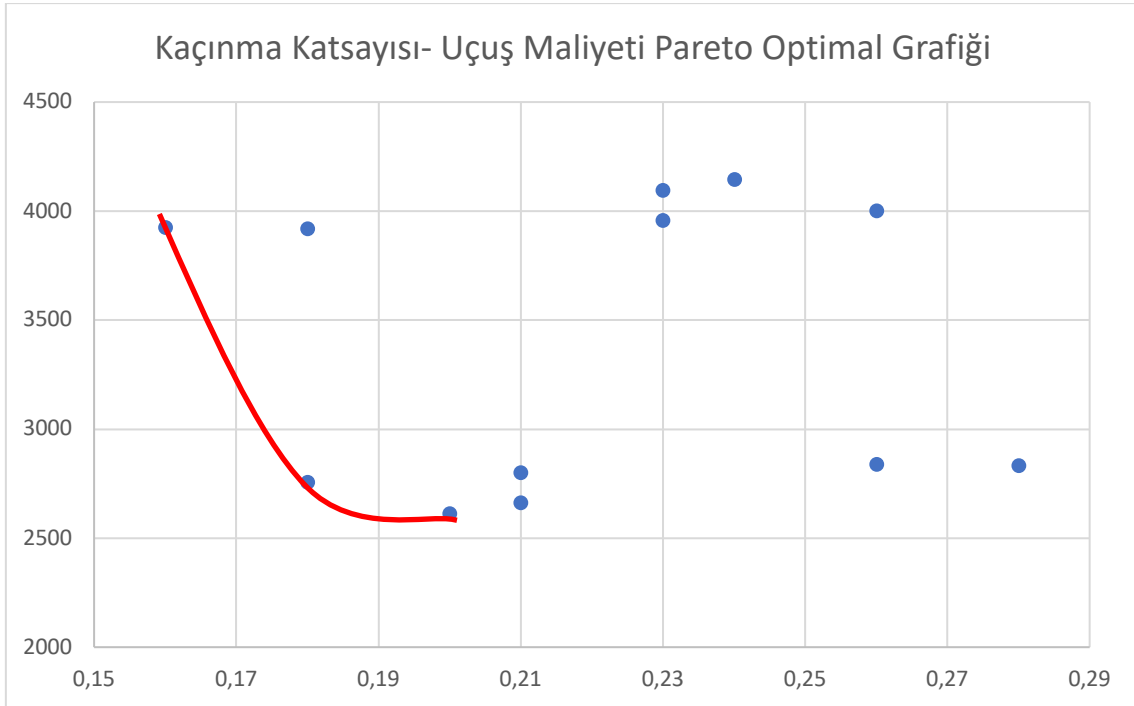
3.3.4. Problemin Pareto-optimal Çözüm Grafikleri

Çok amaçlı optimizasyonda problemimizde tüm amaç fonksiyonlarını aynı anda en aza indiren uygun bir çözüm yoktur. İAAİRP’de görüldüğü üzere maliyet açısından en iyi çözümler, kaçınma değerleri açısından en iyi çözümler olmamıştır. Bu nedenle Pareto-optimal çözüm yöntemine gidilerek ödünleşme sağlanması gerekmektedir. Olası uçuş yolu rotalarının maliyet miktarları ve kaçınma değerlerinin noktasal gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.3: Tüm rotaların noktasal gösterimi

Şekil 3.3’deki noktasal gösterimde de görüldüğü üzere her amaç açısından en iyi olan bir çözüm görülmemektedir.



Şekil 3.4: Kaçınma katsayısı ve uçuş maliyetinin pareto optimal grafiği

Şekil 3.4 Kaçınma Katsayısı- Uçuş Maliyeti Pareto Optimal Grafiğinin çözüm kümesidir. Koordinat üzerinde çözüm uzayında bastırılmayan optimal çözümlerin eğrisi gösterilmiştir.

3.3.5. Üsler Arası Olası Uçuş Yollarında En Yakın Komşu Algoritmasının Uygulanması

Çok büyük boyutlu problemler için optimum çözümlerin bulunması oldukça zordur ve bazı durumlarda pratik bir süre içinde çözüm elde etmek imkansız hale gelebilir. Bu nedenle, karmaşık ve büyük ölçekli askeri hava ikmal rotalama problemlerinde farklı sezgisel algoritmalar ve optimizasyon yöntemlerinin kullanılabilmesi önemlidir.

Sezgisel algoritmalar, problemi optimal çözüme ulaştırmaktan ziyade iyi bir çözüme yakınsamak için tasarlanmıştır. Bu tür algoritmalar, heuristik kurallar ve sezgiye dayalı yöntemler kullanarak çözüm uzayında gezinerek bir çözümü geliştirir ve iyileştirirler. Bu yaklaşım, karmaşık ve büyük boyutlu problemlerde bile makul çözümler elde etmek için etkili olmaktadır.

Sonuç olarak, sezgisel yöntemlerin en iyi çözüme yakınsaması hedeflenmelidir. Bu şekilde, pratik süreler içinde tatminkar çözümler elde edilerek operasyonların daha etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlanabilmektedir.

3.3.6.1. Tek Amaçlı Optimizasyon Problemleri ile Karşılaştırma

EYK sezgiselinin bulduğu sonuçlar ile, en iyi çözümlere olan yakınsaması Çizelge 3.7’te belirtilmiştir. EYK sezgiseli maliyet miktarı açısından en iyi çözümü yakalamış olup kaçınma değeri açısından ise ancak %67 oranında en iyi çözümü yakınsamıştır. Bu örnek açısından EYK sezgiselinin en iyi çözümü ortalama %84 oranında yakınsadığı görülmektedir.

Çizelge 3.7: EYK sezgiselinin en iyi çözümlere yakınsaması

EYK-M	1	5	3	2	4	1	Rota11	2613	%100
EYK-K	1	2	5	4	3	1	Rota 6	0,24	%67

3.3.6.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Problemleri ile Karşılaştırma

İAAİRP, matematiksel model ile tek amaçlı hale getirilmiştir. İAAİRP’de karar verici EYK ile 2 amaçtan toplam 2 çözüme erişeceğinden bu çözümlerden iyi olanı seçecektir. EYK sezgiseli çözümleri ile Matematiksel model çözümleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3-8: Matematiksel model sonuçları

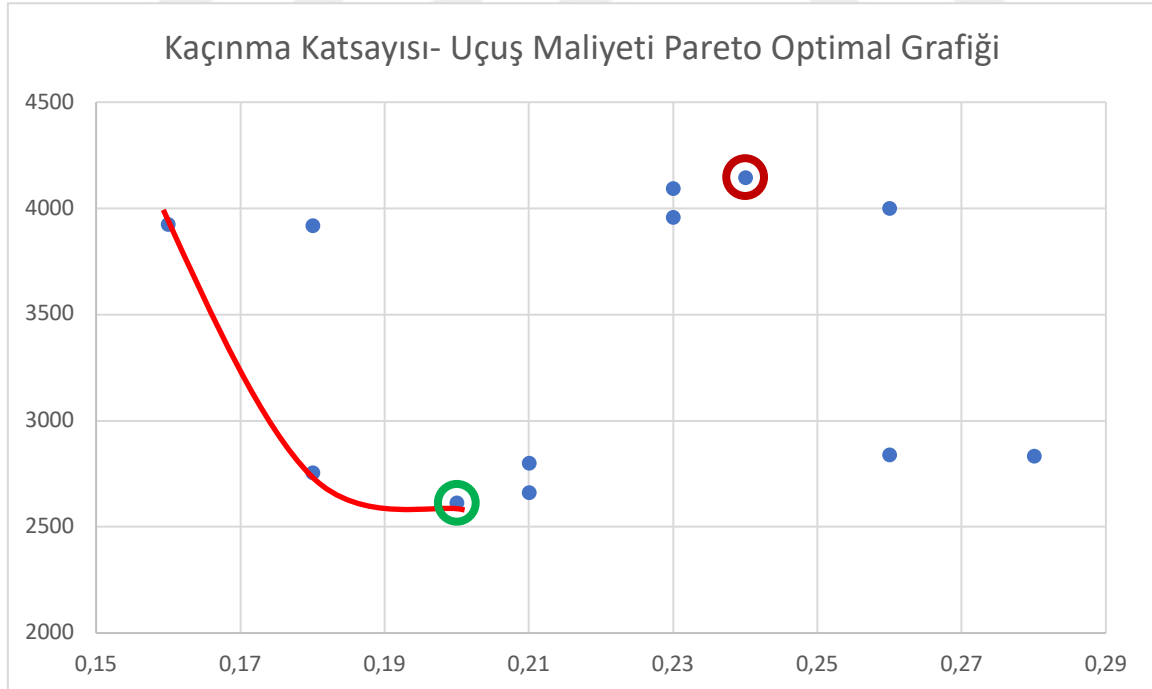
MATEMATİKSEL MODEL SONUÇLARI		
Rota 12	0,119682	
Rota 11	0,12608	94.92
Rota 7	0,134917	
Rota 1	0,141858	
Rota 8	0,151508	
Rota 2	0,170186	
Rota 9	0,17808	
Rota 3	0,191373	
Rota 10	0,219624	
Rota 5	0,227226	
Rota 6	0,24	49.87
Rota 4	0,25103	

Matematiksel modelleme sonuçları en küçüklenecek şekilde sıralanmıştır. EYK maliyete miktarına göre %94,92, kaçınma değerine göre %49.87 çözümü yakınsamıştır.

Karar verici EYK sezgiseli ile 2 amaçtan toplam 2 çözüme erişeceğinden bu sonuçlardan iyi olanı seçecektir. EYK sezgiseli çözümü yaklaşık olarak %95 yakınsamış olmaktadır.

3.3.6.3. Pareto-optimal Grafikler ile Karşılaştırma

Daha önce de belirttiğimiz gibi tek bir amaç gözetilen optimizasyon problemlerinin çıktısı ile çözümü doğrudan karşılaştırılabilmektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çıktısında ise problemlerin Pareto-optimal cephesine yaklaşan bir dizi çözüm incelenerek karşılaştırma yapılabilir. Karar vericinin çözüm kümesinde rasyonel karar verebilmesini sağlamak amacıyla modelin çözüm kümesi Pareto-optimal grafiklerle gösterilmiştir. EYK sezgiseli ile elde edilen çözümlerin Pareto-optimal grafiklere olan yakınsaması değerlendirilerek sezgiselin performansı ölçülmüştür. Pareto-optimal grafik üzerinde EYK sezgiseli çözümleri Şekil 3.5’te verilmiştir. Bu grafikler, karar vericinin tercih ettiği çözümleri belirlemesine yardımcı olacak bilgileri sunar.



Şekil 3.5: Pareto-optimal grafik üzerinde EYK sezgiseli çözümleri

EYK sezgiseli ile maliyet açısından Rota-11, kaçınma değeri açısından Rota-6 elde edilmiştir. Rota-11 baskın çözüm olması sebebiyle karar verici tarafından seçilen çözüm olacaktır. EYK sezgiselinin Pareto-optimal çözümlerden birini yakaladığı ve tercih edilebilir çözümler üretebildiği görülmektedir. Bu şekilde karar verici, kendi tercihlerine göre en uygun çözümü seçebilir ve problemi çok amaçlı bir şekilde çözmüş olur.

3.4. MATLAB ile çözüm ifadesi

Çalışmada İAAİRP'nin çözümü için kullanılan yöntemlerin uygulanması ve çözümlerin elde edilmesi için MATLAB programlama dili kullanılmıştır. Bu programlar, kullanılan algoritmaları ve matematiksel modelleri temel alarak deney seti üzerinde çalışmış ve sayısal sonuçlar ile grafikler elde etmiştir. Algoritmalar ve matematiksel modeller arasındaki performans farkları incelenerek İAAİRP açısından performans ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm, yöntemlerin etkinliğini ve çözüm kalitesini değerlendirmek için önemlidir.

Deney seti, problemin daha iyi anlaşılabilmesi ve çözümleme süreçlerinin somut bir örnekler üzerinden yapılabilmesi için oluşturulmuştur. MATLAB, bu deney seti üzerinde hızlı ve doğru çözümler elde edilmesine olanak sağlamıştır. MATLAB programlarının kodlama ve formülasyonları çalışmanın EK-1 bölümünde verilmiştir. Bu şekilde, çalışmanın tekrarlanabilirliği ve doğrulanabilirliği sağlanmıştır.

3.5. Normalleştirme

Problemin çözümü sırasında amaçların farklı birimlerde değerler ifade etmesi nedeniyle verilerin normalleştirilmiş değerleri kullanılmıştır. MATLAB programı içerisinde normalleştirme işlemi, "w" değeri elde edilirken kullanılmıştır. Maliyet miktarları normalleştirilmiştir, böylece kaçınma değerleriyle aynı birimde olmaları sağlanmıştır.

Normalleştirme işlemi, elde edilen maliyet miktarlarını aynı örnekte elde edilen en büyük maliyet miktarına bölerek verilerin [0-1] aralığına dönüştürülmesini sağlar. Bu sayede, farklı birimlerde ifade edilen amaçların aynı ölçekte değerlendirilmesi mümkün olur ve çözüm süreci daha tutarlı hale gelir. Normalleştirilmiş değerler kullanılarak elde edilen sonuçlar, farklı amaçların bir arada değerlendirildiği çok amaçlı optimizasyon problemleri için daha anlamlı ve karşılaştırılabilir sonuçlar sağlar.

