

**HAVADAN KEŞİF YAPAN ARAÇLAR İÇİN
ÇOK AMAÇLI GÖREV PLANLAMASI**

**MULTIOBJECTIVE MISSION PLANNING FOR AERIAL
SURVEILLANCE VEHICLES**

AYŞEGÜL ATAK

DR. ÖĞR. ÜYESİ DİCLEHAN TEZCANER ÖZTÜRK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Aileme...

ÖZET

HAVADAN KEŞİF YAPAN ARAÇLAR İÇİN ÇOK AMAÇLI GÖREV PLANLAMASI

Ayşegül ATAK

Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK

Ocak 2023, 58 sayfa

İnsanlı veya insansız hava araç sistemleri ile birlikte keşif ve gözetleme, kara ve sınır güvenliği, arama ve kurtarma operasyonları gibi önemli faaliyetler yürütülür. Bu faaliyetler sayesinde, sivil yaşamda bilgi edinilmesi ve müdahale etme hızı artmaktadır. Askeri yaşamda ise, riskli veya tehlikeli bölgelere rahatlıkla ulaşılabilen, keşif ve gözetleme yapılabilmektedir. Bu faaliyetler için iyi bir görev planlama yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu tezde ise havadan keşif yapan araçlar için bir görev planlaması yapılmasına dair bir çalışma yürütülmüştür. Bir hava aracı, bir kalkış noktasından göreve başlayarak, gitmesi gereken hedef bölgelerini gözetleyerek, kalkış noktasına dönmektedir. Gideceği hedefleri dikdörtgen şeritler halinde kapsayacak şekilde tarayarak, hedefle ilgili bilgi edinmektedir. Çalışmada birbiri ile çelişen iki amaç üzerinde durulmuştur. Birincisi, toplam bilgiyi maksimize etmek, ikincisi ise görev boyunca kat edilen mesafeyi minimize etmektir. Etkin çözümlerin bulunması için iki amaçlı karma tam sayılı programlama modeli geliştirilmiş ve epsilon kısıt yöntemi ile çözülmüştür. Büyük boyutlu problemler için de bir sezgisel çözüm yöntemi önerilmiştir. Tüm çözüm yöntemleri farklı boyutlardaki problemlerde karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok Amaçlı Optimizasyon, Görev Planlama, Hava Araçları, Oryantiring Problemi

ABSTRACT

MULTIOBJECTIVE MISSION PLANNING FOR AERIAL SURVEILLANCE VEHICLES

Ayşegül ATAK

Master of Science, Department of INDUSTRIAL ENGINEERING

Supervisor: Dr. Diclehan TEZCANER ÖZTÜRK

January 2023, 58 pages

Important actions such as reconnaissance and surveillance, land and border security, search and rescue operations are carried out with manned and unmanned aerial vehicle systems. Thanks to these actions, the speed of obtaining information and intervention in civilian life increases. In military life, risky or dangerous areas can be easily reached, reconnaissance and surveillance can be done. For these activities, good task planning is of great importance. In this thesis, a study has been carried out on the planning of a mission for aerial reconnaissance vehicles. An aircraft, starting from a take-off point, returns to the take-off point by observing the target areas it needs to go to. It acquires information about the target by scanning the targets to which it will go in rectangular strips. In the study, two conflicting goals are considered. The first objective is maximizing the total information, and the second is minimizing the distance traveled during the task. To find the efficient solutions, a biobjective mixed integer programming model is developed and solved using the ε -constraint method. A heuristic solution method is also proposed for larger problem instances. Both solution methods are tested on different-sized problems.

Keywords: Multiobjective Optimization, Mission Planning, Aerial Vehicles, Orienteering Problem.

TEŞEKKÜR

Tez alıőmam sűresince, bilgi ve tecrűbesiyle daima yardımcı olan desteęini esirgemeyen, motivasyon ve sabırla her zaman yol gűsteren tez danıőmanım Sayın Dr. Őęretim Őyesi Diclehan TEZCANER ŐZTŪRK'e, lisans ve yűksek lisans eęitimim boyunca emeęi geçen Konya Teknik Őniversitesi Endűstri Műhendislięi Bűlűmű ve Hacettepe Őniversitesi Endűstri Műhendislięi Bűlűmű hocalarıma teőekkűrlerimi sunuyorum.

Bűtűn eęitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteęini esirgemeyen, her zaman yanımda olan, babam İsmail ATAK, annem Asiye ATAK, kardeőlerim Aybűke ATAK ve Őmer ATAK'a en bűyűk teőekkűrlerimi sunuyorum.

Son olarak yanımda olan, bana gűvenen ve destekleyen bűtűn arkadaőlarıma ve dostlarıma ayrıca teőekkűr ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Bölgesel Tarama ve Gözetleme Yapan Çalışmalar.....	3
2.2. Oryantiring Problemi.....	6
2.2.1. Oryantiring Problemiyle İlgili Çalışmalar.....	7
3. PROBLEM TANIMI.....	14
3.1. Hedef Bölgeler	14
3.2. Arama Desenleri.....	14
3.3. Giriş- Çıkış Noktaları	15
3.4. Problemin Amaçları	16
3.4.1. Birinci Amaç (Görev Boyunca Dolaşılan Toplam Mesafe).....	16
3.4.2. İkinci Amaç (Toplam Bilgi).....	18
3.5. Problemin Matematiksel Modeli	20
3.6. Çözüm Yaklaşımları.....	21
3.6.1. Değiştirilmiş Epsilon Kısıt Yöntemi	21
4. SEZGİSEL ÇÖZÜM YÖNTEMİ.....	24
4.1. MFH Algoritması	24
4.1.1. MFH Algoritması Adımları.....	24
4.2. Dikdörtgen Hedefler için MFH Algoritması	27
4.2.1. Algoritma Adımları	27
5. SAYISAL SONUÇLAR	35

5.1. Test Problemleri.....	35
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	48
7. KAYNAKLAR	50
EKLER.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Oryantiring problemi örneği	6
Şekil 2. GSP problemi örneği.....	6
Şekil 3. Dikdörtgen şeklindeki hedefler (temsili)	14
Şekil 4. Dikdörtgen şeklindeki bir hedefin bir hava aracıyla taranması ve oluşturacağı arama deseni örneği	15
Şekil 5. Dikdörtgen şeklindeki bir hedefin giriş/çıkış noktaları (temsili).....	15
Şekil 6. Dikdörtgen şeklindeki bir hedefin içerisinde s arama deseni ile kat edilen mesafe (temsili).....	17
Şekil 7. Dikdörtgen şeklindeki iki hedefin köşe noktaları (çıkış-giriş) arasındaki Öklid mesafe	18
Şekil 8. Bir dikdörtgen hedef içerisinde aynı giriş-çıkış noktası için iki farklı arama deseni ile bilgi elde edilmesi	19
Şekil 9. Temsili düğümler ve ağırlık merkezleri.....	26
Şekil 10. Temsili bir dikdörtgen şeklindeki hedef ve hedefteki düğümler	27
Şekil 11. Temsili dikdörtgenler ve ağırlık merkezleri.....	29
Şekil 12. Bir giriş düğümündeki İHA için, aynı hedefte ziyaret edebileceği düğümler için izleyeceği yollar (temsili).....	29
Şekil 13. Bir çıkış düğümündeki İHA için, farklı hedeflerde ziyaret edebileceği düğümler için izleyeceği yollar (temsili)	30
Şekil 14. Dikdörtgenler için MFH algoritması Adım 2.10 için tur güncelleme örneği .	34
Şekil 15. 20 dikdörtgen hedef $T_{max}=400$ değeri için farklı tekrar sayılarında bulunan bilgi değerleri.....	37
Şekil 16. 20 dikdörtgen hedef $T_{max}=800$ değeri için farklı tekrar sayılarında bulunan en iyi bilgi değeri.....	37
Şekil 17. 40 dikdörtgen hedef $T_{max}=800$ değeri için farklı tekrar sayılarında bulunan en iyi bilgi değerleri.....	37
Şekil 18. Çözüm uzayı – 5 dikdörtgen hedef	39
Şekil 19. Çözüm uzayı – 10 dikdörtgen hedef	41
Şekil 20. 60 adet dikdörtgen hedefte, $T_{max}=150$ için epsilon kısıt yönteminde 37% GAP ile bulunan çözüm	46

Şekil 21. 60 adet dikdörtgen hedefte, $T_{max}=150$ için $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ katsayıları ile MFH yönteminde bulunan çözüm.....	47
Şekil 22. Farklı dikdörtgen için kullanılabilir arama desenleri örnekler	54
Şekil 23. Test Problemleri için oluşturulmuş dikdörtgenler	55
Şekil 24. Test Problemleri için farklı giriş-noktaları için oluşturulmuş arama desenleri	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1. Test problemlerinde kullanılan parametreler	35
Çizelge 2. 20 ve 40 dikdörtgen hedef için farklı tekrar değerleri ile elde edilen çözümler	36
Çizelge 3. Test problemlerinde 5 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler	38
Çizelge 4. Test problemlerinde 10 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler	40
Çizelge 5. Test problemlerinde 20 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler	42
Çizelge 6. Test problemlerinde 40 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler	43
Çizelge 7. Test problemlerinde 60 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler	45
Çizelge 8. MFH algoritmasında farklı katsayılar ile bulunmuş çözümler	56

KISALTMALAR

Kısaltmalar

AOI	Area of Interest
GSP	Gezgin Satıcı Problemi
İHA	İnsansız Hava Aracı
MASP	Multiobjective Aerial Surveillance Problem
MFH	Multi-Faceted Heuristic
NSGAI	The Nondominated Sorting Genetic Algorithm
POI	Point of Interest
SPEA2	The Strength Pareto Evolutionary Algorithm

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte ülkeler; ekonomik ve dinamik şekilde icra edilebilecek modern sistemleri envanterlerine katmaktadır. Bu modern sistemlere hava araç sistemleri örnek olarak gösterilebilir.

İnsanlı veya insansız kullanılabilen hava araç sistemleri hem askeri hem de sivil operasyonların yürütülmesinde büyük önem arz etmektedir. İnsanlı veya insansız hava araç sistemleri (İHA) ile birlikte; keşif ve gözetleme, istihbarat, kara ve sınır güvenliği, arama ve kurtarma operasyonları, trafik izleme ve denetleme vb. faaliyetler yürütülür. Bu faaliyetler sayesinde sivil yaşamda bilgi edinilmesi ve müdahale etme hızı artmaktadır. Askeri yaşamda ise hava araçlarının dayanıklılık, irtifa ve menzil gibi yetenekleri bakımından riskli veya tehlikeli bölgelere rahatlıkla ulaşılabilen, keşif ve gözetleme yapılabilmektedir.

Keşif ve gözetleme faaliyetlerinde öncelikle iyi bir görev planlaması gereklidir. İnsanlı veya insansız hava araçları ile başlangıçta belirlenen bir yerden uçuşa geçilir, hedef noktaları ziyaret edilir ve istenen nihai varış yerine planlandığı gibi gidilir. Görevin amaçlarından biri, görev boyunca seyahat edilen mesafeyi minimize etmektir. Bu amaç daha az miktarda yakıt harcanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda görevde geçirilen zamanı da en aza indirmektedir. İkinci önemli görev ise hedeflerden en fazla değerli bilgi toplayabilmektir.