3.6. Karar Destek Sistemleri

KDS, yarı-yapılandırılmış ya da yapılandırılmamış karar problemlerini destekleyen, bilgisayar tabanlı bir bilgi sistem ağı olup karar kalitesini artırmak üzere geliştirilmiştir. Karar vericinin beklentilerine yapılandırılmış olup karar vericilerin karar verme kapasitelerini geliştirecek tamamlayıcılardır. KDS'nin karar vericilerin yerini tutmaları beklenmemektedir. KDS'nin ele alacağı herhangi bir meselenin algoritma ve yöntemlerle çözülemiyor olması ya da yargı gerektiriyor olması beklenir. (Kapanoğlu, 2002)

KDS'nin karar vericiyi desteklemesinin ana işlevinin olduğunun çok açıkça belirtilmesine karşın, karar vericilerin isteklerinin farklılığı ile karar problemlerinin özgün yapıları sebebiyle Kapanoğlu (2022, s.9) yaygın ortak özelliklerini listelemiştir;

- “1. Karar destek sistemleri yapılandırılması güç karar problemleri için kullanılırlar.
2. Karar vericinin yerine karar vermek için değil, karar vericinin karara varmasını sağlamak için vardır.
3. Karar verme sürecinin baştan sona tüm aşamalarında yer alabilirler.
4. Kararın düşük maliyetle veya daha çabuk verilmesi için değil, doğru verilmesi için geliştirilirler.
5. Karar vericinin denetimi altındadırlar, yardımcı personel gerektirmemesi tercih edilir.
6. Karara ilişkin bazı model ve algoritmaların kullanımına olanak sağlarlar.

7. Bir tür veritabanına sahiptirler.
8. Karar vericilerin problemi daha iyi anlama ve öğrenmelerini kolaylaştırırlar.
9. Kullanıcı-dostu ve karşılıklı etkileşimlidirler.
10. Evrimleşerek geliştirilir ve iyileştirilirler.
11. Tüm yönetim düzeylerine destek sağlarlar.
12. Tekli ve çoklu, bağımlı ve bağımsız veya ardışık-sıralı karar vermeye yönelik olabilirler.
13. Birey, grup ve takım-tabanlı karar vermeyi desteklerler.
14. KDS'lerin özellikleri ve kapasiteleri Şekil 3.6'da toplu bir şekilde sunulmuştur.”



Karar destek sistemlerinin özellikleri

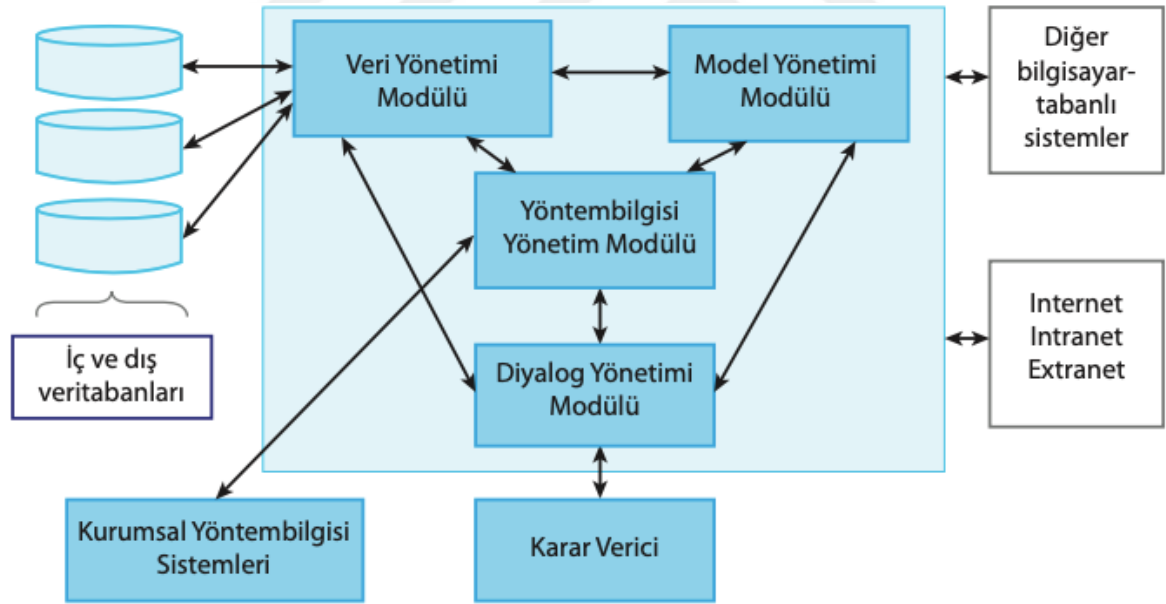
Kaynak: Turban, 2007.

Şekil 3.6: KDS'lerin özellikleri ve kapasiteleri

KDS, gerçekleştirilen analiz ve değerlendirmeler sonucunda elde edilen verileri kullanarak İAAİRP gibi yönetsel karar sürecinin kritik olduğu problemlerin çözümünde büyük bir fayda sağlar. Askeri karar verme süreci, farklı kriterler ve risk durumlarını

içerebilen karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle askeri karar vericiler, çok boyutlu ve karmaşık bir bakış açısına sahip olmalı ve sistematik bir problem çözümü yaklaşımı benimsemelidir.

Harekata yönelik faktörler, zaman içinde anlık değişebilir ve hızlı kararlar almayı gerektirebilir. KDS, bu tür durumlarda karar vericilere hızlı ve etkili bir şekilde rehberlik ederek analitik ve sezgisel kararlar almalarına yardımcı olur. İAAİRP gibi askeri lojistik planlama problemlerinde, KDS'nin kullanılması karar vericilere önemli avantajlar sunar ve operasyonların başarıyla tamamlanmasına katkıda bulunur. Askeri karar vericiler, farklı senaryoları değerlendirebilir, riskleri azaltabilir ve en uygun stratejileri belirleyebilir. Aynı zamanda, KDS'nin kullanımı, daha hızlı ve daha verimli karar verme süreçlerini teşvik eder ve operasyonların planlanması ve yönetimi için güçlü bir araç olarak işlev görür.



Şekil 3.7: KDS'nin mimari yapısı

Kapanoğlu'na (2022) göre, bir KDS'nin mimari yapısı Şekil 3.7'deki gibidir. Karar vericinin tercihlerine göre kullanılacak olan yöntemler belirlenir. Kullanılacak algoritmalar ve modeller belirlenir. İhtiyaç duyulan zaman ve maliyet değerlendirilir. Ayrıca karar süreci

aşamalarının nasıl destekleneceği, hangi teknolojilerden yararlanılacağı, model kurulumunda kullanılacak yazılımlar belirlenmelidir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney seti, çözüm yöntemlerinin ve matematiksel modellerin performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için oluşturulan bir dizi deneme örneğidir. Her deneme örneği, farklı üsler, hedefler ve engel noktaları içeren farklı askeri operasyonlar için bir senaryoyu temsil etmektedir.

Deney seti oluşturulurken, farklı senaryoların karmaşıklığı, boyutu ve zorluk düzeyi dikkate alınmıştır. Bu sayede çözüm yöntemlerinin farklı senaryolarda nasıl performans gösterdiği ve hangi senaryolarda ne kadar etkili olduğu analiz edilebilmiştir. Ayrıca deney seti, çözüm yöntemlerinin ve matematiksel modellerin farklı amaçlar (maliyet, kaçınma değeri gibi) için nasıl farklı sonuçlar ürettiğini incelemek için kullanılmıştır.

4.1. Test örneklerinin oluşturulması

Karar vericinin sorumluluğunda toplamda 10 üs bölgesi bulunmaktadır. Karar verici, toplamda 10 üs bölgesinden göreve göndermek istediği bölgeleri belirleyecek ve bu doğrultuda özgün bir planlama yapacaktır. Karar verici, örnek setleri oluşturmak için Çizelge 4.1'de bulunan Maliyet Miktarı Matrisi ve Çizelge 4.2'de bulunan Kaçınma Değeri Matrisi'nden faydalanmaktadır. Bu matrislerdeki verileri kullanarak farklı kriterlere göre örnek setleri seçilmektedir.

Deney setimizde, bu doğrultuda farklı büyüklüklerde örnek setleri oluşturulmuştur. Çok amaçlı optimizasyon problemleri için her biri 10 örnekten oluşan farklı büyüklüklerde 3 set oluşturulmuş ve böylece toplamda 30 örnek elde edilmiştir. Ayrıca, tek amaçlı optimizasyon problemleri için ise 60 örneklilik bir deney seti oluşturulmuştur. Örnek setleri problemin farklı açılardan ele alınmasına imkan tanımaktadır.

Çizelge 4.1: Maliyet Miktarı Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	201	60	866	702	792	328	421	555	1339
2	201	-	251	675	503	594	520	542	685	1097
3	60	251	-	903	731	846	270	361	586	1418
4	866	675	903	-	173	346	1144	1084	1581	545
5	702	503	731	173	-	319	974	953	1335	640
6	792	594	846	346	319	-	1114	1224	1289	336
7	328	520	270	1144	974	1114	-	448	546	1689
8	421	542	361	1084	953	1224	448	-	922	1465
9	555	685	586	1581	1335	1289	546	922	-	1625
10	1339	1097	1418	545	640	336	1689	1465	1625	-

Çizelge 4.2: Kaçınma Değeri Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	0,01	0,03	0,05	0,09	0,04	0,02	0,01	0,03	0,06
2	0,01	-	0,05	0,06	0,07	0,02	0,03	0,02	0,02	0,04
3	0,03	0,05	-	0,1	0,11	0,08	0,04	0,01	0,04	0,05
4	0,05	0,06	0,1	-	0,12	0,09	0,08	0,06	0,07	0,07
5	0,09	0,07	0,11	0,12	-	0,1	0,06	0,07	0,09	0,08
6	0,04	0,02	0,08	0,09	0,1	-	0,07	0,08	0,06	0,06
7	0,02	0,03	0,04	0,08	0,06	0,07	-	0,04	0,01	0,04
8	0,01	0,02	0,01	0,06	0,07	0,08	0,04	-	0,03	0,05
9	0,03	0,02	0,04	0,07	0,09	0,06	0,01	0,03	-	0,06
10	0,06	0,04	0,05	0,07	0,08	0,06	0,04	0,05	0,06	-

4.1.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Seti

Toplam 5 üs bölgesi örnek seti, İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Probleminin çözümü için kullanılan bir veri setidir. Bu veri setinde 10x10 boyutunda bir matris kullanılarak farklı üs bölgeleri oluşturulmuştur. Bu örnek setinde 5 üs belirlenmiş ve bunlardan biri ana üs olarak seçilmiştir. Çizelge 4.3, askeri karar vericilerin hava ikmal rotasında kullandıkları üs bölgelerini ve rota güzergahlarını göstermektedir.

Çizelge 4.3: Toplam 5 üs bölgesi örnek seti tablosu

ÖRNEK	ANA ÜS	ZİYARET EDİLEN ÜS NOKTALARI				ANA ÜS
1	1	2	3	4	5	1
2	2	5	7	8	10	2
3	3	2	5	8	10	3
4	4	1	5	6	9	4
5	5	3	4	7	8	5
6	5	2	4	8	10	5
7	7	1	2	8	10	7
8	8	2	5	7	10	8
9	9	2	3	5	7	9
10	10	2	4	5	8	10

4.1.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Seti

Toplam 6 üs bölgesi örnek setinde 6 üs belirlenmiş ve bunlardan biri ana üs olarak seçilmiştir. Çizelge 4.4, askeri karar vericilerin hava ikmal rotasında kullandıkları üs bölgelerini ve rota güzergahlarını göstermektedir.

Çizelge 4.4 : Toplam 6 üs bölgesi örnek seti tablosu

ÖRNEK	ANA ÜS	ZİYARET EDİLEN ÜS NOKTALARI					ANA ÜS
1	1	2	3	6	8	9	1
2	2	3	5	7	8	10	2
3	3	1	4	5	6	9	3
4	4	1	3	8	9	10	4
5	5	2	4	6	8	9	5
6	6	3	4	7	9	10	6
7	7	1	2	5	8	10	7
8	8	3	5	7	9	10	8
9	9	1	3	4	6	7	9
10	10	1	4	5	7	8	10

4.1.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Seti

Toplam 7üs bölgesi örnek setinde 7 üs belirlenmiş ve bunlardan biri ana üs olarak seçilmiştir. Çizelge 4.5, askeri karar vericilerin hava ikmal rotasında kullandıkları üs bölgelerini ve rota güzergahlarını göstermektedir.

Çizelge 4.5 : Toplam 7 üs bölgesi örnek seti tablosu

ÖRNEK	ANAÜS	ZİYARET EDİLEN ÜS NOKTALARI						ANAÜS
1	1	2	3	5	7	8	9	1
2	2	3	4	6	7	8	10	2
3	3	1	2	5	6	8	9	3
4	4	3	5	6	7	9	10	4
5	5	1	2	4	7	8	9	5
6	6	1	3	5	8	9	10	6
7	7	2	3	5	6	8	9	7
8	8	1	3	5	6	7	9	8
9	9	1	2	4	5	6	8	9
10	10	1	2	5	6	7	9	10

4.2. En İyi Çözüm Tabloları

Tablolar, farklı büyüklükteki örnek setlerinin çözümü için MATLAB kullanılarak oluşturulmuştur. Bu tablolar, problemin çeşitli senaryolarını analiz ederek en iyi çözümleri temsil etmektedir. En iyi çözüm tablosu, bu analizler sonucunda en avantajlı ve en uygun rotayı açık bir şekilde göstermektedir. MATLAB'in güçlü hesaplama yetenekleri sayesinde elde edilen bu tablolar, problemi en verimli şekilde çözme ve en uygun kararları alma konusunda büyük bir katkı sağlamaktadır.

4.2.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Seti

Toplam 5 üs bölge örnek setinin en iyi çözüm tablosu, çizelge 4.6'da sunulmuştur. Bu tablo, örneklerin elde edilen en iyi iki amaçlı çözümlerini temsil eder. Tabloda, en iyi çözümün rotasal ifadesi verilir ve aynı zamanda bu çözümdeki maliyet ve kaçınma değerleri de belirtilir.