Bu tezde, havadan keşif yapan araçlar için çok amaçlı görev planlaması yapılmıştır. Gözetleme ve keşif amaçlı bir hava aracı bir kalkış noktasından göreve başlamaktadır. Hedef bölgeleri kümesinden bir kısmına giderek onları gözetlemekte ve kalkış noktasına geri dönmektedir. Hedef bölgelerinde bilgi toplanacak alanlar bulunmaktadır. Bu alanlar dikdörtgen bölgeler olarak temsil edilmektedir. Bu bölgelerin içi taranarak bilgi edinilir ve içi ne kadar detaylı gezilirse o kadar çok bilgi elde edilir. Birbiri ile çelişen iki amaç ele alınmıştır. Amaçlardan ilki, edinilecek toplam bilgiyi maksimize

etmektedir. İkinci amaç ise, görev boyunca dolaşılan toplam mesafeyi minimize etmektir. Problem, genel hatlarıyla oryantiring problemine benzerlik göstermektedir.

Tezin ikinci bölümünde literatürde yapılan uygulamalardan bahsedilmiş, üçüncü bölümünde problemin detaylı olarak tanımı yapılmış, değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemiyle çözümü anlatılmıştır. Dördüncü bölümde problemin sezgisel bir yöntem ile çözümünden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde sonuçlar kıyaslanmış ve altıncı bölümle çalışma sonlandırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Son yıllarda insanlı veya insansız hava araçlarının kullanımı yaygınlaşmış ve araştırmalarda popüler bir konu haline gelmiştir. Literatürde, insanlı veya insansız hava araçlarının görev ve rota planlaması için birçok çalışmaya rastlanmıştır. Aşağıda birinci bölümde, bölgesel hava taraması ve gözetleme faaliyeti yapan çalışmalara yer verilmiştir. Bu tez çalışmasına, oryantiring problemi bakış açısı ile yaklaşıldığından, ikinci bölümde bu probleme ve ilgili literatür çalışmalarına değinilmiştir.

2.1. Bölgesel Tarama ve Gözetleme Yapan Çalışmalar

Literatürde, bölgesel hava tarama ve gözetleme yapan çalışmalar oldukça azdır. Bunlardan bizim yaklaşımımıza yakın olanlar, Maraş vd. [1] ve Karasakal'ın [2] çalışmalarıdır.

Panton vd. [3] bölgesel gözetim için görev planlaması üzerine çalışmışlardır. Bölgesel gözetim problemi, belirli bir bölgeyi tanımak amacıyla bir uçak için bir uçuş rotasının oluşturulmasıdır. Problemden bir bölge, gözetim için alanlara bölünmüştür. Ancak bu bölgeler, dikdörtgen alanlardan oluşmamakta ve uçaklar sadece dikdörtgen alanlar boyunca şeritler halinde hareket edebilmektedir. Problemden, bölgeler şeritlere bölünmüş ve şeritler arası hareket sırası belirlenmiştir. Aynı zamanda alınan toplam mesafe minimize edilmiştir. Optimum uçuş rotasını belirlemek için iki model kullanılmıştır. Bunlar tam sayılı programlama ve genetik algoritmadır. Her iki modelin çözümünün uygun olduğu koşulların belirlenmesi amacıyla, toplam mesafe optimalliğinin ve gerekli çözüm sürelerinin verimliliğinin bir karşılaştırılması yapılmıştır.

Ng ve Sancho [4] bölgesel gözetleme problemi üzerine çalışmışlardır. Problemden askeri bir operasyon için dikdörtgen şeklindeki bölgelerin, en kısa sürede aranması planlanmaktadır. Bir uçağa takılan radar cihazı ile hedeflerin tespit edilme olasılığının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Problemi çözmek için bir dinamik programlama formülasyonu önermişlerdir.

Karasakal [2] havadan gözetleme problemi üzerine çalışmıştır. Problemde bir hava platformu dikdörtgen alanlarını bir kez ziyaret etmekte ve bu alanlarda, kalkış noktasına geri dönmek üzere şeritler halinde arama yapmaktadır. Karasakal problemde iki farklı amaç üzerinde durmuştur. Bunlar mesafeyi en aza indirmek ve minimum hedef algılama olasılığını en üst düzeye çıkarmaktır. Problemin çözümü için gezgin satıcı problemine dayanan iki farklı model oluşturmuştur. Her iki model, çözücü kullanılarak makul sürelerde, 40 dikdörtgene kadar problemi çözmüştür.

Wang vd. [5] gözetleme amaçlı birden fazla hava aracı için görev planlaması problemi üzerine çalışmışlardır. Dairesel olarak ifade edilen hedefler (Area of Interest, AOI), dairesel hücrelere (Point of Interest, POI) bölünmüştür. Farklı başlangıç noktalarından göreve başlayan araçlar, hedeflerdeki hücreleri birçok kez ziyaret ederek hedefleri kapsamakta ve bilgi elde etmektedir. Problemde, kapsanan hücrelerin minimum sayısı, görev planında ziyaret edilen hedeflerdeki hücrelerin toplam sayısı maksimize edilmektedir. Problemin çözümü için özel genetik operatörlere sahip bir evrimsel algoritma geliştirmişlerdir. Çözüm sonuçlarını karar vericiye sunmak için ağırlıklı toplam modeli kullanmışlardır.

Maraş vd. [1] havadan keşif ve gözetleme yapan platformlar için çok amaçlı havadan gözetleme problemi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmanın, havadan gözetleme probleminin çözümüne yönelik literatürde yer alan ilk girişim olduğu belirtilmiştir. Çalışmada gözetleme amacıyla sensörle donatılmış bir hava aracı, kalkış noktasından göreve başlamakta, belirli sayıdaki dikdörtgen şeklindeki alanı şeritler halinde kapsayacak şekilde taramakta ve kalkış noktasına geri dönmektedir. Çalışmada, havadan gözetleme problemi için birbiri ile çelişen iki amaç üzerinde durulmuştur. Bu amaçlar görev boyunca dolaşılan mesafeyi minimize etmek ve en küçük hedef tespiti olasılığını maksimize etmektir. Problemin çözümü için öncelikle birçok yöntem kullanılarak Pareto-optimal küme oluşturulmuştur. Problemin optimal çözümü için epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır. Ancak epsilon kısıt yöntemi 10 dikdörtgene sahip problemin çözümü için çok fazla zaman harcamaktadır. Bu nedenle, iki etkili sezgisel yöntem ve etkileşimli çözüm prosedürü önerilmiştir.

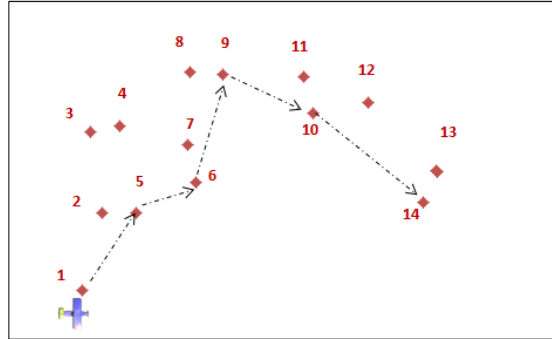
Zuo vd. [6] çalışmalarında birden fazla hava aracı için gözetleme amaçlı görev planlaması problemi üzerine çalışmışlardır. Hedefler dikdörtgen bölgeler (AOI) şeklinde belirlenmiştir ve hedefler hücrelere (POI) bölünmüştür. Birbiri ile çelişen iki amaç üzerinde durulmuştur. Bunlar hedeflerin kapsama alanı ve kapsama süresinin maksimize edilmesidir. Bir hedefin kapsama süresi yüksekse, hava aracı kapsama alanını artırmak için hedefi bir daha ziyaret ederek zaman harcamamaktadır. Problemin çözümü için, iki aşamalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmanın ilk aşamasında, hedeflerin kapsanması için her bir hava aracı için arama modeli ve rota belirlenir. İkinci aşamasında ise, hava araçlarına hedefler ve uçuş rotası atanır.

Tarakçı [7] birden çok özdeş İHA için gözetleme ve keşif amaçlı görev planlaması üzerine tez çalışması yapmıştır. İHA'lar bir kalkış üssünden tura başlamakta, belirli bir rota oluşturmaktadır. Dikdörtgen şeklinde olan hedefler, belirli bir hedef tespit olasılığını sağlayacak şekilde şeritler halinde taranmaktadır. Her bir İHA için uçuş süresi sınırlandırılmıştır. Problemin amacı olarak her İHA için oluşturulan turların mesafesi minimize edilmektedir. Problemin çözümü için yeni bir matematiksel model önermiştir. Çözüm süresi fazla olduğu için, sezgisel algoritmalar da geliştirmiştir.

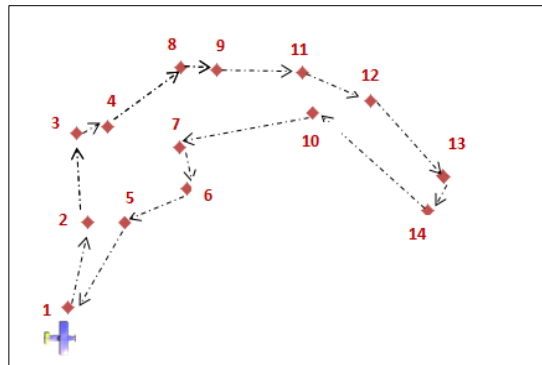
2.2. Oryantiring Problemi

Oryantiring problemi, gezgin satıcı probleminin (GSP) bir versiyonudur. GSP, belirli sayıdaki hedefin (n adet) her birini bir kez ziyaret ederek, başlangıç hedefine dönme koşulu ile en kısa süreli/mesafeli turun bulunması problemidir. Oryantiring problemi ise, oryantiring sporundan esinlenerek ortaya çıkmıştır. Oryantiring sporunda oyunculara, belirli bir arazi üzerinde farklı skor değerlerine sahip noktaların belirtildiği bir harita verilir. Oyuncu bu harita üzerindeki en yüksek skorların bulunduğu noktalara giderek, belirli zaman içerisinde oyunu tamamlamaktadır. Oyuncu hangi kontrol noktalarına hangi sıra ile gideceğini kendisi belirlemektedir.

Literatürde ise oryantiring problemi, belirli bir zaman/maliyet kısıtını aşmayacak şekilde, kazancı/skoru/bilgiyi maksimize edecek uygun turun arandığı bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Oryantiring problemi ile GSP arasındaki en önemli fark, GSP’de tüm hedeflere uğrama zorunluluğu varken, zaman/mesafe kısıtı nedeniyle oryantiring probleminde böyle bir zorunluluk olmamasıdır. Ayrıca GSP’de başlangıç hedefine dönme zorunluluğu varken, oryantiring probleminde yoktur.



Şekil 1. Oryantiring problemi örneği



Şekil 2. GSP problemi örneği

2.2.1. Oryantiring Problemiyle İlgili Çalışmalar

Literatürde, tek amaçlı ve çok amaçlı olmak üzere oryantiring problemi ile ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların çoğunluğunda, tez çalışmamız ile benzer amaç fonksiyonları ele alınmıştır. Bunlar; zaman veya mesafeyi minimize etmek ve ziyaret edilen noktalardaki bilgiyi maksimize etmektir.