Çizelge 4.6: Toplam 5 üs bölge örnek setinin en iyi çözüm tablosu

ÖRNEK	W	MALİYET	RİSK	ROTA
1	0,183864	1853	0,32	Rota-8, Rota-17
2	0,169028	3701	0,24	Rota-6, Rota-10
3	0,168049	3464	0,23	Rota-4, Rota-12
4	0,183864	1853	0,32	Rota-8, Rota-17
5	0,19146	2862	0,29	Rota-11, Rota-14
6	0,223466	3314	0,3	Rota-3, Rota-22
7	0,117493	4077	0,13	Rota-3, Rota-22
8	0,169028	3701	0,24	Rota-9, Rota-20
9	0,179433	2860	0,23	Rota-2, Rota-18
10	0,223466	3314	0,3	Rota-11, Rota-14

4.2.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Seti

Toplam 6 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu, çizelge 4.7’de sunulmuştur.

Çizelge 4.7 : Toplam 6 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu

ÖRNEK	W	MALİYET	RİSK	ROTA
1	0,120395	3439	0,14	Rota-38, Rota-68
2	0,165898	3884	0,25	Rota-16, Rota-46
3	0,213866	3293	0,4	Rota-1, Rota-120
4	0,160535	4404	0,24	Rota-3, Rota-114
5	0,202067	3673	0,35	Rota-29, Rota-89
6	0,165407	3889	0,34	Rota-18, Rota-36
7	0,157953	3781	0,24	Rota-47, Rota-52
8	0,170622	4572	0,25	Rota-15, Rota-106
9	0,177503	3377	0,28	Rota-18, Rota-36
10	0,173289	3992	0,3	Rota-59, Rota-77

4.2.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Seti

Toplam 7 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu, çizelge 4.8’de sunulmuştur.

Çizelge 4.8: Toplam 7 üs bölgesi örnek setinin en iyi çözüm tablosu

ÖRNEK	W	MALİYET	RİSK	ROTA
1	0,167329	3592	0,21	Rota-193, Rota-686
2	0,142221	3710	0,29	Rota-347, Rota-374
3	0,180179	3527	0,28	Rota-177, Rota-622
4	0,210867	4006	0,44	Rota-67, Rota-540
5	0,185653	3740	0,31	Rota-405, Rota-491
6	0,178987	4223	0,33	Rota-57, Rota-646
7	0,165091	3728	0,27	Rota-105, Rota-520
8	0,188962	3999	0,27	Rota-483, Rota-663
9	0,195843	3727	0,36	Rota-519, Rota-609
10	0,139012	3846	0,27	Rota-331, Rota-390

4.3. Pareto-optimal Grafik Gösterimi

Tek bir amaç gözetilen optimizasyon problemlerinin çıktısı ile çözümü doğrudan karşılaştırılabilmektedir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çıktısında ise problemlerin Pareto-optimal cephesine yaklaşan bir dizi çözüm incelenerek karşılaştırma yapılabilmektedir.

Bir karar vericinin tercihlerini her iki amacın tatmin edilme düzeylerine göre yapması beklenir. Dolayısı ile karar vericiye Pareto-optimal çözümlerin bir listesi sunulmalıdır. Sayısal değerlerin değerlendirilmesi, grafiksel gösterimlere göre bazı yönlerden daha güç olur. Böyle bir durumda, bir Pareto-optimal çözümler listesinin yanında grafiksel bir gösterim de faydalı olacaktır. Bu listelerin veya grafiğin oluşturulması için bir dizi koşullu optimizasyon uygulanması gerekir. Koşullara esas olan aralıklar ne kadar dar olursa elde edilen listenin pareto optimum çözümleri türetme olasılığı o kadar artar. (Kapanoğlu, 2022)

Karar vericinin çözüm kümesinde rasyonel kararlar alabilmesi için, matematiksel modelin çözüm kümesi, EK-2’de Pareto-optimal grafiklerle görsel olarak sunulmuştur. Toplam 5 üs bölgesi örnek setinin çözümü, Şekil 4.1 ile Şekil 4.10 arasındaki çizelgelerde Pareto-optimal grafiksel olarak gösterilmiştir. Aynı şekilde, toplam 6 üs bölgesi örneklerin çözümü Şekil 4.11 ile Şekil 4.20 arasındaki çizelgelerde, ve toplam 7 üs bölgesi örneklerin çözümü Şekil 4.21 ile Şekil 4.30 arasındaki çizelgelerde Pareto-optimal grafiklerle görsel olarak sunulmuştur.

Grafikler, maliyet ve kaçınma değeri arasındaki dengeyi göstererek İki Amaçlı Askeri İkmal Rotalama Probleminde daha iyi sonuçlar elde etmek için bilinçli ve etkili kararlar alınmasını sağlamaktadır. Böylece, problemdeki çoklu amaçların çelişkilerini dikkate alarak daha iyi kararlar alabilir ve optimum çözümleri belirleyebilir.

4.4. En Yakın Komşu Sezgiseli Performansı

Bu bölümde, optimizasyon problemimizin çözümünde EYK sezgiselini kullanmanın performansı değerlendirilmiştir. EYK Sezgiseli, çeşitli optimizasyon problemlerini çözmek için uygulanmış ve sonuçları analiz edilmiştir. Yapılan değerlendirme, EYK Sezgiselinin problemimizde ne kadar etkili olduğunu ve çözüm kalitesini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, EYK Sezgiselinin belirli durumlarda iyi performans sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, En Yakın Komşu Sezgiselinin optimizasyon problemlerinde potansiyel kullanım alanlarını anlamak için önemli bir adımdır.

Aynı örneklerden yararlanarak maliyet miktarları ve kaçınma değerleri adına her biri 10'ar örnekten oluşan farklı büyüklüklerde 3 'er set oluşturularak toplam 60 örnek oluşturulmuştur. 30'u maliyet miktarı ve 30'u da kaçınma değeri olmak üzere toplam 60 örnek tek amaçlı optimizasyon problemlerini ifade etmiştir.

4.4.1. Tek Amaçlı Optimizasyon Performansı

Senaryo örneklerimizin tek amaçlı en iyi çözümleri ile En Yakın Komşu (EYK) sezgiselinin tek amaçlı en iyi çözümleri detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, her iki yaklaşımın optimizasyon problemlerinde elde ettiği sonuçların analizini sağlamaktadır. Bu yapılan değerlendirme, optimizasyon problemimizin en uygun çözümünü belirleme konusunda kullandığımız sezgisel yöntemin etkisini anlamamıza büyük ölçüde katkı sağlamaktadır.

Yaptığımız değerlendirme sonuçları, EYK sezgiselinin senaryo örneklerimizde bazı durumlarda yeterli performans sergilediğini göstermektedir. Bu durum, EYK yönteminin belirli koşullar altında problemimizde başarılı çözümler üretme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Elde ettiğimiz sonuçlar, EYK'nin ne zaman tercih edilebileceği ve ne tür avantajlar sağlayabileceği konusunda önemli bir kılavuz niteliği taşımaktadır.

4.4.1.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Çizelge 4.9'da, optimizasyon problemimiz için elde edilen en iyi maliyet miktarı ve risk değeri çözümleri ile En Yakın Komşu (EYK) sezgisel yöntemle elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, her iki yöntemin problemimizin çözümünde ne kadar etkili olduğunu değerlendirmek için yapılmıştır.

Çizelge 4.9: Toplam 5 üs bölge örneği setinin tek amaçlı optimizasyon performansı

ÖRNEK	EYK-M	MİN-M	%YAK.	EYK-R	MİN-R	%YAK.
1	1853	1840	0,992984	0,37	0,32	0,864865
2	3576	3576	1	0,25	0,23	0,92
3	3220	3220	1	0,26	0,23	0,884615
4	3420	3065	0,896199	0,36	0,35	0,972222
5	2747	2706	0,985075	0,29	0,29	1
6	3310	3228	0,975227	0,33	0,3	0,909091
7	4225	3539	0,837633	0,14	0,13	0,928571
8	3576	3576	1	0,24	0,23	0,958333
9	2905	2735	0,94148	0,29	0,23	0,793103
10	3228	3228	1	0,32	0,3	0,9375
	ORTALAMA		0,96286	ORTALAMA		0,91683

Elde ettiğimiz sonuçlara göre, En Yakın Komşu (EYK) Sezgiseli, optimizasyon problemlerimizde maliyet miktarı açısından en iyi çözümleri ortalama %96.2859774 ve risk değeri açısından en iyi çözümleri ortalama %91.6830159 oranında yakınsamıştır.

EYK Sezgiselinin, maliyet ve risk kriterlerini dikkate alarak problemimizde oldukça iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Ayrıca, 5 üs bölge ve 20 örnekten oluşan deney setimizde de EYK Sezgiseli en iyi çözümleri ortalama %93.9845 oranında yakınsamıştır.

4.4.1.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Şekil 4.10'da, optimizasyon problemimiz için elde edilen en iyi maliyet miktarı ve risk değeri çözümleri ile En Yakın Komşu (EYK) sezgisel yöntemle elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, her iki yöntemin problemimizin çözümünde ne kadar etkili olduğunu değerlendirmek için yapılmıştır.

Çizelge 4.10: Toplam 6 üs bölgeli örnek setinin tek amaçlı optimizasyon performansı

ÖRNEK	EYK-M	MİN-M	%YAK.	EYK-R	MİN-R	%YAK.
1	3856	3401	0,882002	0,16	0,14	0,875
2	3659	3577	0,97759	0,26	0,25	0,961538
3	3299	3154	0,956047	0,44	0,4	0,909091
4	4808	4230	0,879784	0,24	0,24	1
5	3912	3673	0,938906	0,36	0,34	0,944444
6	3889	3889	1	0,32	0,32	1
7	3585	3585	1	0,24	0,23	0,958333
8	4617	4351	0,942387	0,27	0,24	0,888889
9	3595	3377	0,93936	0,3	0,28	0,933333
10	3661	3661	1	0,33	0,3	0,909091
	ORTALAMA		0,951608	ORTALAMA		0,937972

Elde ettiğimiz sonuçlara göre, En Yakın Komşu (EYK) Sezgiseli, optimizasyon problemlerimizde maliyet miktarı açısından en iyi çözümleri ortalama %95.1608, ve risk değeri açısından en iyi çözümleri ortalama %93.7972 oranında yakınsamıştır.

EYK Sezgiselinin, maliyet ve risk kriterlerini dikkate alarak problemimizde oldukça iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Ayrıca, 6 üs bölgeli ve 20 örnekten oluşan deney setimizde de EYK Sezgiseli en iyi çözümleri ortalama %94.479 oranında yakınsamıştır.

4.4.1.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Çizelge 4.11’de optimizasyon problemimiz için elde edilen en iyi maliyet miktarı ve risk değeri çözümleri ile En Yakın Komşu (EYK) sezgisel yöntemle elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, her iki yöntemin problemimizin çözümünde ne kadar etkili olduğunu değerlendirmek için yapılmıştır.

Çizelge 4.11: Toplam 7 üs bölge örneği setinin tek amaçlı optimizasyon performansı

ÖRNEK	EYK-M	MİN-M	%YAK.	EYK-R	MİN-R	%YAK.
1	3316	3297	0,99427	0,27	0,21	0,777778
2	3832	3528	0,920668	0,29	0,29	1
3	3815	3527	0,924509	0,31	0,28	0,903226
4	4643	3890	0,83782	0,45	0,42	0,933333
5	4082	3510	0,859873	0,29	0,28	0,965517
6	4930	4194	0,85071	0,34	0,33	0,970588
7	4035	3684	0,913011	0,27	0,26	0,962963
8	3856	3704	0,960581	0,33	0,27	0,818182
9	3924	3727	0,949796	0,38	0,34	0,894737
10	3858	3830	0,992742	0,32	0,27	0,84375
	ORTALAMA		0,951608	ORTALAMA		0,937972

Elde ettiğimiz sonuçlara göre, En Yakın Komşu (EYK) Sezgiseli, optimizasyon problemlerimizde maliyet miktarı açısından en iyi çözümleri ortalama %95.1608 ve risk değeri açısından en iyi çözümleri ortalama %93.7972 oranında yakınsamıştır.

EYK Sezgiselinin, maliyet ve risk kriterlerini dikkate alarak problemimizde oldukça iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Ayrıca, 7 üs bölge ve 20 örnekten oluşan deney setimizde de EYK Sezgiseli en iyi çözümleri ortalama %94.479 oranında yakınsamıştır.

60 örnekli deney setimizin sonucunda, karar vericinin istediği tek bir amaç doğrultusunda elde edebileceği en iyi çözüm sıralaması karşısında En Yakın Komşu (EYK) algoritmamızın performansı kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, algoritmanın problemimizde ne kadar etkili olduğunu ve çözümlerimizin gerçekten en iyi seçeneklere ne kadar yaklaştığını anlamamıza yardımcı olmaktadır. Çizelge 4.12'de, yapılan karşılaştırma ve performans değerlendirmesi tablo olarak sunulmaktadır.

Çizelge 4.12: 60 örnekli deney seti karşılaştırması

Örnek	5-MAL	5-RİSK	6-MAL	6-RİSK	7-MAL	7-RİSK
1	0,992984	0,864865	0,882002	0,875	0,99427	0,777778
2	1	0,92	0,97759	0,961538	0,920668	1
3	1	0,884615	0,956047	0,909091	0,924509	0,903226
4	0,896199	0,972222	0,879784	1	0,83782	0,933333
5	0,985075	1	0,938906	0,944444	0,859873	0,965517
6	0,975227	0,909091	1	1	0,85071	0,970588
7	0,837633	0,928571	1	0,958333	0,913011	0,962963
8	1	0,958333	0,942387	0,888889	0,960581	0,818182
9	0,94148	0,793103	0,93936	0,933333	0,949796	0,894737
10	1	0,9375	1	0,909091	0,992742	0,84375
ORT.	0,96286	0,91683	0,951608	0,937972	0,920398	0,907007

4.4.2. Çok Amaçlı Optimizasyon Performansı

Karar verici, çok amaçlı optimizasyonda sadece amaç sayısı kadar çözüm elde edebilmektedir. Bu nedenle, en iyi çözüme ulaşmak için 3 adımdan oluşan bir yöntem kullanılır:

Adım 1: Her bir amaç için ayrı ayrı En Yakın Komşu (EYK) sezgisel algoritması kullanılarak çözümler oluşturulur.

Adım 2: Sonrasında elde edilen tüm çözümler birbiriyle karşılaştırılır.

Adım 3: En son olarak, karar verici en iyi çözüme karar vererek tercihini yapar.

Senaryo örneklerimizde, karar vericinin istediği amaç doğrultusunda elde edebileceği çok amaçlı en iyi çözüm sıralamasını belirlemek amacıyla oluşturduğumuz matematiksel model, EYK algoritmamızın performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.

4.4.2.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Çizelge 4.13, toplam 5 üs bölgeyi örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı ile En Yakın Komşu (EYK) sezgisel çözümlerinin en iyi maliyet miktarı ve en iyi risk değeri çözümleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, örnek setindeki çeşitli parametrelerin ve hedef fonksiyonlarının, EYK algoritmasının performansı üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 4.13: Toplam 5 üs bölgeyi örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı

ÖRNEK	W _{rota}	W _{mal}	W _{risk}	%YAK.	%YAK.	ORT:0,9291
1	0,183864	0,183864	0,255845	1	0,718652	1
2	0,169028	0,183734	0,169028	0,91996	1	1
3	0,168049	0,176587	0,184868	0,951648	0,90902	0,951648
4	0,183864	0,251625	0,235586	0,730705	0,780454	0,780454
5	0,19146	0,234461	0,19146	0,816596	1	1
6	0,223466	0,238076	0,239434	0,938633	0,933311	0,938633
7	0,117493	0,131124	0,131124	0,896044	0,896044	0,896044
8	0,169028	0,183734	0,198394	0,91996	0,85198	0,91996
9	0,179433	0,206028	0,267613	0,870912	0,670492	0,870912
10	0,223466	0,239434	0,254331	0,933311	0,878641	0,933311

Çizelge 4.13’de sunulan veriler, çok amaçlı optimizasyon problemi için kullanılan En Yakın Komşu (EYK) algoritmasının, maliyet ve risk kriterlerine göre elde edilen en iyi çözümlere ne kadar yakınsamadığımızı belirtmektedir. Örnek setimizde, EYK Sezgiseli en iyi çözümleri ortalama %92.91 oranında yakınsamıştır.

4.4.2.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Çizelge 4.14’de toplam 6 üs bölgeli örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı ile En Yakın Komşu (EYK) sezgisel çözümlerinin en iyi maliyet miktarı ve en iyi risk değeri çözümleri karşılaştırılmıştır. Örnek setimizde, EYK Sezgiseli en iyi çözümleri ortalama. %93.267 oranında yakınsamıştır.

Çizelge 4.14: Toplam 6 üs bölgeli örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı

ÖRNEK	W _{rota}	W _{mal}	W _{risk}	%YAK.	%YAK.	ORT:0,93267
1	0,120395	0,221775	0,137114	0,542869	0,878064	0,878064
2	0,165898	0,200048	0,177909	0,829291	0,932488	0,932488
3	0,213866	0,235681	0,225322	0,907438	0,949155	0,949155
4	0,160535	0,197169	0,160535	0,814199	1	1
5	0,202067	0,227513	0,258315	0,888154	0,78225	0,888154
6	0,165407	0,165407	0,176693	1	0,936127	1
7	0,157953	0,168486	0,173368	0,937486	0,911084	0,937486
8	0,170622	0,192978	0,177138	0,884155	0,963216	0,963216
9	0,177503	0,188962	0,208767	0,93936	0,850247	0,93936
10	0,173289	0,206597	0,206996	0,838779	0,837161	0,838779

4.4.2.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Çizelge 4.15’de toplam 7 üs bölgeli örnek setinin çok amaçlı optimizasyon performansı ile En Yakın Komşu (EYK) sezgisel çözümlerinin en iyi maliyet miktarı ve en iyi risk değeri çözümleri karşılaştırılmıştır. Örnek setimizde, EYK Sezgiseli en iyi çözümleri ortalama %82.9854 oranında yakınsamıştır.

Çizelge 4.15: Toplam 7 üs bölge örneği setinin çok amaçlı optimizasyon performansı

ÖRNEK	Wrota	Wmal	Wrisk	%YAK.	%YAK.	ORT:0,829854
1	0,167329	0,220674	0,197469	0,758263	0,84737	0,84737
2	0,142221	0,192486	0,192017	0,738861	0,740667	0,740667
3	0,180179	0,250575	0,278949	0,719062	0,64592	0,719062
4	0,210867	0,249952	0,249952	0,843631	0,843631	0,843631
5	0,185653	0,241848	0,189649	0,767642	0,978925	0,978925
6	0,178987	0,234279	0,207162	0,763988	0,863995	0,863995
7	0,165091	0,251484	0,219605	0,656466	0,751764	0,751764
8	0,188962	0,20245	0,230954	0,933377	0,818182	0,933377
9	0,195843	0,246288	0,243553	0,795178	0,804109	0,804109
10	0,139012	0,170434	0,189344	0,815637	0,734177	0,815637

4.4.3. EYK Algoritmasının Pareto-optimal Grafiklerle Karşılaştırması

EYK sezgiseli ile elde edilen çözümlerin optimum çözümlere ne kadar yakınsadığı değerlendirilmiştir. Sezgisel algoritmanın performansı, grafiklerde çözümlerin Pareto-optimal çizgisine ne kadar yakın olduğu ve bu çizgiye ne kadar iyi yakınsadığına göre değerlendirilmiştir. Eğer sezgisel algoritma çözümleri Pareto-optimal çizgisine daha yakın bir şekilde üretiyorsa, performansı daha iyidir ve problemde daha iyi sonuçlar elde etmek için daha etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

EK-2’de Şekil 4.1 ile Şekil 4.30 arasında görsel olarak sunulan Pareto-optimal grafiklerde, maliyet miktarı optimizasyonlu EYK çözümleri yeşil halka ile ve kaçınma değeri optimizasyonlu EYK çözümleri kırmızı halka ile gösterilmiştir. Grafikte gösterim haricinde EYK Sezgiseli çözümlerinin pareto eğrisini yakalama düzeyi, tablosal olarak performans değerlendirmemizde belirlenmiştir.

4.4.3.1. Toplam 5 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

EYK Sezgiseli çözümlerinin Pareto eğrisini yakalama düzeyi, örnek setimiz üzerinde yapılan değerlendirme ve analizler sonucunda elde edilen tablo üzerinden belirlenmiştir. Bu tablo, EYK algoritmasının çok amaçlı optimizasyon problemi için ürettiği çözümlerin Pareto eğrisine olan yakınlığını göstermekte ve çözümlerin hedeflenen amaçlar doğrultusunda ne kadar etkili olduğunu açıkça göstermektedir. Toplam 5 üs bölgesi olan örnek setine ilişkin veriler, Çizelge 4.16’da bulunmaktadır.

Çizelge 4.16: Toplam 5 üs bölgeyi örnek setinin Pareto-optimal yakalama tablosu

ÖRNEK	EYK-M	EYK-R		PARETO-OPTİMAL
1	Rota-8, Rota-17	Rota-1, Rota-24	X	Rota-8,Rota-17,Rota-13,Rota-15, Rota-19,Rota-21
2	Rota-15, Rota-19	Rota-9, Rota-10	X	Rota-4,Rota-5,Rota-6,Rota-10,Rota-12,Rota-15, Rota-16,Rota-19
3	Rota-7, Rota-23	Rota-11, Rota-14	X	Rota-4, Rota-7, Rota-9, Rota-12, Rota-20, Rota-23
4	Rota5, Rota-16	Rota-15, Rota-19	X	Rota-3,Rota-8,Rota-11,Rota-14,Rota-15,Rota-17, Rota-19,Rota-22
5	Rota-2, Rota-18	Rota-11, Rota-14	X	Rota-8,Rota-11,Rota-13,Rota-14,Rota-15,Rota-17, Rota-19,Rota-21
6	Rota-11, Rota-14	Rota-13, Rota-21	X	Rota-3, Rota-11, Rota-13, Rota-14, Rota-21, Rota-22
7	Rota-1, Rota-24	Rota-1, Rota-24		Rota-3,Rota-4,Rota-7,Rota-12,Rota-13, Rota-21, Rota-22,Rota-23
8	Rota-4, Rota-12	Rota-13, Rota-21	X	Rota-4,Rota-9,Rota-11,Rota-12,Rota-14, Rota-15, Rota-19,Rota-20
9	Rota-4, Rota-12	Rota-6, Rota-10		Rota-2, Rota-3, Rota-18, Rota-22
10	Rota5, Rota-16	Rota-9, Rota-20	X	Rota-5,Rota-11,,Rota-14,Rota-15, Rota16,Rota-19

4.4.3.2. Toplam 6 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Toplam 6 üs bölgesi olan örnek setine ilişkin veriler Çizelge 4.17’de bulunmaktadır.

Çizelge 4.17: Toplam 6 üs bölgeli örnek setinin Pareto-optimal yakalama tablosu

ÖRNEK	EYK-M	EYK-R		PARETO-OPTİMAL
1	Rota-50, Rota-93	Rota-79, Rota-109		Rota-11, Rota-38, Rota-67, Rota-68,Rota-80, Rota-84
2	Rota-13, Rota-112	Rota-45, Rota-76	X	Rota-13, Rota-14, Rota-16, Rota-46, Rota-69, Rota-70, Rota-73, Rota-74, Rota-111,Rota-112
3	Rota-87, Rota-97	Rota-63, Rota-98		Rota-1, Rota-3, Rota-9, Rota-108, Rota-114, Rota-120
4	Rota-24, Rota-34	Rota-3, Rota-114	X	Rota-3, Rota-6, Rota-9, Rota-66, Rota-108, Rota-114
5	Rota-5, Rota-90	Rota-79, Rota-109		Rota-29, Rota-38, Rota-68, Rota-89,
6	Rota-18, Rota-36	Rota-35, Rota-78	X	Rota-13, Rota-18, Rota-36, Rota-37, Rota-78, Rota-112
7	Rota-25, Rota-119	Rota-49, Rota-117	X	Rota-25, Rota-31, Rota-47, Rota-51, Rota-52, Rota-107, Rota-116, Rota-119
8	Rota-13, Rota-112	Rota-73, Rota-111	X	Rota-10, Rota-15, Rota-48, Rota-55, Rota-73, Rota-106, Rota-111, Rota-115
9	Rota-17, Rota-60	Rota-23, Rota-58		Rota-18, Rota-36
10	Rota5, Rota-16	Rota-9, Rota-20	X	Rota-5,Rota-11,,Rota-14,Rota-15,Rota- 16,Rota-19

4.4.3.3. Toplam 7 Üs Bölgesi Olan Örnek Seti

Toplam 7 üs bölgesi olan örnek setine ilişkin veriler, Çizelge 4.18'te bulunmaktadır.

Çizelge 4.18: Toplam 7 üs bölgei örnek setinin Pareto-optimal yakalama tablosu

ÖRNEK	EYK-M	EYK-R		PARETO-OPTİMAL
1	Rota-26, Rota-598	Rota-487, Rota-681	X	Rota-37, Rota-193, Rota-261, Rota-487, Rota-505, Rota-521, Rota-681, Rota-684, Rota-685 Rota-686
2	Rota-61, Rota-660	Rota-371, Rota-525		Rota-347, Rota-373, Rota-374, Rota-375, Rota-635, Rota-659
3	Rota-1, Rota-720	Rota-237, Rota-370		Rota-177, Rota-622
4	Rota-163, Rota-558	Rota-163, Rota-558		Rota-50, Rota-67, Rota-98, Rota-379, Rota-448, Rota-539, Rota-540 Rota-592, Rota-233, Rota-244, Rota-256, Rota-257, Rota-392, Rota-405 Rota-407, Rota-465, Rota-477, Rota-488, Rota-491, Rota-579
5	Rota-6, Rota-456	Rota-257, Rota-407	X	Rota-56 ,Rota-57, Rota238, Rota646
6	Rota-161, Rota-384	Rota-363, Rota-669		Rota-77, Rota-105, Rota-106, Rota-208, Rota-430, Rota-520
7	Rota-2, Rota-600	Rota-107, Rota-400		Rota-8, Rota-137, Rota-427, Rota-429, Rota-431, Rota-483, Rota-485, Rota-509, Rota-594, Rota-663
8	Rota-410, Rota-583	Rota-421, Rota-629		Rota-111, Rota-459, Rota-512, Rota-514, Rota-519, Rota-609
9	Rota-7, Rota-714	Rota-272, Rota-581		Rota-331, Rota-344, Rota-390, Rota-434
10	Rota-24, Rota-306	Rota-410, Rota-583		

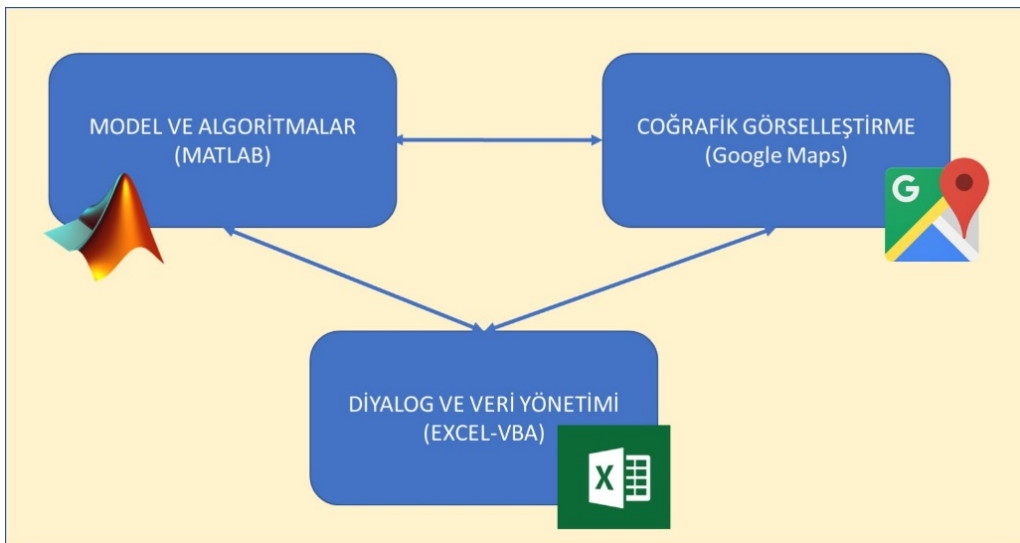
Çizelge 4.16, Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18'deki tablolar, EYK Sezgiseli'nin çözümlerinin Pareto-optimal eğri üzerindeki performansını sayısal olarak göstermektedir. Bu grafikler, EYK Sezgiseli'nin performansını farklı üs sayılarına göre değerlendirmemize olanak sağlar. Grafikler incelendiğinde, üs sayısının artmasıyla birlikte en iyi sonuçları

yakalama oranının düştüğü görülmektedir. Üs bölgelerinin sayısının artması, alternatif rota miktarının üstel bir şekilde artmasına neden olurken, EYK Sezgiseli çözümünün alternatif rota miktarı sadece amaç ve örnek sayısı ile kısıtlı kalmaktadır. Bu sebeple, Pareto-optimal sonuç yakalama oranının düşmesi normal bir durumdur ve algoritmanın performansını olumsuz yönde etkilemez.