Literatürde oryantiring problemine dair ilk çalışmalardan biri Tsiligirides'e [8] aittir. Oryantiring probleminin bir versiyonu olan zaman pencereli oryantiring problemi üzerine çalışmıştır. Zaman pencereli oryantiring probleminde, hedeflere açılış-kapanış zamanı, hizmet süresi ve kazanç değeri verilerek, belirlenen zaman kısıtı altında en çok kazancın elde edileceği tur aranmaktadır. Tsiligirides [8] çalışmasında, zaman pencereli oryantiring probleminin çözümüne yönelik iki farklı yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımlar stokastik ve deterministik yaklaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Tsiligirides'in stokastik yaklaşımı temel olarak, basit bir hiyerarşi ile birçok rota üretip, bunlardan en iyisini seçmeye yöneliktir. Stokastik bir yöntemle, puan/maliyet oranına göre noktaları seçerek belirli bir süre kısıtı dahilinde en yüksek puana sahip rotanın elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Golden vd. [9] oryantiring probleminin büyük boyutlarının çözümü için bir ağırlık merkezi sezgiseli geliştirmişlerdir. Bu sezgiselde düğüm değerleri dikkate alınarak bir ağırlık merkezi hesaplanmaktadır. Ağırlık merkezine yakın olan düğümler seçilerek uygun rotalar oluşturulmaktadır. Önerdikleri bu yöntemi Tsiligirides'in [8] çalışmasındaki test problemleri üzerinde uygulamışlar, aynı çalışmadaki stokastik ve deterministik yaklaşımlar ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca bu yöntemi bir kamyon filosunun birden çok müşteriye yakıt verme problemi için uygulamışlardır. Problemden, her müşterinin belirli bir yakıt ihtiyacı vardır ve müşterilerin yakıtı için bir kritik seviye tanımlamışlardır. Yakıt ihtiyacı kritik seviyeye düşen müşteriler günlük olarak tespit edilerek, kamyonlar için bir ziyaret rotası oluşturulur.

Golden vd. [10] oryantiring probleminin çözümü için çok yönlü bir sezgisel yöntem (Multi-Faceted Heuristic -MFH) geliştirmişlerdir. Bu yöntemde tek bir rota oluşturmak

için ağırlıklı toplam yöntemi uygulamışlardır. Hedef noktaları (düğümler) için, skor ölçüsü, ağırlık merkezine olan mesafe ölçüsü, başlangıç-bitiş noktalarına olan toplam mesafe ölçüsünün konveks kombinasyonu hesaplanarak değerler atanmıştır. Belirlenen süre kısıtını aşmayacak şekilde en yüksek değere sahip hedefler eşit olasılıkla rassal olarak seçilerek turlar oluşturulmuştur. Bu sezgisel yöntemi, önceki çalışmalarla kıyaslamışlar ve daha hızlı bir şekilde optimale yakın çözümler bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Laporte ve Martello [11] oryantiring problemi çözümü için literatürdeki ilk kesin çözüm yöntemi olan, dal ve sınır algoritmasını kullanmışlardır.

Sokkappa [12] maliyet kısıtlı gezgin satıcı problemi/oryantiring problemi üzerine çalışmıştır. Problemin çözümü için literatürdeki üst sınır yöntemleri, kesin algoritmalar ve sezgisel çözüm yaklaşımlarını ele almıştır. Üst sınır yöntemlerinde, sırt çantası problemine dayalı bir sınırlama stratejisi geliştirmiştir. Kesin yöntemlerde, dal sınır algoritmasına benzeyen, kısıtlı bir atama problemini kullanan bir yöntem kullanmıştır. Sezgisel algoritmada, Golden vd. [10] geliştirdikleri MFH algoritması üzerine çalışmıştır. MFH algoritmasına hedef seçim kriteri eklemiş ve algoritmanın performansını geliştirmiştir.

Kantor vd. [13] zaman pencereli oryantiring problemi çözümü için bir arama ağacı algoritması kullanmışlardır. Arama ağacı algoritması ile bulunan tüm turların listesi oluşturulmuş ve en yüksek kazançta sahip tur, algoritmanın çözümü olarak ele alınmıştır. Daha sonra arama ağacı algoritması hedef/düğüm eklemeye dayanan algoritmalarla kıyaslanmıştır. Algoritmanın, makul sürelerde orta boyutlu problemlerin çözümünde iyi performans gösterdiğini söylemişlerdir.

Ramesh vd. [14] oryantiring problemi çözümü için dal sınır algoritması ile Lagrange gevşetmesi yöntemini kullanmışlardır. 150 adet hedefe sahip problemler için hesaplama sonuçlarını sunmuşlar, önerdikleri yöntemin orta ve büyük boyutlu problemler için uygun performans göstereceğini ifade etmişlerdir.

Chao vd. [15] takım oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Takım oryantiring probleminde, birden fazla takım üyesi, zaman kısıtı altında en çok kazancı elde edebileceği alt turları aramaktadır. Problemin çözümü için etkileşimli bir sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem tek nokta hareketi, 2-opt prosedürüne dayanmaktadır. 21- 102 adet hedeften oluşan test problemleri üzerinde çalışmışlardır.

Souffriau vd. [16] oryantiring problemini bir mobil tur rehberi çalışmasında uygulamışlardır. Turistlerin belirli bir zaman kısıtı altında, en çok ilgi görülen yerleri ziyaret etmesi için bir tur planı oluşturmayı amaçlamışlardır. Ziyaret yerleri için vektör uzayı modeli kullanılarak belirli bir puanlar atanmıştır. Bu puanlar turistlerin o yerlere olan ilgisini göstermektedir. Problemi çözmek için bir yerel arama meta-sezgiseli kullanmışlardır. Yöntemi, Ghent şehrindeki gerçek turistik yerler için denemişlerdir.

İlhan vd. [17] stokastik kârlarla oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Bir otomobil firması sınırlı sayıdaki denetçisiyle, tedarikçi firmalarını ziyaret etmektedir. Problemden, belirli bir zaman kısıtı altında, tedarikçiler için önceden belirlenmiş kâr seviyesinden fazlasının toplanma olasılığının maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için kesin bir yöntem ve iki amaçlı genetik algoritma önermişlerdir. Bazı koşullar altında, stokastik oryantiring probleminin çözülmesinin, firmaların kârlarının belirlenmesinde yararlı olabileceğini söylemişlerdir.

Schilde vd. [18] çalışmalarında, çok amaçlı oryantiring probleminin çözümü için sezgisel çözüm tekniklerini incelemişlerdir. Çalışmadaki problem, bireysel turist rotalarının planlanması sorununu ele almaktadır. Bir şehirdeki her bir ilgi noktası farklı kategoriler için farklı faydalar sağlamaktadır(örneğin kültür, alışveriş). İlgi çekici noktaları seçerken ve ziyaret ederken her turist farklı kategoriler için farklı tercihleri vardır (örneğin müzeler, kiliseler). Bu yüzden çok amaçlı bir karar durumu ortaya çıkmaktadır. Çalışmada tüm Pareto-optimal çözümlerini belirlemek için iki meta-sezgisel arama tekniği geliştirilmiştir. Karınca koloni optimizasyon algoritmasını ve değişken tabu arama yöntemini kullanmışlardır. Her iki algoritmanın sonuçlarının da çok amaçlı oryantiring problemini çözmek için iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Afsar vd. [19] azalan kazançlı takım oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, hedeflerin kazancı zamana bağlı olarak azalmaktadır. Probleme belirli sayıda araç hedefleri ziyaret ederek, elde edilecek kazancı maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Çözüm yöntemi olarak bir matematiksel model oluşturmuşlar ve evrimsel yerel arama metasezgiseli geliştirmişlerdir.

Özdemir ve Can [20] zaman pencereli takım oryantiring problemini yapay arı kolonisi meta sezgiseli kullanarak çözmüşlerdir. Literatürde 100 adet hedeften oluşan test problemlerini incelenmişler. Bu test problemlerinde, yerel arama, değişken komşuluk arama, hızlı tavlama benzetimi ve yavaş tavlama benzetimi yöntemlerin kullanıldığını söylemişlerdir. Test problemlerini yapay arı kolonisi algoritması ile çözmüşlerdir. Literatürdeki çözümlerle, yapay arı kolonisi algoritmasının çözümünü kıyaslamışlardır.

Fathi vd. [21] çok amaçlı zaman pencereli takım oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Birden fazla satıcının en yüksek kazancı elde edeceği yerleri ziyaret etmesi amaçlanmıştır. Oryantiring probleminde genellikle hedefler tek bir kazanç/değer ile ilişkilendirilir. Bu problemde ise, hedefler farklı yönlerden değerlendirilerek farklı kazançlar elde edilebilmektedir. Pareto optimal çözüm kümesinin bulunması amacıyla, hedeflerin ayrıştırılması ve zaman penceresi altında ziyaret edilebilmesi için bir evrimsel algoritma geliştirmişlerdir.

Archetti vd. [22] set oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Probleme hedefler kümelerine ayrıştırılarak, belirli bir kazanç ve maksimum hizmet süresi atanmaktadır. Bir kümede bulunan bütün hedeflerin ziyaret edilmesi zorunlu değildir. Kümedeki, bir hedef ziyaret edilse bile kazanç elde edilmektedir. Bir araç ile toplam mesafe süresini aşmayacak, en çok kazancın elde edildiği turlar aranmıştır. Problemin çözümü için bir matematiksel model ve algoritma geliştirmişler. Algoritmanın kısa sürede iyi çözümler bulabildiğini söylemişlerdir.

Bederina ve Hifi [23] çok amaçlı takım oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Problemden birbiriyle çelişen iki amaç ele almışlardır. Bunlar toplam seyahat mesafesinin minimize edilmesi ve elde edilecek kazancın maksimize edilmesidir. Problemi çözmek için, NSGAI (The Nondominated Sorting Genetic Algorithm) algoritması ve yerel arama operatörlerin kullanıldığı bir evrimsel algoritma önermişlerdir. Algoritmanın performansını Chao vd. [15] çalışmalarındaki sonuçlarla kıyaslamışlardır.

Rezki ve Aghezzaf [24] turistik yerler için bütçe kısıtlı iki amaçlı oryantiring problemini ele almışlardır. Turistik yerlere (hedeflere) iki kazanç değeri ve giriş ücreti değeri atanmıştır. Belirli rota uzunluğu ve bütçe sınırı altında, en çok kazancın elde edildiği turistik yerlerin ziyaret edilmesi hedeflenmektedir. Problemin çözümü için açgözlü arama prosedürüne dayanan bir metasezgisel geliştirmişlerdir.

Jiansheng vd. [25] belirsiz çok amaçlı oryantiring problemi ve İHA keşif misyonu planlanmasına yönelik çalışmışlardır. Belirsiz çok-amaçlı oryantiring problemini, nesnel işlevlerin içerdiği belirsizlik teorisine dayanarak modellemişlerdir. Problemi çözmek için ayrık güncelleme işlemi, çok amaçlı yerel arama stratejisi ile ayrık bir çok-amaçlı yarasa algoritması tasarlanmıştır. İnsansız hava aracı, keşif misyonu planlama problemine bir uygulama sunulmuştur. Çalışma, çoklu nitelik ve belirsiz karar verme problemleri için yeni bir yol sunmaktadır.

Hapsari vd. [26] çok amaçlı zaman pencereli takım oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada turistlerin en sevdiği ve beğendiği yerleri, en kısa sürede dolaşmayı amaçlayan tur programını bulmayı amaçlamışlardır. Amaç gezilen yerlerin en yüksek puana sahip olması ve kısa sürede dolaşılmasıdır. Bu problemi çözmek için yerel arama meta-sezgiselini kullanmışlardır. Diğer meta-sezgisel yöntemler ile sonuçlar kıyaslanarak problemin iyileştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Bişkin [27] çalışmasında birbiriyle çelişen üç amaç fonksiyonu düşünerek, bir İHA filosu için etkin rotaları planlamıştır. Aynı özelliklere sahip İHA'ların hangi hedeflere gideceği ve bu hedeflere giderken hangi rotayı kullanacakları kararları verilmiştir.