EYK Sezgiseli'nin performans ölçümü yapılırken, elde edilen çözümlerin Pareto-optimal grafiklerdeki eğriye ne kadar yakın olduğu önemlidir. Karar vericinin yanılsamalara düşmemesi için Pareto-optimal grafiklerin eğrileri üzerinde dikkatli incelemeler yapılmalı ve çözümlerin gerçekten en iyi seçeneklere ne kadar yakınsadığı değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme, algoritmanın çözümlerimizin ne kadar başarılı olduğunu belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

4.5. İAAİRP Karar Destek Sistemi

Şekil 4.31'de, İAAİRP için oluşturulmuş KDS'nin bir örnek gösterimi bulunmaktadır. Bu sistemde, model ve algoritmalar Excel VBA ile entegre edilmiştir ve Coğrafi konumlandırma açısından Google Maps ile entegrasyon çalışmaları devam etmektedir. Bu entegrasyon sayesinde, askeri hava aracının rotalama planlaması, gerçek dünya coğrafi konumlarını da dikkate alarak daha hassas ve etkili bir şekilde gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.31: İAAİRP Karar destek sistemi

Çalışma kapsamında, askeri bir hava aracının farklı amaçlarla bir ana üsten başlayarak sırasıyla ziyaret edilecek üslerde görevini tamamlaması ve geri dönüşünü içeren İAAİRP için, karar vericinin tercihlerine dayalı rota planlaması sunan bir KDS geliştirilmiştir. KDS, bir sistem olarak askeri hava aracının rotalamasını belirlemek ve en uygun rotaları oluşturmak için tasarlanmıştır. Karar verici, bu KDS'yi kullanarak askeri hava aracının etkili ve verimli rotalarla hareket etmesini sağlar. Bu sayede, askeri operasyonların planlaması ve yönetimi daha etkin ve başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

İAAİRP çözümü için gereken ziyaret noktaları arası uzaklık verileri ve ziyaret noktaları arası kaçınma değerleri, Excel matrisleriyle veya doğrudan MATLAB yazılımına girilerek işlenir. Karar vericinin yapacağı rotalama planı için başlangıç ve bitiş noktaları bilgisi seçilerek MATLAB yazılımına girilir. Bu şekilde, MATLAB üzerinde gerekli veriler ve başlangıç-bitiş noktaları kullanılarak, İAAİRP için en uygun rota ve alternatif rota listesi oluşturularak karar vericiye sunulabilir. Excel matrisleri ile MATLAB yazılımı sayesinde verilerin doğru ve hatasız bir şekilde işlenmesi ve optimize edilmesi sağlanır.

KDS, karar vericinin tercihlerine göre amaçlarına istediği değeri verme imkanı sağlayarak, kullanıcıya istediği amaca yönelik rota planlamaları sunar. Kullanıcı ile etkileşim halinde olan KDS, kullanıcının tercihlerinde değişiklik yapması durumunda alternatif yeni yollar üretebilir. KDS, en güvenli ve en az maliyetli rota amaçlarını birlikte değerlendiren bir doğrusal tamsayılı model geliştirilmiştir ve aynı zamanda Pareto-optimal çözümleri için de sistem içinde grafik oluşturma özelliğine sahiptir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılmış olan bu çalışma kapsamında çok amaçlı İAAİRP ele alınmıştır. Hava taşımacılığı bilindiği üzere çok maliyetlidir. Bu sebeple literatürde de ele alınan hava taşımacılığı problemleri genel olarak maliyet minimizasyonunu hedefleyen çalışmalardır. Ancak askeri hava taşımacılığı, maliyetli bir operasyon olmasının yanında güvenlik hassasiyeti de içermektedir. Yapılacak planlamalarının başarılı bir şekilde tamamlanabilmesi için ulaşımın güvenliğine de önem verilmesi gerekmektedir.

Toplam uçuş maliyetlerinin minimuma indirilmesi amacı olan İAAİRP; aynı zamanda uçuş riskini en küçükleyecek şekilde yeniden değerlendirilmiştir. Problemde belirtilen bu risk kaçınma katsayısı olarak tanımlanmıştır. Kaçınma katsayısı teknik uzmanların coğrafik koşullar, hava koşulları ve düşman unsurları göz önüne alarak yaptıkları değerlendirmeler olup uçuş güvenliğini de gözetererek modele katmaktadır. Olası alternatif rotalar uçuş risk faktörünü de göz önüne alarak oluşturulmuştur.

Uçaklar sadece minimum maliyet göz önüne alındığında sürekli olarak aynı rotaları kullanacaklardır. Bu durum düşman unsurların saldırılarına karşı bir zaafiyet alanı oluşturmaktadır. Rutin ve bilinen faaliyetler birer potansiyel risk olup tespit edilmeyi kolay hale getirmektedir. Çalışmamızda bu potansiyel riski minimuma indirecek çözümler önerilmiştir. Önerilen yöntemler ile maliyeti önemsizleştirmeden farklı rotalar oluşturarak alternatif planlar ortaya çıkarılabilmektedir. Göreve hazır vaziyetteki uçakların ihtiyaca göre alternatif rotalar türetebilmesi sağlanmıştır. Böylelikle farklı risk ortamlarına karşı hazırlıklı olup, beklenilmeyen durumlarda hızlı reaksiyon gösterme sağlanmıştır.

İAAİRP’de yapılacak olan değerlendirme sadece savaş zamanını değil barış zamanını da kapsamaktadır. Askeri hava taşımacılığı barış zamanı ve savaş zamanı işlevidir. İnsani yardım, sivil ve özel kuruluşların desteğinde bulunmak gibi askeri olmayan operasyonları içerebilir. Bu nedenle çalışmada, farklı senaryolara hızlı bir şekilde adapte olabilmek için çeşitli rota seçenekleri sunulmuştur. Ana maksadımız, alternatif rotaları elde

bilinçli karar vermemizi sağlayacak verileri elde etmektir. Burada asıl olan amaç planlı olarak farklı rotalarda yeni kazanımlar elde etmektir. Yeni kazanımlar sayesinde rotalama planlayacak komuta merkezi hızlı karar alabilecektir.

Beklenilmeyen durumlara reaksiyon muharebe esnasında kritik bir kuvvet çarpanı olmaktadır. Yetenekli bir kuvvetin yanıt verme hızı, genellikle askeri operasyonlarda belirleyici bir etkiye sahiptir. Muharebe ve harekât esnasında bir acil müdahale durumunda hızlı reaksiyon verilmesini gerekmektedir. Orduların verdiği ve vereceği kayıplar açısından her saatin, dakikanın ve hatta saniyenin önemi büyük olacaktır.

Çalışmamızda uçuş maliyeti ve uçuş riski amaçlarını en küçükleyecek şekilde bir arada değerlendiren matematiksel bir model geliştirilmiştir. Problemin en iyi çözüme ulaştırılmasında uygulanan matematiksel model istenilen amaç doğrultusundaki en iyi çözümlere ulaşmıştır. Tek bir amaç doğrultusunda çözüm elde etmek yeterli olmadığı için, kaçınma katsayısı ile maliyet matrisleri Pareto-optimal Çözüm yöntemi ile çözüme kavuşturulmuştur. Birbirine baskın olmayan bu çözümler arasında ödünleşme sağlanmıştır. Uzlaşık çözümler elde edilmiştir. Karar vericinin çözüm kümesinde rasyonel karar verebilmesini sağlamak amacıyla modelin çözüm kümesi Pareto-optimal grafiklerle gösterilmiştir. Pareto optimal çözümler ile karar vericiye rasyonel karar seti sunulmuştur.

Acil durumlarda planlamanın oldukça ivedi olması gerekmektedir. Öngörülemeyen durumlara reaksiyonunun kritik bir kuvvet çarpanı halini almaktadır. En yakın komşu algoritmasının problemimizin maliyet ve kaçınma katsayısı matrislerinde büyük boyutlu problemlerde çözümün hızlı bir şekilde bulunmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada önerilen en yakın komşu sezgiseli ile elde edilen çözümler matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan en yakın komşu algoritmasının etkinliği matematiksel model sonuçları karşılaştırılarak ortaya konmuştur. EYK sezgiseli ile elde edilen çözümlerin ayrıca Pareto-optimal grafiklere olan yakınsaması değerlendirilerek sezgiselin performansı ölçülmüştür.

Bu çalışmadaki amacımız çok amaçlı İAAİRP'yi askeri planları etkin bir şekilde destekleyecek karar destek sistemi haline getirmek ve bir grup karar destek sistemi oluşturmaktır. Karar verici askeri personel ya da bir komuta merkezinin, görev kriterlerine ve görevi etkileyecek faktörlerin değerlendirildiği planlamalarına yardımcı olacak, bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Sistem, karar verici askeri personel ya da bir komuta merkezinin rota planlamalarında hem maliyet miktarını hem de kaçınma değeri faktörünü ele alır ve alternatif rota türetir. KDS karar verici tercihleri ile tam uyumlu çalışması sebebiyle karşılıklı etkileşimli şekli ile olası ortaya çıkacak problemler doğrultusunda alternatif rotalar türetilmektedir.

Yapılan çalışma, literatürdeki benzer çalışmalar ile kıyaslandığında öncü bir çalışmadır. Askeri hava taşımacılığına dair çalışmaların genel olarak insansız hava araçları çalışmalarını kapsadığı görülmektedir. Bununla birlikte çok amaçlı İAAİRP doğrudan probleme kattığı amaçlar ve önerilen çözüm yaklaşımları ile literatüre önemli ve anlamlı katkılar sağlamaktadır. Önerilen bu yaklaşımın komuta merkezine avantaj sağlayacak stratejik bir karar verme aracı olma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Askeri karar verme ve askeri yönetim süreçlerinin zorluğu göz önüne alındığında, askeri sistem ve teknolojilerin sürekli gelişmesi gerektiği önemle vurgulanmaktadır. Günümüzde yaşanan ve yaşanması muhtemel olan birçok siyasi senaryo değerlendirildiğinde bu tez kapsamındaki çalışmaların önemli ve anlamlı katkılarının olacağı görülmektedir. Özellikle savunma sanayiindeki birçok çalışma bu görüşü desteklemektedir.

Gelecek çalışmalar, Karar Destek Sistemi'nin coğrafi görselleştirme kısmının Google Haritalar ile tam entegrasyonunun tamamlanması ve barış ile savaş dönemlerini kapsayacak şekilde geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşacaktır. Geliştirilecek olan KDS ile karar vericiye harita üzerinde türetilen alternatif rota bilgileri sunulacak ve daha etkili planlamalar yapılacaktır. Komuta merkezinin tercihlerinin değişmesi durumunda önerilecek KDS, alternatif yeni rotaları türetirken harita üzerinde görsel olarak sunacaktır. Bununla birlikte

önerilen yöntemin barış ve savaş dönemlerinin her ikisini de ayrı ayrı destekleyecek şekilde bir grup KDS'ye dönüştürülmesi hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma askeri hava taşıma operasyonlarının daha güvenli, etkili ve esnek bir şekilde yönetilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Savunma sanayiinin sürekli gelişen ihtiyaçları göz önünde bulundurularak, çalışmanın askeri planlama ve operasyonlara anlamlı bir katkı sunması beklenmektedir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akpınar, S. (2016). Kapasiteli Araç Rotalama Problemi İçin Hibrit Geniş Komşuluk Arama Algoritması. *Uygulamalı Uzman Sistemler*, 61, 28-38.
- AKSOY Özgür (2018), Askeri Hava Taşıma Probleminde Risk Yönelimli Eşzamanlı Rotalama–Çizelgeleme Ve Çözüm Önerileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Aksoy, Özgür & Kapanoglu, Muzaffer. (2014). Fuzzy risk constrained airlift routing with split, multi-way P&D policy in Turkish air force. 1519-1529.
- Aplak, H. S. (2018). Karar Verme Yöntemleri Ve Askerî Muharebe Fonksiyonları Alanlarına Yönelik Uygulamaları. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 87-110.
- Arman Nedjati, Gokhan Izbirak, Jamal Arkat, Bi-Objective Covering Tour Location Routing Problem With Replenishment At Intermediate Depots: Formulation And Meta-Heuristics, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 110, 2017, Pages 191-206, ISSN 0360-8352,
- Army, U. S. "Army Transportation Operations: FM 4-01." Department Of The Army (2020).
- Chen, P., Huang, H. K. Ve Dong, XY (2010). Kapasiteli Araç Rotalama Problemi İçin Yinelenen Değişken Komşu İniş Algoritması. *Uygulamalı Uzman Sistemler*, 37 (2), 1620-1627.
- Cheng, M.B, Tadikamalla, P.R., Shang, J., Zhang, B.X. (2015). Two-Machine Flow Shop Scheduling With Deteriorating Jobs: Minimizing The Weighted Sum Of Makespan And Total Completion Time. *Journal Of The Operational Research Society*. 66(5), 709-719
- Deb K., 2002, A Fast And Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II, *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, Vol. 6. Pp 182-197.
- Değirmen, S. , Çavdur, F. & Sebatlı, A. (2018). AFET OPERASYONLARI YÖNETİMİNDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIMI: GÖZETLEME OPERASYONLARI İÇİN ROTA PLANLAMA . Uludağ

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi , Volume: 23 Issue: 4 (Special Issue) , 11-26 . DOI: 10.17482/uumfd.455146
- Demir, E., Bektaş, T., Laporte G., The Bi-Objective Pollution Routing Problem. European Journal Of Operational Research, 232, 464-478, 2014.
- Dias A.H.F., Joao A. De V., 2002. Multiobjective Genetic Algorithms Applied To Solved Optimization Problems, IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 38, No. 2.
- Ercan, C. & Gencer, C. (2013). Dinamik İnsansız Hava Sistemleri Rota Planlaması Literatür Araştırması ve İnsansız Hava Araçları Çalışma Alanları . Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 19 (2) , 104-111 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/pajes/issue/20495/218220?publisher=pamukkale>
- Gupta, S. Ve Panwar, P. (2013), Solving Travelling Salesman Problem Using Genetic Algorithm, International Journal Of Advanced Research In Computer Science And Software Engineering, 3(6), S.376-380.
- Halvorsen-Weare, E.E., Savelsbergh, M. W. P., The Bi- Objective Mixed Capacitated General Routing Problem With Different Route Balance Criteria, European Journal Of Operational Research, 251 (2), 451-465, 2016.
- Hasan TİMURLEK Bekir ŞENER Bir Yük Gemisi Formunun Parametrik Olarak Modellenmesi Ve Çok Amaçlı Optimizasyonu Ejosat Special Issue 2020
- IRMAK, E. (2023). Lojistik faaliyetlerde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Kullanımı ve Uygulama Alanları. SOSYAL, İNSAN VE İDARİ BİLİMLERDE ÖNCÜ VE ÇAĞDAŞ ÇALIŞMALAR, 1477-1506.
- Jose Carlos Molina Et Al. / Procedia - Social And Behavioral Sciences ,2014
- Kabadurmuş Ve Erdoğan Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University 38:1 (2023)
- Kapanoğlu, M., Orhan, İ., Saraç, T., (2019), Karar Destek Sistemleri, Anadolu Üniversitesi Basımevi.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Karabulut, A. (2018). Conficting Weighted Cost Minimisation Heuristic Method For An Assembly Line Scheduling Problem, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 92s.
- Lynn E. Davis, Jeremy Shapiro, Bruce Nardulli, Roger Cliff, Nora Bensahel, The U.S. Army And The New National Security Strategy, Rand Corporation, 2003
- M Abedi, H Seidgar, H Fazlollahtabar , R Bijani, Bi-Objective Optimisation For Scheduling The İdentical Parallel Batch-Processing Machines With Arbitrary Job Sizes, Unequal Job Release Times And Capacity Limits (2015)
- M. F. İbrahim, I. Masudin, T. E. Saputro, Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi İçin Hibrit Bir Genetik Algoritma Uygulaması. Journal Ilmiah Teknik Industri, 14:2 (2016) 196-204
- M.C., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A.Q. (2013). Reactive Scheduling İn A Make-To-Order Flexible Job Shop With Reentrant Process And Assembly: A Mathematical Programming Approach. International Journal Of Production Research. 51(17), 5120-5141.
- Michalewicz, Z. (1994). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Berlin: Springer-Verlag.
- Mozdgir, A., Ghomi, S.M.T.F., Jolai, F., Navaei, J. (2013). Two-Stage Assembly Flow-Shop Scheduling Problem With Nonidentical Assembly Machines Considering Setup Times. International Journal Of Production Research. 51(12), 3625-3642.
- Murata, T., & Ishibuchi, H. (1995). MOGA: Multiobjective Genetic Algorithms. 2nd IEEE International Conference On Evolutionary Computation, (S. 289-294). Perth, Australia.
- Niu, Y., Yang, Z., Chen, P., Xiao, J., Optimizing The Green Open Vehicle Routing Problem With Time Windows By Minimizing Comprehensive Routing Cost. Journal Of Cleaner Production, 171, 962-971, 2018.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Osyczka A., 2002. Evolutionary Algorithms For Single And Multicriteria Design Optimization, New York: Physica Verlag.
- OWEN Robert C., Air Mobility: A Brief History Of The American Experience, Potomac Books Inc., 2013
- Özçelik, F., Saraç, T. (2011). Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli İki Ölçütlü Tek Makine Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Çözüm Yöntemi. Journal Of Industrial Engineering. 4(22), 48-57.
- Ratliff HD, Rosenthal AS. “Orderpicking İn A Rectangular Warehouse: A Solvable Case Of The Traveling Salesman Problem”.Operations Research, 31 (3), 507-521, 1983.
- Serkan, K. A. Y. A., & FIĞLALI, N. (2016). Çok Amaçlı Optimizasyon Problemlerinde Pareto Optimal Kullanımı. Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi, 5(2), 9-18.
- SLAYTON Robert, Master Of The Air: William Tunner And The Success Of Military Airlift, University Of Alabama Press, 2010
- Şahin Y.,Karagül K., Gezgın Satıcı Probleminin Melez Akışkan Genetik Algoritma (MAGA) Kullanarak Çözümü, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 25(1), 106-114, 2019
- ŞAHİN, Y. (2019). SEZGİSEL VE METASEZGİSEL YÖNTEMLERİN GEZGİN SATICI PROBLEMİ ÇÖZÜM PERFORMANSLARININ KIYASLANMASI. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19(4), 911-932.
- Toro,E.M.,Franco,J.F.,Echeverri,M.G.,Guimaraes, F. G., A Multi-Objective Model For The Green Capacitated Location-Routing Problem Considering Environmental Impact. Computers & Industrial Engineering, 110, 114- 125, 2017.
- Turban, E., Aronson, J., Liang, T., & Sharda, R. (2007). Decision Support And Business Intelligence Systems, 8th Edition Prentice Hall. Upper Saddle River NJ.
- Tükenmez Ve Kaya / Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University 36:4 (2021)

KAYNAKLAR DİZİNİ

Yüksel, D. (2019). Bi-Objective No-Wait Permutation Flowshop Scheduling Problems, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir, 168s



EK AÇIKLAMALAR

Ek-Açıklama-A: MATLAB Kodları

```
clear
```

```
M = readtable('Matrisler_10.xlsx');
```

```
M1 = table2array(M(1:10,2:11));
```

```
M2 = table2array(M(1:10,14:23));
```

```
base = 1;
```

```
visit = [4 5 6 7];
```

```
P = perms(visit);
```

```
rotalar = [base*ones(size(P,1),1) P base*ones(size(P,1),1)];
```

```
for k=1:size(rotalar,1)
```

```
    risk(k,1) = 0;
```

```
    for i=1:size(rotalar,2)-1
```

```
        risk(k,1) = risk(k,1) + M1(rotalar(k,size(rotalar,2)-i),rotalar(k,size(rotalar,2)-i+1));
```

```
    end
```

```
end
```

```
for m=1:size(rotalar,1)
```

```
    maliyet(m,1) = 0;
```

```
    for n=1:size(rotalar,2)-1
```

```
        maliyet(m,1) = maliyet(m,1) + M2(rotalar(m,size(rotalar,2)-n),rotalar(m,size(rotalar,2)-n+1));
```

```
    end
```

```
end
```

```
L = max(maliyet);
```

```
Total_min_mal = min(maliyet);
```

```
Total_min_risk = min(risk);
```

```
Nr = (maliyet/L);
```

```
W = (Nr.*risk);
```

```
Ws = sort(W,'descend');
```

```
Wk = sort(W,1);
```

```
tablo = [rotalar W maliyet risk];
```

%% Grafik

```
figure
plot(risk, maliyet,'o','MarkerEdgeColor','b',...
     'MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])
xlim([0.95*min(risk) 1.05*max(risk)])
ylim([0.95*min(maliyet) 1.05*max(maliyet)])
xlabel('Kaçınma Değeri','fontsize',15,'fontweight','bold')
ylabel('Rota Maliyeti','fontsize',15,'fontweight','bold')
title('Pareto Optimal Grafik','fontsize',20,'fontweight','bold')
grid on
```

%% en yakın komşu maliyet

visit_dum = visit;

for mm=1:size(visit,2)

rot_mal(mm) = M2(base,visit(mm));

end

[min_mal, min_visit] = min(rot_mal);

min_visit_old = min_visit;

maliyet_min = min_mal;

risk_min = M1(base,visit(min_visit));

rota_mal_min = visit_dum(min_visit);

visit_new = visit_dum(visit_dum~=visit_dum(min_visit));

tt=2;

while tt<size(visit,2)+1

rot_mal = [];

for nn=1:size(visit_new,2)

rot_mal(nn) = M2(visit_dum(min_visit),visit_new(nn));

end

[min_mal, min_visit] = min(rot_mal);

min_visit_old = min_visit;

maliyet_min(tt) = min_mal;

risk_min(tt) = M1(rota_mal_min(end),visit_new(min_visit));

rota_mal_min(tt) = visit_new(min_visit);

visit_dum = visit_new;

visit_new = visit_new(visit_new~=visit_dum(min_visit));

tt = tt+1;

end

rota_mal_min = [base rota_mal_min base];

maliyet_min = [maliyet_min M2(base,rota_mal_min(end-1))];

```
risk_min = [risk_min M1(base,rota_mal_min(end-1))];  
total_maliyet_min = sum(maliyet_min);  
total_risk_min = sum(risk_min);
```



%% en yakın komşu risk

```
visit_dum = visit;
```

```
for rr=1:size(visit,2)
```

```
    rot_risk(rr) = M1(base,visit(rr));
```

```
end
```

```
[risk_mal, min_visit] = min(rot_risk);
```

```
min_visit_old = min_visit;
```

```
riskk_min = risk_mal;
```

```
r_mal_min = M2(base,visit(min_visit));
```

```
rota_risk_min = visit_dum(min_visit);
```

```
visit_new = visit_dum(visit_dum~=visit_dum(min_visit));
```

```
tt=2;
```

```
while tt<size(visit,2)+1
```

```
    rot_risk = [];
```

```
    for ss=1:size(visit_new,2)
```

```
        rot_risk(ss) = M1(visit_dum(min_visit),visit_new(ss));
```

```
    end
```

```
[risk_mal, min_visit] = min(rot_risk);
```

```
min_visit_old = min_visit;
```

```
riskk_min(tt) = risk_mal;
```

```
r_mal_min(tt) = M2(rota_risk_min(end),visit_new(min_visit));
```

```
rota_risk_min(tt) = visit_new(min_visit);
```

```
visit_dum = visit_new;
```

```
visit_new = visit_new(visit_new~=visit_dum(min_visit));
```

```
tt = tt+1;
```

```
end
```

```
rota_risk_min = [base rota_risk_min base];
```

```

riskk_min = [riskk_min M1(base,rota_risk_min(end-1))];
r_mal_min = [r_mal_min M2(base,rota_risk_min(end-1))];
total_riskk_min = sum(riskk_min);
total_r_mal_min = sum(r_mal_min);

```

```

tablo_EYK_Maliyet = [rota_mal_min total_maliyet_min total_risk_min];
tablo_EYK_Risk = [rota_risk_min total_r_mal_min total_riskk_min];

```

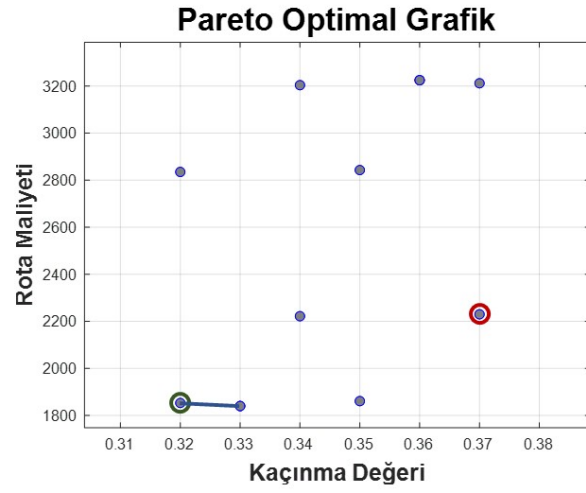
```

tablo_EYK_Karsilastirma = [total_maliyet_min Total_min_mal 0 total_riskk_min
Total_min_risk];

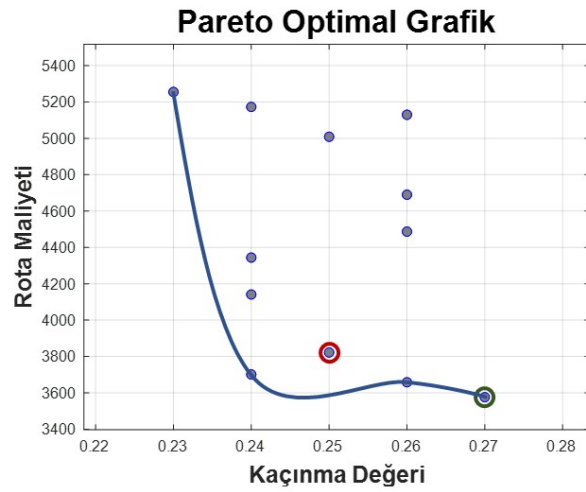
```