Rotalar belirlenirken, hem mesafe hem de radara yakalanma durumu minimize edilmiştir. Çözüm için çok amaçlı genetik algoritma kullanılmıştır. Bizim çalışmamızdan farklı olarak, bir hava aracı yerine İHA filosu için rotalar üretilmiş ve dikdörtgen hedef bölgeleri yerine noktasal hedeflere gidilmesi planlanmıştır. Ayrıca hedef bölgeleri noktasal varsayıldığı için bölgenin nasıl taranacağı kararı verilmemiştir.

Saeedvand vd. [28] arama kurtarma operasyonları için görev planlaması problemi üzerine çalışmışlardır. Arama kurtarma faaliyetleri insansız robotlar ile gerçekleştirilmektedir. Problemi, çok amaçlı zaman pencereli takım oryantiring problemi olarak ele almışlardır ve beş amaç/hedef optimize edilmeye çalışılmıştır. Bu hedefler; görev kazancının maksimize edilmesi, görev tamamlanma süresinin minimize edilmesi, robotlar için toplam enerji tüketiminin minimize edilmesi, bir robot için maksimum tüketilen enerjinin minimize edilmesi, robotların görev sürelerinde gecikmelerinin minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Problemin çözümü için NSGAIII algoritması ve tavlama yinelemeli yerel arama operatörü kullanmışlardır.

Dutta vd. [29] çok amaçlı set oryantiring problemini ele almışlardır. Problemde hedefler kümelere ayrıştırılarak, belirli bir kazanç ve maksimum hizmet süresi atanmaktadır. Problemlerinde iki amaç tanımlamışlardır. Birinci amaç, her kümenin ziyaret edilerek müşteri memnuniyetinin artırılmasıdır. İkinci amaç, toplam kazancın maksimize edilmesidir. Problemin çözümü için NSGAI ve SPEA2 (The Strength Pareto Evolutionary Algorithm) yöntemlerini kullanmışlardır. Bu iki yöntemin performanslarını kıyaslamışlardır.

Daşdemir [30], çok amaçlı insansız hava aracı rota planlaması için üç farklı problem üzerinde çalışmıştır. Problemlerden birini, iki amaçlı oryantiring problemi olarak ele almıştır. Problemin amaçları, toplam uçuş süresini ve radar algılama tehditinin minimize edilmesi, operasyon alanlarından toplanan bilginin ise maksimize edilmesidir. Çözüm olarak karma tamsayı bir matematiksel model oluşturmuş, hesaplama süresini azaltmak için hibrit bir algoritma geliştirmiştir. Algoritmanın kesin modelin hesaplama gereksinimlerini azalttığını ifade etmiştir.

Halat ve Özkan [31] oryantiring problemi üzerine çalışmışlardır. Problemden bir İHA, olası İstanbul depreminde oluşabilecek hasarları tespit etmek ve gözetleme amacıyla görev almaktadır. 230 adet hedef bölge belirlenmiş ve hedeflere ağırlık değerleri atanmıştır. Bu ağırlık değerleri; deprem riski ağırlığı ve nüfus yoğunluğunu ağırlığından oluşmaktadır. Problemden, uçuş süresi kısıtı altında en fazla sayıda ağırlığı sahip hedef noktalarının ziyaret edilmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için probleme özgü genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritması geliştirmişlerdir.

Liu vd. [32] çok amaçlı oryantiring problemlerinin çözüm yöntemlerinin incelenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. İki amaçlı test problemleri oluşturmuşlardır. Test problemlerinin amaçları; hedeflerden toplanan kazancın maksimize edilmesi ve toplam mesafenin minimize edilmesidir. Problemlerin çözümü için, problemi ayrıştırmaya dayanan bir yaklaşım kullanmışlardır. İlk olarak problemi, çok amaçlı sırt çantası problemi ve GSP problemi olarak ikiye ayrıştırmışlardır. Daha sonra çok amaçlı evrimsel algoritma ve derin pekiştirmeli öğrenme yöntemiyle çözmüşlerdir. Bu yöntemleri, NSGAII ve NSGAIII algoritmalarıyla kıyaslamışlardır.

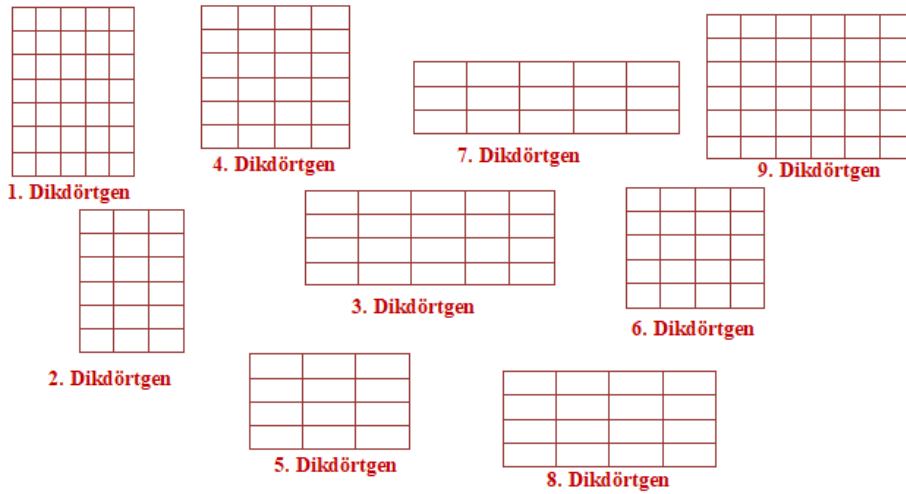
Bu tezde ise, bir hava aracının çok amaçlı görev planlaması problemi üzerine çalışılmıştır. Maraş vd. [1] tarafından geliştirilen iki amaçlı havadan gözetleme probleminden (MASP) tüm hedef bölgelere gidilmesi gerekmektedir. Bu tezde ise hava aracının görev sırasında en fazla bilgi edinecek şekilde hangi hedef bölgelere gideceğini ve hedef bölgelerini nasıl tarayacağını belirleyen toplam mesafeyi minimize eden tur planları bulunmuştur. Problem, bu şekilde oryantiring problemi olarak tanımlanmaktadır. Problemimizde, literatürdeki diğer oryantiring problemi çalışmalarından farklı olarak, hedefler dikdörtgen şeklinde ifade edilmiştir. Problemimiz NP-Zor sınıfına girmektedir. Buna yönelik kesin ve sezgisel çözüm yaklaşımları önerilmiştir. Bilgimiz dahilinde çalışmamız bu kapsamda literatürde yapılmış ilk çalışma olacaktır.

3. PROBLEM TANIMI

Bu çalışmada havadan keşif yapan bir araç için çok amaçlı görev planlaması yapılmıştır. Problemimizde, bir hava aracı bir kalkış noktasından göreve başlamakta, dikdörtgen şeklindeki hedef bölgelerini bilgi elde etmek amacıyla taramakta ve bitiş noktasına geri dönmektedir. Bunu yaparken iki amaç fonksiyonu düşünülmüştür. Bunlar görev boyunca dolaşılacak mesafenin minimize edilmesi ve hedeflerden elde edilen bilginin maksimize edilmesidir. Bu nedenle problem çok amaçlı oryantiring problemi olarak ele alınmaktadır.

3.1. Hedef Bölgeler:

Problemimizde hedefler, dikdörtgen şeklinde bölgeler olarak ifade edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan yöntem, hedefleri nokta olarak tanımlamaktır. Problemimizde ise hedeflerin dikdörtgen şeklinde olması, problemi daha kompleks hale getirmiştir.



Şekil 3. Dikdörtgen şeklindeki hedefler (temsili)

3.2. Arama Desenleri:

Problemimizde bir hava aracı, dikdörtgen şeklindeki bir hedefi ziyaret ederken, hedeften bilgi elde etmektedir. Hava aracının hedeften bilgi elde etmesi için ziyaret edeceği dikdörtgen içerisine girip, birim şeritler halinde ilerleyerek, tarama yapması

3.4. Problemin Amaçları:

Problemimizde, birbiri ile çelişen iki amaç üzerinde durulmuştur. Bunlardan birincisi, görev boyunca dolaşılan toplam mesafenin minimize edilmesidir. İkincisi, hedeflerden elde edilen toplam bilginin maksimize edilmesidir.

3.4.1. Birinci Amaç (Görev Boyunca Dolaşılan Toplam Mesafe)

Hava araçları için görev boyunca dolaşılan mesafe veya süre önemli bir kriterdir. Önemli operasyonlar, yakıt kısıtı, hayati tehlike oluşmaması vb. durumlar nedeniyle kısa sürede tamamlanmak istenmektedir. Bu nedenle, problemimizde ilk amaç olarak hava aracının görev boyunca dolaştığı toplam mesafe (TM) minimize edilmiştir.

Hava aracının görev boyunca dolaştığı mesafe (TM);dikdörtgen şeklinde hedefler içerisinde tarama yaparken kat ettiği mesafe ($M1$) ve hedefler arasında uçarken kat ettiği mesafenin ($M2$) toplamı olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Amaç 1 : } \text{Min } TM = M1 + M2 \quad (3.1)$$

$M1$ ve $M2$ değerlerinin hesaplanması aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

M1 Mesafesinin Hesaplanması:

Hava aracı dikdörtgen şeklindeki bir hedefe (i) belirli arama deseninde (s) bir giriş noktasından girmekte (k), birim adımlar ile ilerleyerek hedefi taramakta, çıkış noktasından (m) hedefi terk etmektedir. Dikdörtgen içerisinde kat ettiği mesafe içeride gidilen toplam mesafe olarak hesaplanmaktadır. Şekil 6'da örnek olarak bir dikdörtgen hedef içerisinde kat edilen mesafe gösterilmiştir. Kat edilen toplam mesafe denklemi ($M1$) ise denklem (3.2)'de sunulmuştur.



Şekil 6. Dikdörtgen şeklindeki bir hedefin içerisinde s arama deseni ile kat edilen mesafe (temsili)

İndisler :

i, j : hedef indeksi ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)

k, m : dikdörtgenin giriş/çıkış noktasını belirten indeks ($k, m = 1, 2, 3, 4$)

s : Bir dikdörtgenin uygun bir giriş çıkış noktası kombinasyonu için bir dikdörtgen içindeki arama deseni indeksi ($s = 1, 2, \dots, h$)

Parametre:

C_{ikms} : i dikdörtgenin k noktasından girilip s arama deseni takip edilerek m noktasından çıkıldığında kat edilen mesafe

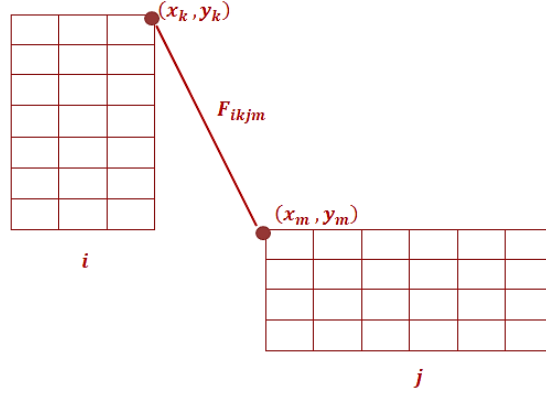
Karar değişkeni:

Z_{ikms} : Eğer bir hava aracı, i dikdörtgeninin k noktasından s arama deseni kullanarak m noktasına uçarsa 1, aksi halde 0

$$M1 = \sum_{ikms} C_{ikms} Z_{ikms} \quad (3.2)$$

M2 Mesafesinin Hesaplanması:

Hava aracının dikdörtgen şeklindeki hedefler arası uçarken kat ettiği mesafe ($M2$) hesaplanması için giriş-çıkış köşe noktalarının koordinatları kullanılmıştır. Denklem (3.3) kullanılarak, köşe noktaları arasındaki Öklid mesafe hesaplanmıştır. $M2$ denklemi ise (3.4)'de sunulmuştur.