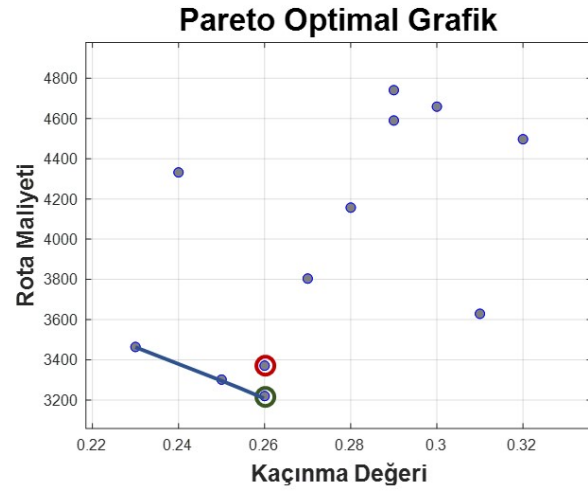
Ek-Açıklama-B: Pareto-optimal Grafikler



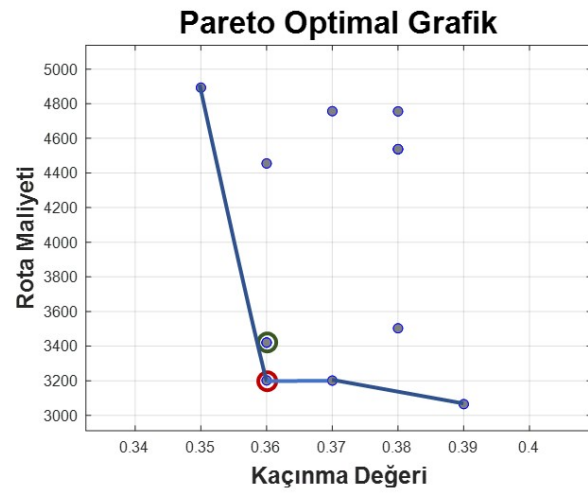
Şekil 4 1: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 1. Örneği



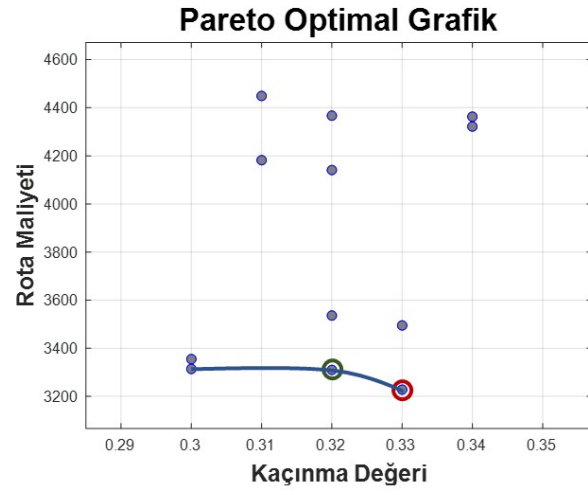
Şekil 4.2: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 2. Örneği



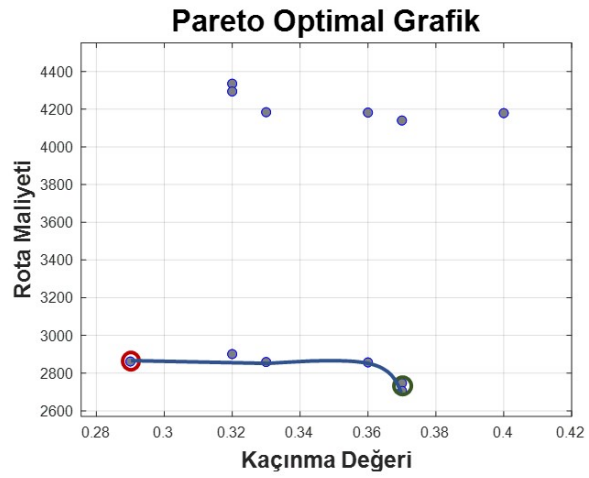
Şekil 4.3: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 3. Örneği



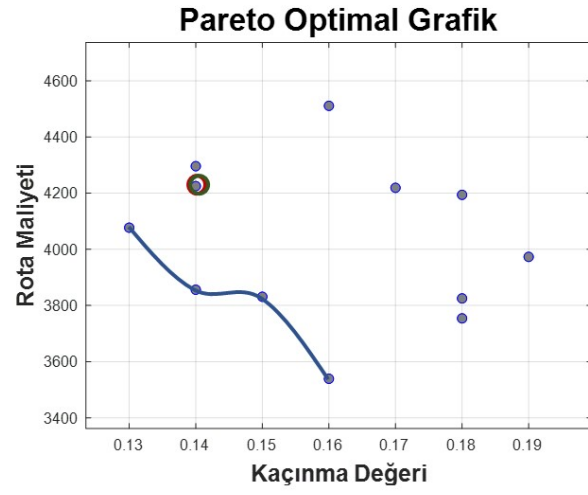
Şekil 4.4: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 4. Örneği



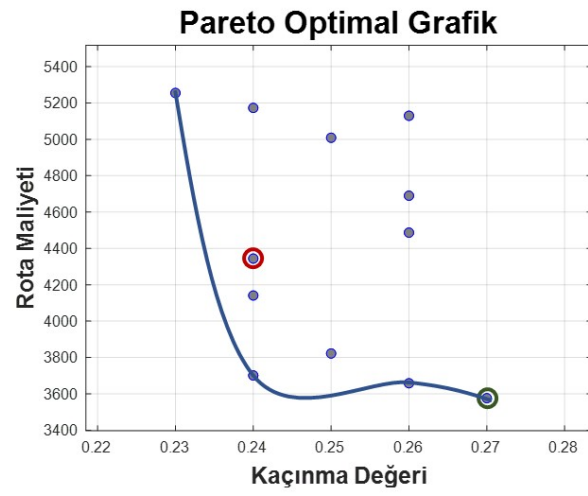
Şekil 4.5: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 5. Örneği



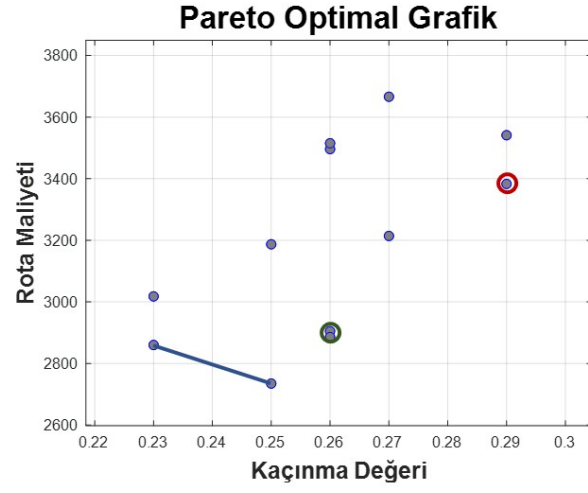
Şekil 4.6: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 6. Örneği



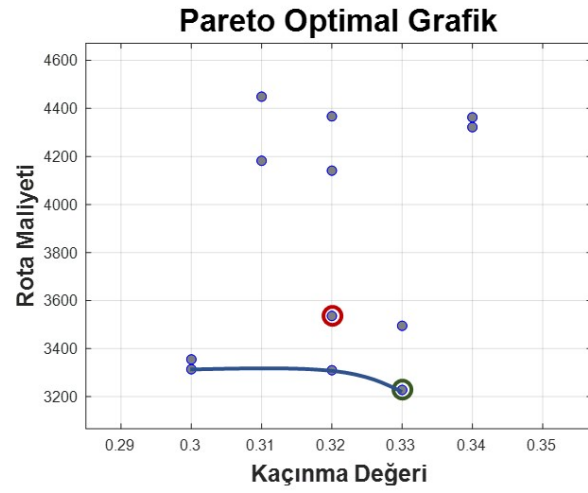
Şekil 4.7: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 7. Örneği



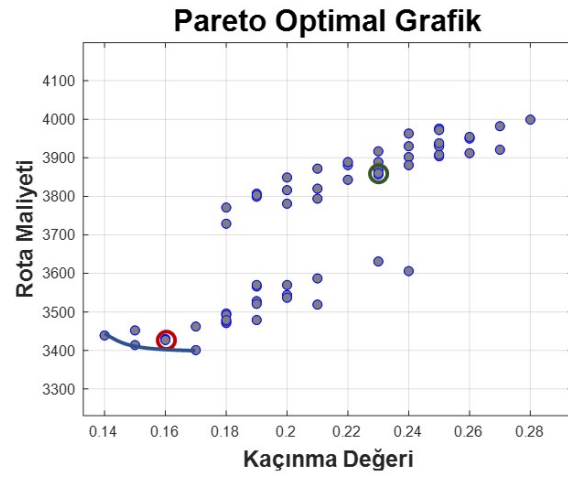
Şekil 4.8: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 8. Örneği



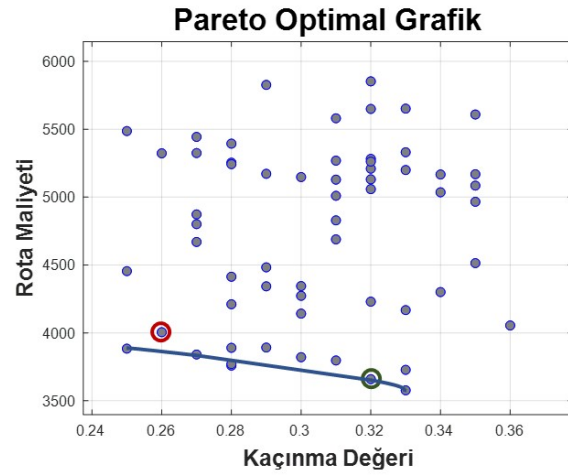
Şekil 4.9: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 9. Örneği



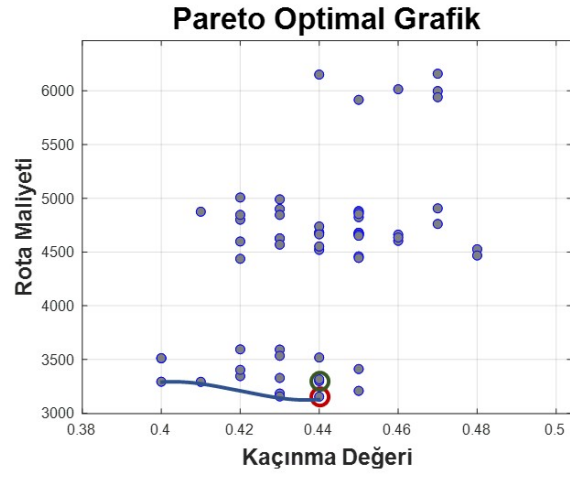
Şekil 4.10: Toplam 5 Üs Bölgesi Örnek Setinin 10. Örneği



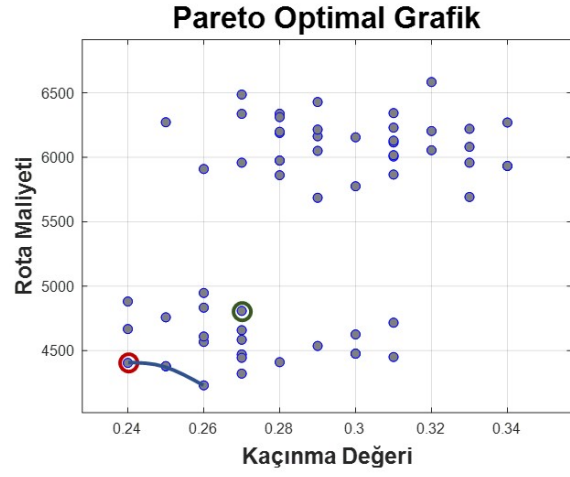
Şekil 4.11: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 1. Örneği



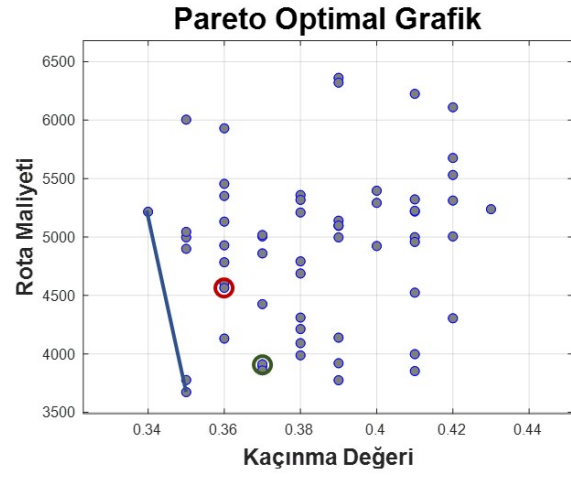
Şekil 4.12: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 2. Örneği



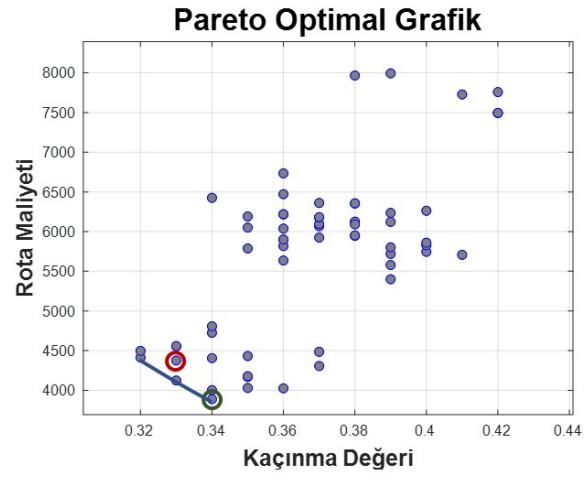
Şekil 4.13: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 3. Örneği



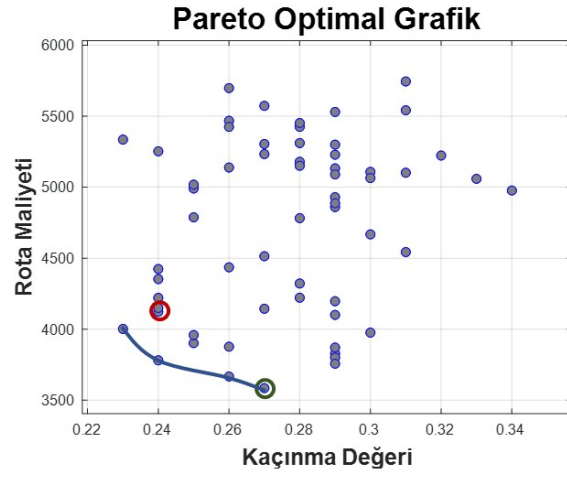
Şekil 4.14: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 4. Örneği



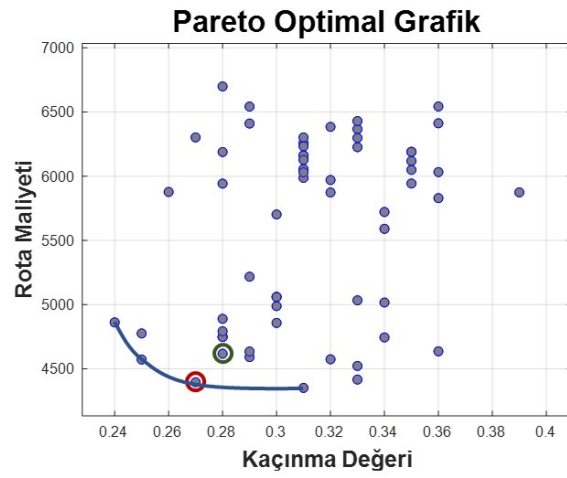
Şekil 4.15: Toplam 6 Üs Bölgeli Örnek Setinin 5. Örneği



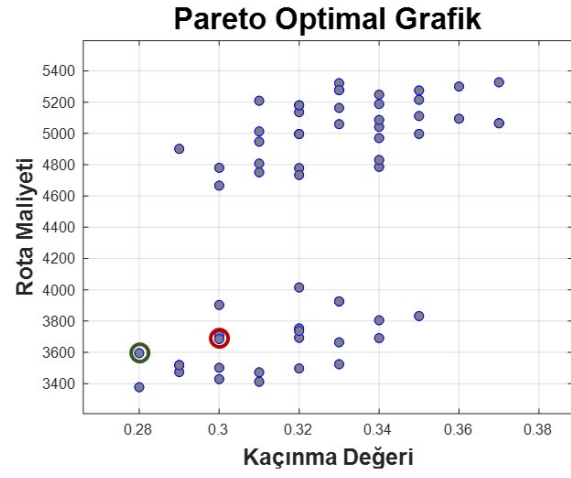
Şekil 4.16: Toplam 6 Üs Bölgeli Örnek Setinin 6. Örneği



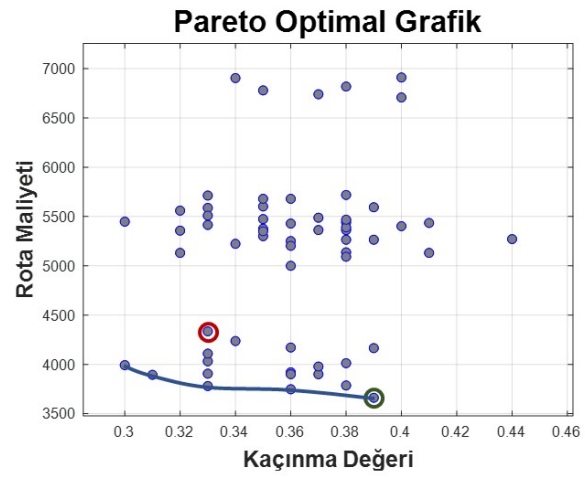
Şekil 4.17: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 7. Örneği



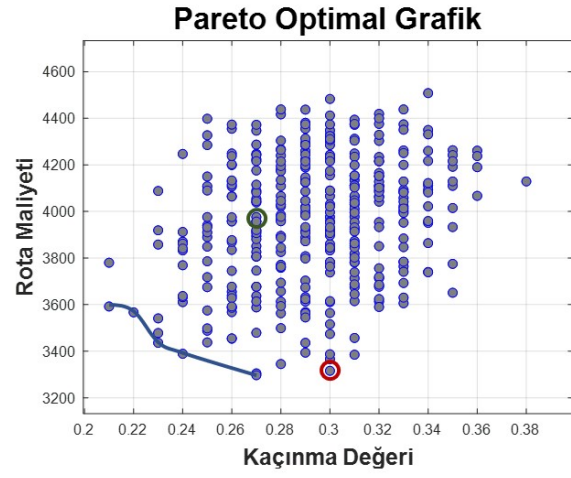
Şekil 4.18: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 8. Örneği



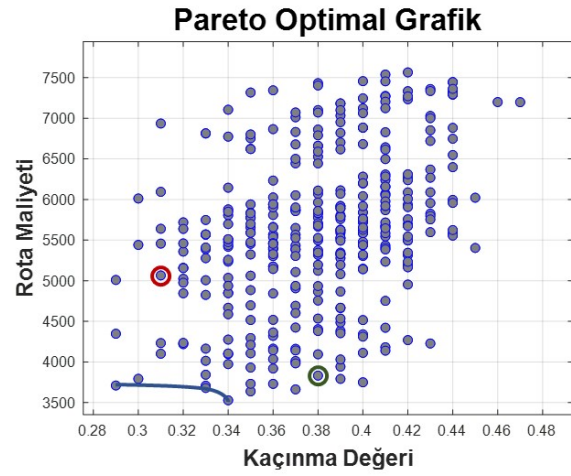
Şekil 4.19: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 9. Örneği



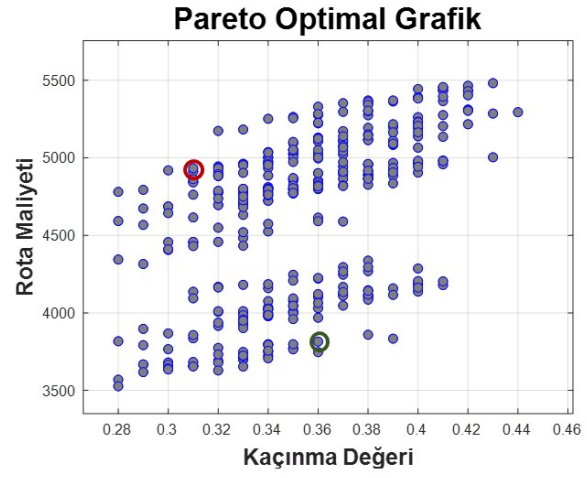
Şekil 4.20: Toplam 6 Üs Bölgesi Örnek Setinin 10. Örneği



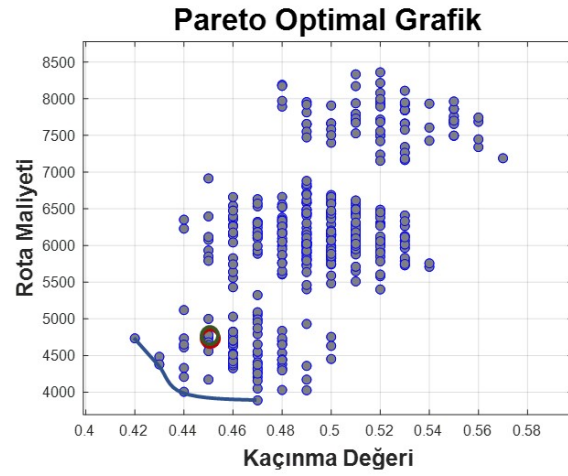
Şekil 4.21: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 1. Örneği



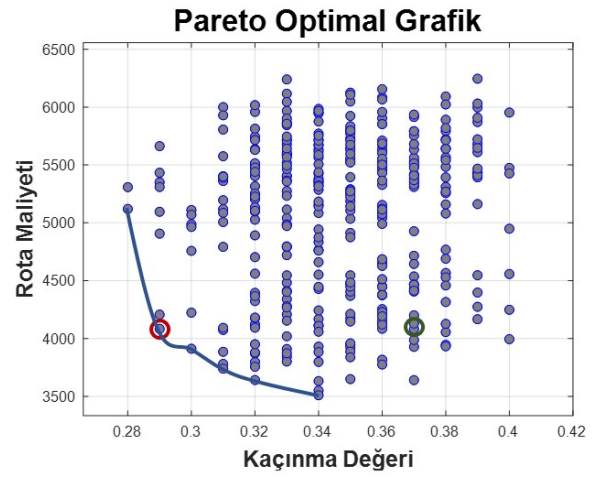
Şekil 4.22: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 2. Örneği



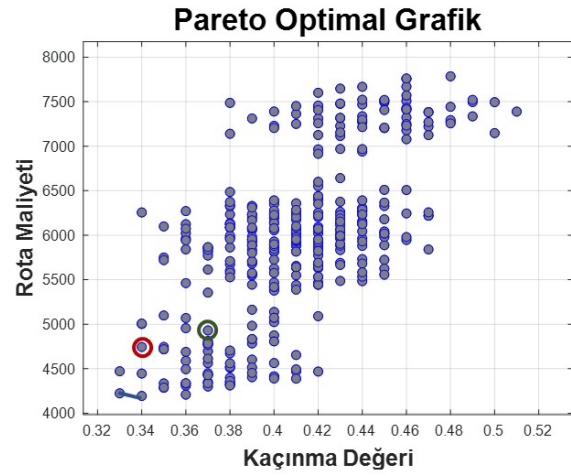
Şekil 4.23: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 3. Örneği



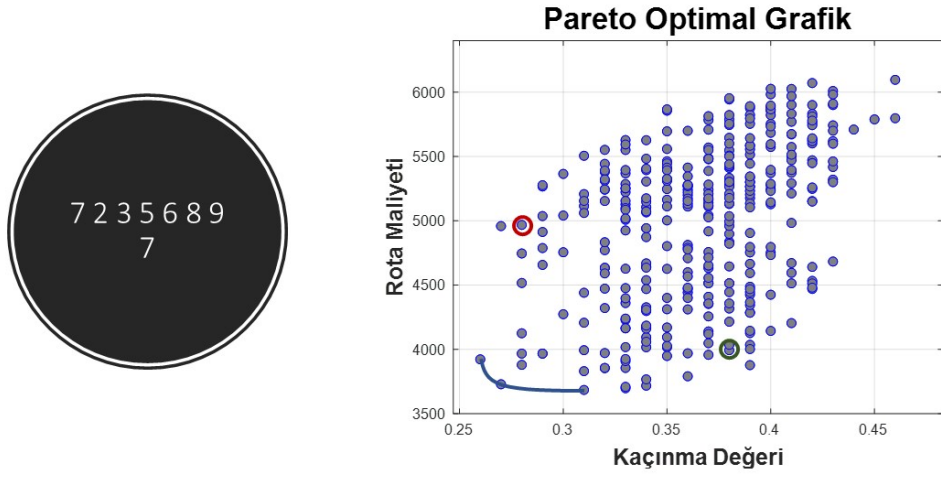
Şekil 4.24: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 4. Örneği



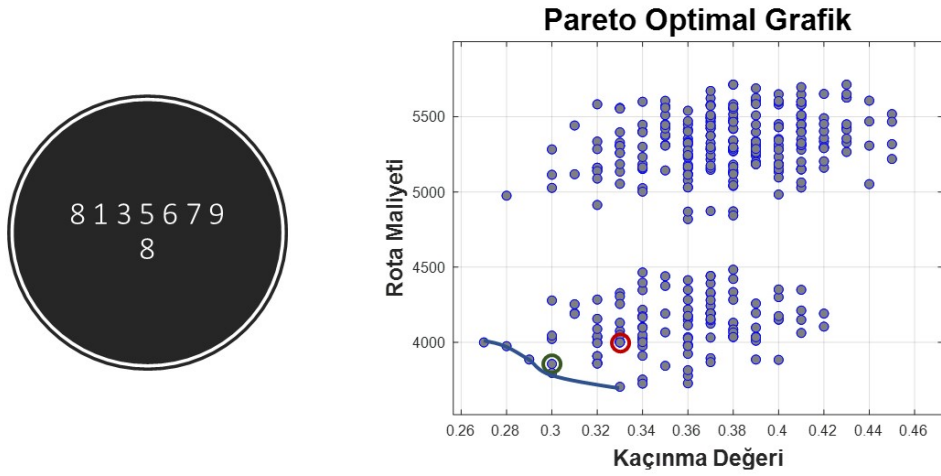
Şekil 4.25: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 5. Örneği



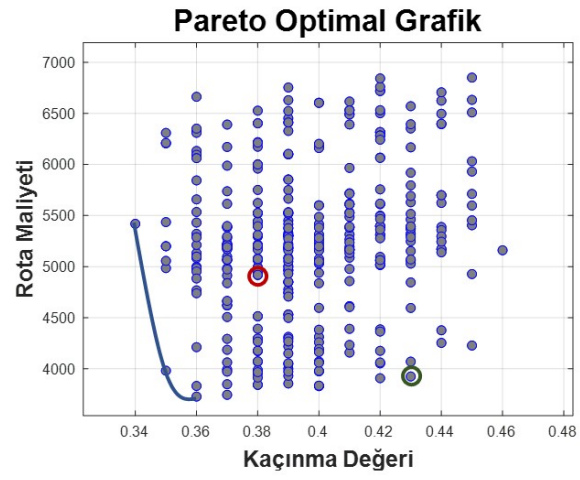
Şekil 4.26: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 6. Örneği



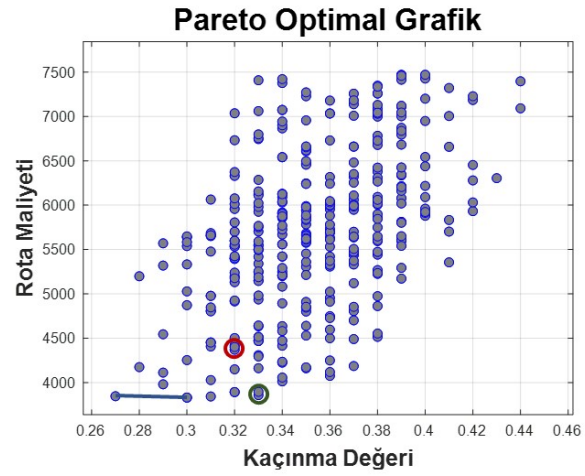
Şekil 4.27: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 7. Örneği



Şekil 4.28: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 8. Örneği



Şekil 4.29: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 9. Örneği



Şekil 4.30: Toplam 7 Üs Bölgesi Örnek Setinin 10. Örneği