Şekil 7. Dikdörtgen şeklindeki iki hedefin köşe noktaları (çıkış-giriş) arasındaki Öklid mesafe

$$\text{Öklid Mesafe} = \sqrt{(x_k - x_m)^2 + (y_k - y_m)^2} \quad (3.3)$$

(x_k, y_k) : k giriş/çıkış noktasının koordinatları

Parametre:

F_{ikjm} : i dikdörtgeninin k noktası ile j dikdörtgeninin m noktası arasındaki Öklid mesafesi

Karar değişkeni:

Y_{ikjm} : Eğer i dikdörtgeninin k noktasından j dikdörtgeninin m noktasına uçulursa 1, aksi halde 0

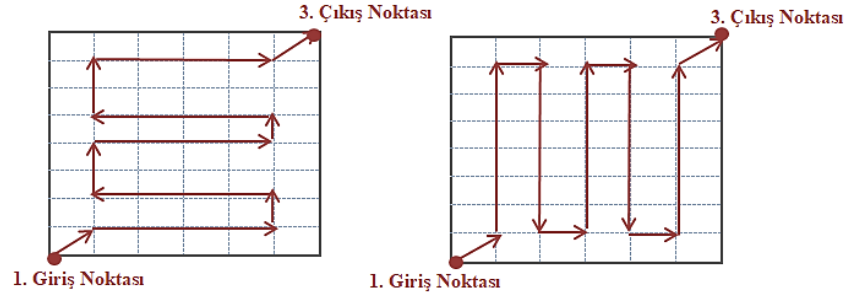
$$M2 = \sum_{ikjm} F_{ikjm} * Y_{ikjm} \quad (3.4)$$

3.4.2. İkinci Amaç (Toplam Bilgi)

Hava araçları birçok görevde keşif ve gözetleme amacıyla kullanılır. Keşif ve gözetleme faaliyeti ile hedeflerden önceden bilgi elde etmeye çalışılır. Hedefler hakkında ne kadar bilgi elde edilirse görevin başarı ile sonuçlanma ihtimali o kadar artmaktadır. Buradan esinlenerek, problemimizde ikinci amaç olarak dikdörtgen şeklindeki hedeflerden elde edilen bilgi (TB) maksimize edilmiştir.

$$\text{Amaç 2} = \text{Maks} (TB) \quad (3.5)$$

Hava aracı dikdörtgen şeklindeki bir hedefe (i), bir giriş noktasından (k) girmekte, belirli arama deseninde (s) ilerleyerek bilgi toplamakta ve çıkış noktasından (m) hedefi terk etmektedir. Hava aracı bir hedefi ne kadar sık tararsa, hedeften o kadar çok bilgi elde etmektedir. Şekil 8’de örnek olarak bir dikdörtgen hedef içerisinde aynı giriş-çıkış noktası için iki farklı arama deseni ile bilgi elde edilmesi gösterilmiştir. Toplam bilginin maksimize edildiği (TB) denklemi ise (3.6)’da sunulmuştur.



Şekil 8. Bir dikdörtgen hedef içerisinde aynı giriş-çıkış noktası için iki farklı arama deseni ile bilgi elde edilmesi

Parametre:

P_{ikms} : i dikdörtgeninin k noktasından s arama deseni ile m noktasına uçtuğunda elde edilen bilgi

Karar değişkeni:

Z_{ikms} : Eğer bir hava aracı, i dikdörtgeninin k noktasından s arama deseni kullanılarak m noktasına uçarsa 1, aksi halde 0

$$TB = \sum_{ikms} P_{ikms} * Z_{ikms} \quad (3.6)$$

3.5. Problemin Matematiksel Modeli

Havadan keşif yapan bir aracın hedeflerin hangisinin ziyaret edileceğini seçen ve rotasını bulan problemin çözümü için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen matematiksel modelde, Maraş vd. [1] geliştirdikleri iki amaçlı havadan gözetleme probleminin (MASP) matematiksel modeli referans alınmıştır.

Parametre:

N : Toplam dikdörtgen sayısı

Yardımcı Değişken:

u_i : Alt tur oluşumunu engelleyen yardımcı değişken

Amaç Fonksiyonları:

$$\text{Maks } TB = \sum_{ikms} P_{ikms} * Z_{ikms} \quad (3.7)$$

$$\text{Min } TM = \sum_{ikms} C_{ikms} * Z_{ikms} + \sum_{ikjm} F_{ikjm} * Y_{ikjm} \quad (3.8)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{ikm} Y_{ikjm} \leq 1 \quad \forall j = 1,2, \dots, N \quad (3.9)$$

$$\sum_{jkm} Y_{ikjm} \leq 1 \quad \forall i = 1,2, \dots, N \quad (3.10)$$

$$\sum_{ks} Z_{jmk} = \sum_{ik} Y_{ikjm} \quad \forall j = 2, \dots, N, m = 1,2,3,4 \quad (3.11)$$

$$\sum_{ks} Z_{ikms} \leq \sum_{jk} Y_{imjk} \quad \forall i = 2, \dots, N, m = 1,2,3,4 \quad (3.12)$$

$$u_i - u_j + N * \sum_{km} Y_{ikjm} \leq N - 1 \quad \forall i = 2, \dots, N, j = 2, \dots, N \quad i \neq j \quad (3.13)$$

$$\sum_{kjm} Y_{1kjm} = 1 \quad (3.14)$$

$$\sum_{ikm} Y_{ik1m} = 1 \quad (3.15)$$

$$Y_{ikjm} \in \{0,1\} \quad \forall ikjm \quad (3.16)$$

$$Z_{ikms} \in \{0,1\} \quad \forall ikms \quad (3.17)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i \in N \quad (3.18)$$

Amaç fonksiyonu (3.7) ile tüm dikdörtgenlerden elde edilecek bilgi maksimize edilir. Amaç fonksiyonu (3.8) ile görev boyunca dolaşılan toplam mesafe minimize edilir. (3.9) kısıtları ile hava aracının, her dikdörtgeni en fazla bir çıkış noktasından terk etmesi sağlanır. (3.10) kısıtları ile hava aracının her dikdörtgene en fazla bir giriş noktasından girmesi sağlanır. (3.11) kısıtları ile bir hava aracı bir dikdörtgene bir giriş noktasından girerse, bir arama deseni ile o dikdörtgeni taraması sağlanır. (3.12) kısıtları ile bir dikdörtgenin bir noktasından çıkılıyorsa, başka bir dikdörtgene devam edilmesi sağlanır. (3.13) kısıt ile alt tur oluşması engellenir. (3.14) kısıt ile hava aracının başlangıç noktasından bir dikdörtgene gidilmesi sağlanır. (3.15) kısıt ile bir dikdörtgenden başlangıç noktasına dönüş yapılması sağlanır. (3.16) ve (3.17) karar değişkenlerine ait kısıtlardır. (3.18) yardımcı değişken için negatif olmama kısıtıdır.

3.6. Çözüm Yaklaşımları

Çok amaçlı görev planlaması problemi çözümü için kesin yöntemlerden, değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi kullanılmıştır. Değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi ile etkin çözümlerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

3.6.1. Değiştirilmiş Epsilon Kısıt Yöntemi

Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde, birbiriyle çelişen amaçlar nedeniyle, tek bir optimal çözüm yerine “etkin çözüm” olarak adlandırılan çok sayıda çözümler bulunur. Etkin çözümler, en az bir amaç için ödün vermeden başka bir amaç için iyileştirme yapılması mümkün olmayan çözümlerdir [33]. İki amaçlı bir problem olduğunu varsayalım. Problem tanımını aşağıdaki gibi ifade edilsin [33]:

$$\text{Maks } Z_1(x)$$

$$\text{Maks } Z_2(x)$$

Kısıtlar

$$x \in X$$

Burada x' karar değişkeni vektörü, x' karar değişkeni vektörünün ilk ve ikinci amaç fonksiyonunda aldığı değerler, sırasıyla $Z_1(x')$ ve $Z_2(x')$ olsun. Çözüm uzayında $(Z_1(x'), Z_2(x'))$ vektörü ile gösterilsin.

Tanım 1: x' çözümünün etkin çözüm olması için, $(Z_1(y), Z_2(y))$ değerlerine sahip $Z_1(y) \geq Z_1(x')$, $Z_2(y) \geq Z_2(x')$ koşullarını ve $Z_1(y) > Z_1(x')$, $Z_2(y) > Z_2(x')$ koşullarından en az birini sağlayan y çözümünün bulunmaması gerekir [33].

Çok amaçlı problemlerde etkin çözümlerin bulunması için epsilon kısıt yöntemi kullanılır [34]. Bu yöntemde bir kriter amaç fonksiyonu olarak seçilirken, diğer kriterler kısıta indirgenir. Yöntemin matematiksel modeli şöyledir.

Maks $Z_j(x)$

Kısıtlar

$$Z_k(x) \geq \varepsilon_k \quad k = 1, 2, \dots, p \quad k \neq j$$

$$x \in X$$

Yöntemde, ε_k değeri sistematik olarak değiştirilerek çözüm uzayında etkin çözümler aranır. Ancak, bu yöntem ile zayıf etkin çözümlerde bulunabilir. Bunu engellemek amacıyla değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi kullanılır. Değiştirilmiş epsilon kısıt yönteminin matematiksel modeli ise şöyledir:

Maks $Z_j(x) + \rho \sum_{k \neq j} Z_k(x)$

Kısıtlar

$$Z_k(x) \geq \varepsilon_k \quad k = 1, 2, \dots, p \quad k \neq j$$

$$x \in X$$

Modelde ρ , küçük pozitif bir tam sayıdır (örneğin 0,001 gibi). Zayıf etkin çözümlerin bulunmasını engellemek amacıyla kullanılır. ε_k değeri sistematik olarak değiştirilerek tüm etkin çözümler bulunur.

Çok amaçlı görev planlaması problemimizde, değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi modelimize (3.8) numaralı mesafe amaç fonksiyonunun kısıta indirilmesiyle uyarlanmıştır.

$$\text{Amaç Fonksiyonu: } Maks T = (\sum_{ikms} P_{ikms} * Z_{ikms}) - \rho * (\sum_{ikms} C_{ikms} * Z_{ikms} + \sum_{ikjm} F_{ikjm} * Y_{ikjm}) \quad (3.19)$$

Kısıtlar:

(3.9) - (3.13)

$$\sum_{ikms} C_{ikms} * Z_{ikms} + \sum_{ikjm} F_{ikjm} * Y_{ikjm} \leq \varepsilon \quad (3.20)$$

(3.14) - (3.18)

Modelde görev boyunca kat edilen toplam mesafe amacı (TM) kısıta indirilmiştir. Modelin amaç fonksiyonuna (toplam bilginin maksimize edilmesi- TB), toplam bilgi değerleri aynı olan çözümlerde, toplam mesafe değeri daha az olan çözümün bulunması için ρ katsayısı ile TM fonksiyonu eklenmiştir.

Verilen modelde her giriş çıkış noktası ikilisi arasında birden fazla arama deseni kullanılabilir. Model hem rotayı hem de giriş-çıkış noktaları arası kullanılacak arama desenini seçer. Bu çalışmada, problemin daha basitleştirilmiş bir versiyonu olarak her giriş-çıkış çifti arasında tek bir arama deseni kullanılabilirdi varsayımı yapılmıştır. Bu durum için modelde s indisleri kullanımına gerek kalmaz, karar değişkenleri ve parametrelerden s indisi silinebilir.

Bir sonraki bölümde anlatılacak olan sezgisel algoritma da bu versiyon için geliştirilmiştir.

4. SEZGİSEL ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Problemin büyük boyutlu versiyonlarına hızlı çözüm bulmak adına Golden vd. [10] geliştirdikleri MFH (Multi-Faceted Heuristic) algoritması problemimize uyarlanmıştır. İlk bölümde MFH algoritmasından bahsedilmiş, ardından MFH algoritmasının problemimize uygulanma adımları detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1. MFH Algoritması

MFH algoritması oryantiring probleminin çözümü için kullanılan bir yöntemdir. Oryantiring probleminde hedefler düğüm/nokta olarak tanımlıdır ve bütün düğümlerin kazanç/skor/bilgi değeri bulunmaktadır. Oryantiring probleminin amacı, belirli bir zaman/maliyet kısıtını aşmayacak şekilde, kazancı/skoru/bilgiyi maksimize edecek uygun rotaları oluşturmaktır. MFH algoritmasında, en yüksek değere sahip düğümler seçilerek uygun rotalar oluşturulur. Algoritmada tek bir rota oluşturulabilmesi uygulanan prosedürler ağırlıklı toplam yöntemine dayanır [10]. Algoritmanın adımları 4.1.1 bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

4.1.1. MFH Algoritması Adımları

Tanımlar:

Kümeler:

A: Düğümler Kümesi

İndisler:

a, b : hedefler (düğümler)

Parametreler:

I_a : a düğümündeki bilgi değeri

t_{ab} : a ve b düğümü arasındaki mesafe

CM_a : a düğümünün ağırlık merkezine olan mesafe ölçüsü

EM_a : a düğümünün başlangıç-bitiş düğüm noktalarına olan toplam mesafe ölçüsü

LM_a : a düğümü ile ziyaret edilen bir önceki düğüm arasındaki mesafe ölçüsü

P_{ab} : a düğümünden b düğümüne gidilirse elde edilecek bilgi

W_a : a düğümünün ağırlıklı toplam değeri

a_x : a düğümünün x eksen koordinatı

a_y : a düğümünün y eksen koordinatı

CM_x : ağırlık merkezinin x eksen koordinatı

CM_y : ağırlık merkezinin y eksen koordinatı

S_x : Başlangıç noktasının x eksen koordinatı

S_y : Başlangıç noktasının y eksen koordinatı

F_x : Bitiş noktasının x eksen koordinatı

F_y : Bitiş noktasının y eksen koordinatı

α : Konveks kombinasyon denkleminde kullanılacak skor ölçüsü katsayısı

β : Konveks kombinasyon denkleminde kullanılacak ağırlık merkezi mesafe ölçüsü

katsayısı

γ : Konveks kombinasyon denkleminde kullanılacak başlangıç ve bitiş düğümlerine olan mesafe toplamı ölçüsü katsayısı

θ : Konveks kombinasyon denkleminde kullanılacak düğümler arası mesafe ölçüsü katsayısı

μ : indirgeme katsayısı

t : tekrar sayısı

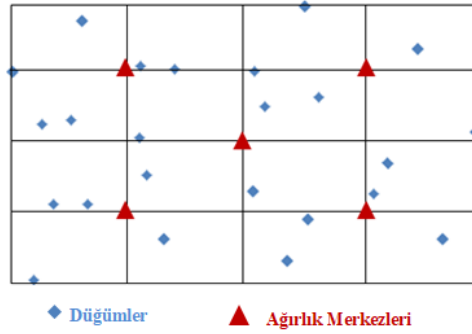
Algoritmanın ilk adımında, (4.1)'de gösterilen denklem ile skor ölçüsü (SM_a) hesaplanır. Bir düğüm için skor ölçüsü (SM_a) değeri hesaplanırken, düğümün kendi bilgi değeri (I_a) ve o düğümden ulaşılacak diğer tüm düğümlerin bilgi değerleri (I_b) kullanılır. Düğümün kendi bilgi değeri (I_a) ve ondan ulaşılacak düğüm bilgi değerleri (I_b), düğümler arası mesafenin (t_{ab}) indirgenmiş fonksiyonu ile çarpılarak toplanır. Skor ölçüsü değeri hesaplanmış olunur. Burada, μ indirgeme katsayısıdır. μ için 1, 5, 10 ve 100 değerleri kullanılabilir [10]. Golden vd. [10]

çalışmalarındaki test problemlerinde, en iyi sonuçları 1, 5 ve 10 değerlerinde elde ettiklerini belirtmişlerdir.

$$SM_a = I_a + \sum_{b \in A/\{a\}} I_b * e^{-\mu * t_{ab}} \quad (\forall a \in A) \quad (4.1)$$

$\mu = 1, 5, 10$ ve 100

Ağırlıklı toplam yönteminin ikinci adımında, bir düğüm için ağırlık merkezine olan mesafe ölçüsü (CM_a) hesaplanır. Beş farklı ağırlık merkezi kullanılır. İlk olarak tüm düğümleri çevreleyecek şekilde bir dikdörtgen çizilir. Daha sonra bu dikdörtgen, dört eşit boyutlu çeyrek dikdörtgene bölünür. Dikdörtgen merkezi ve bu dört dikdörtgenin merkezleri, ağırlık merkezi olarak ele alınır. a düğümü ile seçilen bir ağırlık merkezi arasındaki mesafe Öklid uzaklığına göre hesaplanır.

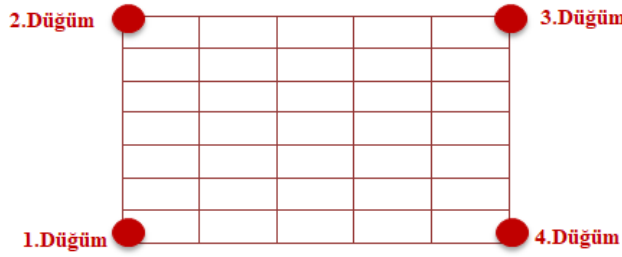


Şekil 9. Temsili düğümler ve ağırlık merkezleri

Son olarak bir düğüm için başlangıç-bitiş düğüm noktalarına olan toplam mesafe ölçüsü (EM_a) hesaplanır. Bir düğüm için bu üç ölçü belirlendikten sonra, onların α , β ve γ ağırlıkları ile çarpılıp konveks kombinasyonları hesaplanarak ilgili düğüme W_a değeri atanır. Bu şekilde en yüksek değere sahip 5 düğüm sıralanır. 5 düğümden eşit olasılıkla rastgele seçim yapılır. Seçilen düğüm bir sonra uğranılacak düğüm olarak rotaya katılır. Sonra gidilecek düğümün belirlenmesi için üstte anlatılan basamaklar tekrarlanır. Zaman/mesafe kısıtını aşmayacak şekilde bir aday rota oluşturulur. Algoritma, her ağırlık merkezi için 20 kez tekrarlanır. Beş farklı ağırlık merkezi olduğu için 100 farklı rota üretilir, en yüksek bilgiye sahip rota MFH algoritması tarafından önerilen çözüm olur.

4.2. Dikdörtgen Hedefler için MFH Algoritması

Golden vd. [10]'nin geliştirdiği MFH algoritması problemimize doğrudan uygulanamamıştır. MFH algoritmasında bütün hedefler düğüm/nokta şeklinde tanımlanmıştır. Her hedefin bir bilgi değeri (I_a) vardır. Bizim problemimizde ise her hedefin bir bilgi değeri (I_a) yoktur. Çünkü hedefler dikdörtgen şeklinde alanlardır ve farklı taranmaları ile farklı bilgi değerlerine ulaşılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki temel fark, bir alan olan hedeflerin nasıl temsil edileceğidir. Yaklaşımımızda, hedef bölgelerin düğüm olarak düşünülmesi yerine, hedef bölgelerin köşe noktaları (giriş-çıkış noktaları) düğüm olarak ele alınmıştır. Düğümler iki tip (giriş düğümü ve çıkış düğümü) olarak ayrıştırılmış, W_a değerleri düğüm tiplerine göre hesaplanmış ve rotalar oluşturulmuştur. Hava aracının gidebileceği toplam mesafenin T_{max} olduğu durum için bilgiyi maksimize edecek rota aranmıştır.



Şekil 10. Temsili bir dikdörtgen şeklindeki hedef ve hedefteki düğümler

4.2.1. Algoritma Adımları

Algoritmaya başlanırken, bir hava aracı için belirli bir uçuş mesafe kısıtı (T_{max}) atanır. T_{max} değerleri değiştirilerek aşağıdaki algoritma adımları uygulanır ve her T_{max} için bir çözüm elde edilir.

A1. Bir ağırlık merkezi seçin.

A2. Seçilen ağırlık merkezi için,

A2.1. Hedeflerdeki tüm düğümlerin düğüm durumuna göre (giriş veya çıkış düğümü) bilgi değerlerini (I_a) bulun.

A2.2. Tüm düğümlerin düğüm durumuna göre (giriş veya çıkış düğümü) skor ölçüsünü (SM_a) bulun.

A2.3. Bütün düğümler için ağırlık merkezine olan mesafeyi (CM_a) hesaplayın.

A2.4. Dügümler için başlangıç ve bitiş noktalarına olan mesafe toplamlarını EM_a hesaplayın.

A2.5. Dügümler için kendinden önce ziyaret ettiği düğüme olan mesafe ölçüsünü (LM_a) hesaplayın.

A2.6. Dügümlerin SM_a , CM_a , EM_a ve LM_a değerlerini 0-1 arasında doğrusallaştırın.

A2.7. Dügümler için konveks kombinasyon değerini (W_a) hesaplayın.

A2.8. Bulunan (W_a) değerlerini büyükten küçüğe sıralayın. En yüksek değere sahip 5 düğümü belirleyin.

A2.9. Dügümlerden rastgele birini seçin ve seçilen düğümü rotaya ekleyin.

A2.10. Yeni düğüm eklenmesiyle toplam mesafenin (T_{max}) aşıp aşılmadığını kontrol edin. Aşılmıyorsa A1 basamağına geri dönün. Aşılıyorsa, düğümün durumuna göre (giriş veya çıkış düğümü) rotayı güncelleyip sonlandırın.

A2.11. Bu ağırlık merkezi için t farklı çözüm üretin. Eğer t farklı çözüm bulunduysa A3'e geçin.

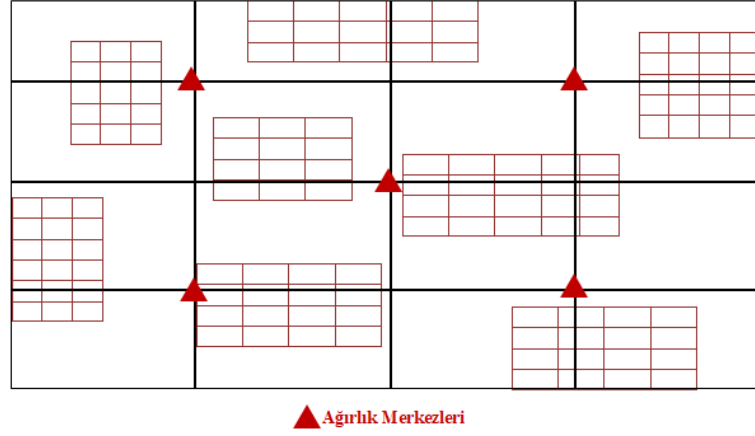
A3. Tüm ağırlık merkezleri değerlendirildiyse algoritmayı sonlandırın. Aksi durumda ağırlık merkezini değiştirip A2'ye dönün.

A4. Oluşturulan ($5 * t$) farklı çözüm rotasından en yüksek bilgiye sahip rotayı algoritma çözümü olarak seçin.

Algoritma adımları detaylı olarak şöyledir:

Adım 1. Bir ağırlık merkezinin seçilmesi

Algoritmanın başlangıcında, beş farklı ağırlık merkezi oluşturulur. Ağırlık merkezleri için, bütün dikdörtgenlerdeki bütün düğümleri çevreleyecek bir dikdörtgen çizilir. Daha sonra bu dikdörtgen dört eşit boyutlu çeyrek dikdörtgene bölünür. Dikdörtgenin merkez noktaları ve bu çeyrek dikdörtgenlerin merkez noktaları ağırlık merkezi (CM) olarak ifade edilir. Bu ağırlık merkezlerinden bir tanesi rastgele seçilir.



Şekil 11. Temsili dikdörtgenler ve ağırlık merkezleri

Adım 2. Seçilen ağırlık merkezi için:

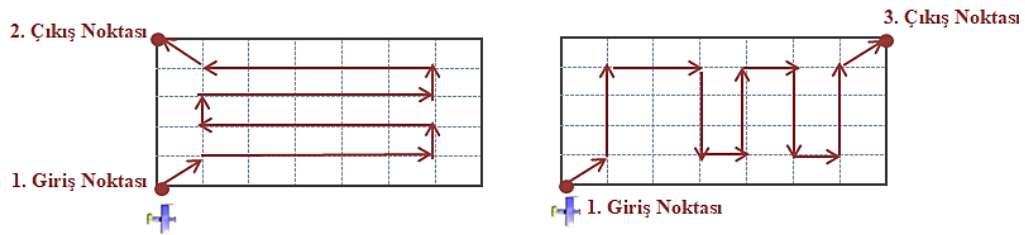
Adım 2.1. Hedeflerdeki düğümlerin değerlerinin (I_a) bulunması

Algoritmanın bu basamağında, hedeflerdeki bütün düğümler için düğüm bilgi değeri (I_a) hesaplanır. Bu hesap yapılırken öncelikle B_a kümesi oluşturulur. Eğer a düğümü bir giriş düğümü ise, B_a kümesi o dikdörtgenin tüm çıkış noktalarıdır. Eğer a düğümü bir çıkış düğümü ise, B_a kümesi henüz ziyaret edilmemiş dikdörtgenlerin olası tüm giriş noktalarıdır. I_a değeri, a düğümünden gidilebilecek tüm düğümlere gidilmesi ile elde edebileceği bilginin ortalamasıdır. Düğüm bilgi değerinin (I_a) hesaplanması için aşağıdaki denklem (4.2) kullanılır.

Küme:

B_a : a düğümünden gidilebilecek düğüm kümesi ($B_a \in A$)

$$I_a = \frac{\sum_{b \in B_a} P_{ab}}{|B_a|} \quad (\forall a \in A) \quad (4.2)$$

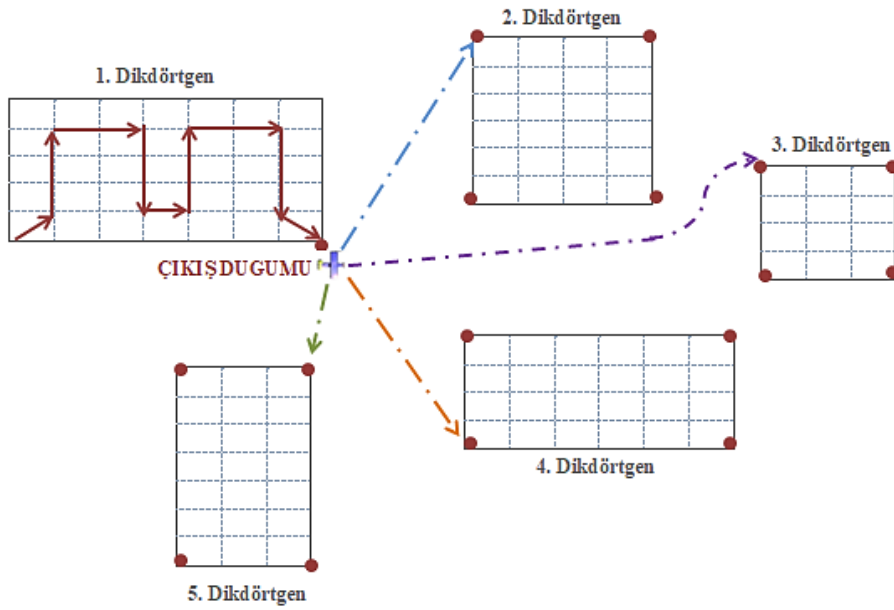


Şekil 12. Bir giriş düğümündeki İHA için, aynı hedefte ziyaret edebileceği düğümler için izleyeceği yollar (temsili)

Adım 2.2. Hedeflerdeki düğümlerin skor ölçülerinin (SM_a) bulunması

Bu basamakta hedeflerdeki tüm düğümlerin, düğüm durumuna göre skor ölçüsü (SM_a) hesaplanır. Eğer bir dikdörtgendeki a düğümü, bir giriş düğümü ise a düğümünün skor ölçüsü (SM_a), kendi düğüm değeri ve kendi dikdörtgeninde arama deseniyle gidilebilecek düğümlerin indirgenmiş değerlerinin toplamıdır. Eğer bir dikdörtgendeki a düğümü, bir çıkış düğümü ise a düğümünün skor ölçüsü (SM_a), kendi düğüm değeri (I_a) ve kendi dikdörtgenindeki dışında gidebileceği düğümlerin indirgenmiş değerlerinin toplamıdır. Düğümler için skor ölçüsü (SM_a) aşağıdaki denklem (4.3) ile hesaplanır.

$$SM_a = I_a + \sum_{b \in B_a} I_b * e^{-\mu * t_{ab}} \quad (\forall a \in A) \quad (4.3)$$



Şekil 13. Bir çıkış düğümündeki İHA için, farklı hedeflerde ziyaret edebileceği düğümler için izleyeceği yollar (temsili)

Adım 2.3. Düğümlerin ağırlık merkezine olan mesafenin (CM_a) hesaplanması

Bu adımda her düğüm ile seçilen ağırlık merkezi arasındaki mesafe (CM_a) aşağıdaki denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$CM_a = \sqrt{(a_x - CM_x)^2 + (a_y - CM_y)^2} \quad (\forall a \in A) \quad (4.5)$$

Adım 2.4. Düğümlerin başlangıç ve bitiş noktalarına olan mesafeleri toplamının (EM_a) hesaplanması

Bütün dikdörtgenlerdeki düğümlerin başlangıç ve bitiş noktalarına olan mesafe toplamı (EM_a) aşağıdaki denklem (4.6) ile hesaplanır.

$$EM_a = \sqrt{(a_x - S_x)^2 + (a_y - S_y)^2} + \sqrt{(a_x - F_x)^2 + (a_y - F_y)^2} \quad (\forall a \in A) \quad (4.6)$$

Adım 2.5 Düğümler için kendinden önce ziyaret ettiği düğüme olan mesafe ölçüsünün (LM_a) hesaplanması

Düğümlerin durumlarına göre (giriş veya çıkış düğümü), kendinden önce ziyaret edilen düğüme olan mesafe ölçüsü hesaplanır. Düğümler arası mesafe ölçüsü (t_{ab}) kullanılır. t_{ab} hesabı iki şekilde yapılır. Eğer çıkış düğümündeyse, kendinden önce ziyaret edilmiş giriş düğümü arasındaki mesafe değeri, arama deseni uzunluğuna eşittir. Eğer giriş düğümündeyse, kendinden önceki ziyaret edilmiş çıkış düğümü (f düğümü) arasındaki mesafe aşağıdaki denklem (4.7) ile hesaplanır.

$$LM_a = \sqrt{[a_x - f_x]^2 + [a_y - f_y]^2} \quad (\forall a \in A) \quad (4.7)$$

Adım 2.6. Düğümlerin SM_a , CM_a , EM_a ve LM_a değerlerinin 0-1 arasında doğrusallaştırılması

Düğümlerin skor ölçüsü (SM_a), ağırlık merkezine olan mesafe ölçüsü (CM_a), başlangıç ve bitiş noktalarına olan mesafe ölçüsü (EM_a) ve düğümler için kendinden önce ziyaret ettiği düğüme olan mesafe ölçüsü (LM_a) 0-1 arasında doğrusallaştırılır.

1) SM_a ölçüsünü doğrusallaştırmak için aşağıdaki denklem (4.8) kullanılır.

$$SM_a = \frac{SM_a * n}{\max_b \{SM_b\}} \quad (\forall a \in A) \quad (4.8)$$

2) CM_a ölçüsünü doğrusallaştırmak için aşağıdaki denklem (4.9) kullanılır.

$$CM_a = \frac{\min_b \{CM_b\} * n}{CM_a} \quad (\forall a \in A) \quad (4.9)$$

3) EM_a ölçüsünü doğrusallaştırmak için aşağıdaki denklem (4.10) kullanılır.

$$EM_a = \frac{\min_b \{EM_b\} * n}{EM_a} \quad (\forall a \in A) \quad (4.10)$$

4) LM_a ölçüsünü doğrusallaştırmak için aşağıdaki denklem (4.11) kullanılır.

$$LM_a = \frac{\min_b \{LM_b\} * n}{LM_a} \quad (\forall a \in A) \quad (4.11)$$

Adım 2.7. Dügümler için konveks kombinasyon değerlerinin (W_a) hesaplanması

Bütün düğümler için konveks kombinasyon değerleri hesaplanır. Hesaplama için, aşağıdaki denklem (4.12) kullanılır.

$$W_a = \alpha * SM_a + \beta * CM_a + \gamma * EM_a + \theta * LM_a \quad (4.12)$$

$$\alpha + \beta + \gamma + \theta = 1$$

Adım 2.8. Bulunan konveks kombinasyon W_a değerlerini büyükten küçüğe sıralanması.

En yüksek değere sahip 5 düğümün belirlenmesi.

Adım 2.7'de bulunan konveks kombinasyon değerleri (W_a) değerleri büyükten küçüğe sıralanır. En yüksek değere sahip beş düğüm belirlenir.

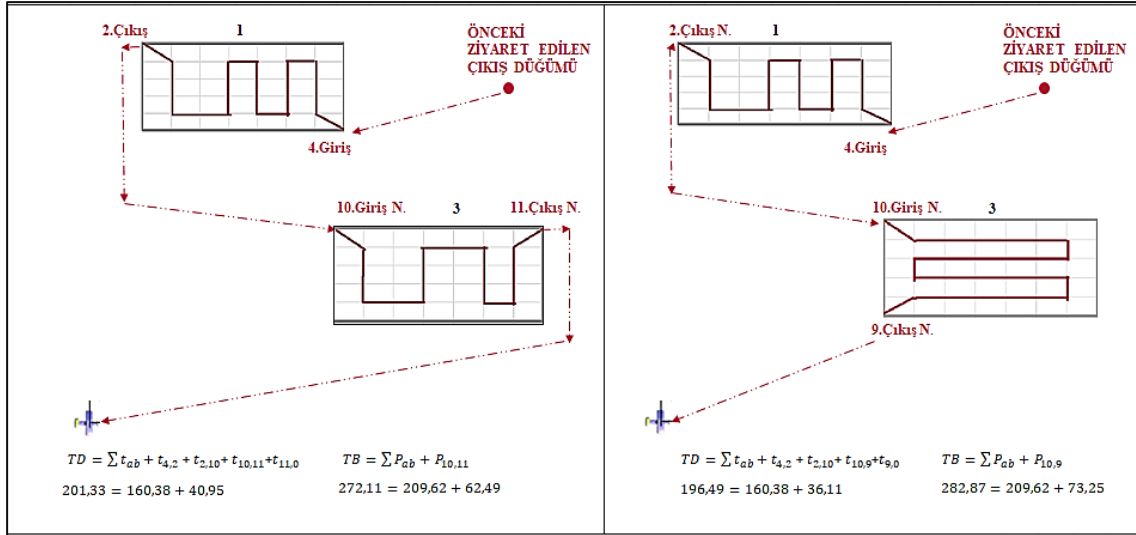
Adım 2.9. Dügümlerden rastgele birinin seçilmesi ve seçilen düğümün rotaya eklenmesi

En yüksek değere sahip düğümlerden eşit olasılıkla biri seçilir ve rotaya eklenir.

Adım 2.10. Yeni düğüm eklenmesiyle toplam mesafenin (T_{max}) aşılp aşılmadığının kontrol edilmesi

Bu adımda, son düğümün rotaya eklenmesiyle çözümün uygun (feasible) olup olmadığı kontrol edilir. Bunun için toplam mesafenin (T_{max}) aşılp aşılmadığı incelenir. Çözümün uygun olup olmadığı kontrol etmek için düğüm duruma bakılır.

Eğer son eklenen düğüm giriş düğümüyse, düğümün elemanı olduğu dikdörtgende kendisine ve bitiş noktasına (F_x, F_y) toplam mesafesi en az olan düğümünden çıkış yapılarak rotanın sonlanması durumunda toplam mesafe (T_{max}) değerinin aşılp aşılmadığı kontrol edilir. Eğer en kısa yol kullanıldığında bile toplam mesafe kısıtı aşılyorsa bu düğüm rotaya eklenmez. Eğer son eklenen düğüm çıkış düğümüyse, bu düğümünden bitiş noktasına direk gidilmesi ile toplam mesafe kısıtının aşılp aşılmadığına bakılır. Eğer aşılyorsa, ilgili dikdörtgenin giriş düğümünden gidebileceği başka bir çıkış noktası bulunur ve rotaya o çıkış noktası son düğüm olarak eklenir. İlgili adımlar Şekil 14'te iki örnek üzerinde gösterilmiştir. T_{max} 200 km kısıtı altında bir hava aracı gözetleme yapmaktadır. Şekil 14'ün sol tarafında görüldüğü gibi, hava aracının rotasında son ziyaret edeceği düğüm olarak 3. dikdörtgendeki 11. çıkış düğümü seçilmiştir. Ancak bu çıkış düğümünden bitiş noktasına gidildiğinde T_{max} kısıtı 201,33 değeri ile aşılmaktadır. Bu nedenle, Şekil 14'ün sağ tarafında görüldüğü gibi, başka bir çıkış düğümü (9. çıkış) kullanılmıştır. 196,49 uçuş mesafesi ile rota tamamlanmıştır.



Şekil 14. Dikdörtgenler için MFH algoritması Adım 2.10 için tur güncelleme örneği

Adım 2.11. Bu ağırlık merkezi için t farklı çözüm üretilmesi ve eğer bulunduysa Adım 3'e geçilmesi

Bu adımda ilgili ağırlık merkezi için t tane rota hesaplanır. t parametresi hedef sayısına göre değişkenlik gösterebilir. Eğer t çözüm bulunursa, adım 3'e geçilir.

Adım 3. Tüm ağırlık merkezleri için çözümlerin bulunması ve algoritmanın sonlandırılması

Bu adımda Adım 1'de verilen tüm ağırlık merkezleri için toplam (5 * t) farklı çözüm rotası bulunur ve algoritma sonlandırılır. Aksi halde ağırlık merkezi değiştirilerek, Adım 2'ye dönlür.

Adım 4. Oluşturulan t farklı çözüm rotasından en yüksek bilgiye sahip rotanın algoritma çözümü olarak seçilmesi.

Tüm ağırlık merkezleri için toplam (5 * t) farklı çözüm rotası oluşturulduktan sonra listelenir. En yüksek bilgi değerine sahip rota bulunur, algoritma çözümü olarak ve seçilir algoritma

5. SAYISAL SONUÇLAR

Üçüncü bölümde, bir hava aracı için çok amaçlı görev planlaması problemimizin kesin çözümü için değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi matematiksel modelini vermiştik. Dördüncü bölümde ise, dikdörtgen hedefler için MFH algoritmasını açıklamıştık. Bu bölümde ise, bu iki yöntem test problemleri üzerinde uygulanmış ve sonuçları verilmiştir. Ardından, yöntemlerin performansları değerlendirilmiştir.

Çalışmada geliştirilen değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi matematiksel modeli, GAMS 23.3'te yazılmış ve optimal olarak çözülmüştür. Çözücü olarak, GAMS MIP Solver kullanılmıştır. MFH algoritması ise MATLAB R2022b'de yazılmıştır. Çalışmalar Intel Core i7-4720HQ CPU 2.60 GHz işlemci, 12 GB RAM özelliklerine sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

5.1. Test Problemleri

Test problemleri için; başlangıç ve bitiş noktası (0,0) olan iki boyutlu 100x90 km uzunluğundaki bir alanda 5x7 km kenar ölçülerine sahip 5, 10, 20, 40 ve 60 adet dikdörtgen hedefler oluşturulmuştur. Hava aracı dikdörtgen şeklindeki bir hedefe, bir giriş noktasından girmekte, belirli arama deseninde ilerleyerek bilgi toplamakta ve ilerlediği birim adımın üç katı oranında bilgi elde ederek, çıkış noktasından hedefi terk etmektedir. Problemimizde bir hava aracının, bir dikdörtgen hedef içerisindeki bir giriş-çıkış noktası için bir arama deseni kullandığı varsayılmıştır. Oluşturulan hedeflere ait arama desenleri vb. detaylı bilgiler EK 2'de sunulmuştur.

Test problemlerinde kullanılan parametreler aşağıda Çizelge 1'de belirtilmiştir.

Çizelge 1. Test problemlerinde kullanılan parametreler

Parametreler	Değer
μ katsayısı	100
ρ katsayısı	0,01
α katsayıları	0,5 ve 0,6
β katsayıları	0 ve 0,1
γ katsayıları	0,5 ve 0,2
θ katsayıları	0 ve 0,1
t (tekrar sayısı)	30

Golden vd. [10] MFH algoritmasında α , β ve γ ağırlık katsayıları için, (0,7, 0,2, 0,1), (0,8, 0,1, 0,1), (0,6, 0,2, 0,2), (0,5, 0,3, 0,2) gibi değerler kullanmışlardır. (0,7, 0,2, 0,1) parametrelerinin en iyi sonuçları verdiğini söylemişlerdir. Dikdörtgenler için MFH algoritmasında ise α , β , γ ve θ ağırlık katsayıları bulunmaktadır. Test problemlerimizde (0,7, 0,1, 0,1, 0,1), (0,6, 0,1, 0,2, 0,1), (0,5, 0, 0,5, 0) (0,5, 0,1, 0,3, 0,1) gibi katsayılar denenmiştir. En iyi sonuçları elde ettiğimiz değerler (0,5, 0, 0,5, 0) ve (0,6, 0,1, 0,2, 0,1) dir. Farklı katsayılar ile elde edilen örnek çözümler EK 3'te sunulmuştur.

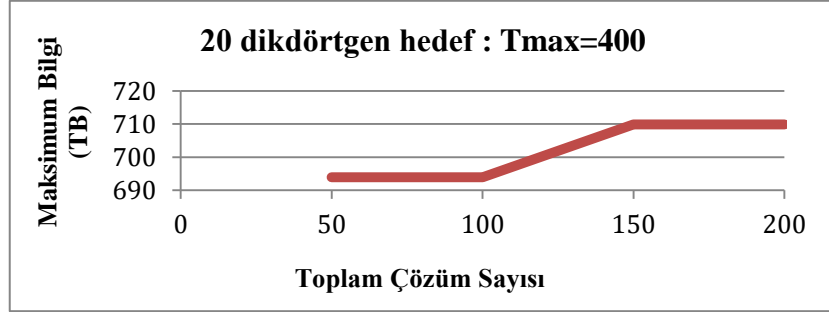
Test problemlerinde, MFH algoritmasında tekrar sayısı (t) parametresi için 10, 20, 30 ve 40 değerleri denenmiştir. Yani tüm ağırlık merkezleri için toplamda 50, 100, 150 ve 200 farklı çözüm üretilmiştir. Aşağıda Çizelge 2'de 20 ve 40 dikdörtgen için farklı T_{max} sürelerinde 10, 20, 30 ve 40 tekrarla elde edilen en iyi çözümler gösterilmiştir.

Çizelge 2. 20 ve 40 dikdörtgen hedef için farklı tekrar değerleri ile elde edilen çözümler

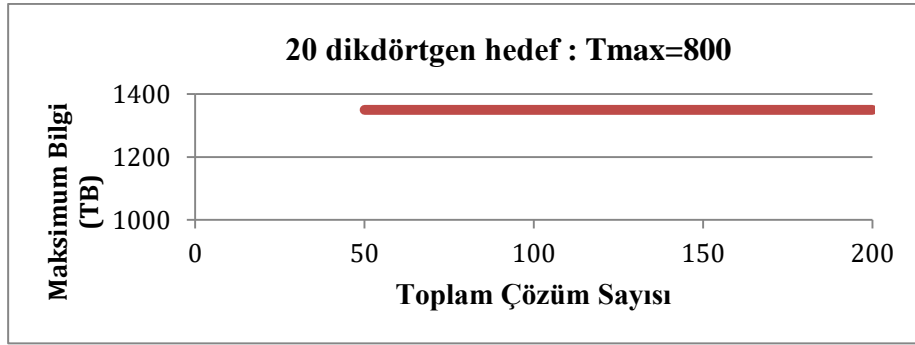
FARKLI ÇÖZÜMLER									
	T_{max}	50		100		150		200	
		<i>TB</i>	<i>TM</i>	<i>TB</i>	<i>TM</i>	<i>TB</i>	<i>TM</i>	<i>TB</i>	<i>TM</i>
20 DİKDÖRTGEN HEDEF	1000	1392,30	840,51	1392,30	840,51	1408,60	875,34	1408,60	875,34
	800	1349,10	731,09	1349,10	731,09	1349,10	731,09	1349,10	731,09
	600	1002,40	578,62	1030,10	599,62	1030,10	599,62	1030,10	599,62
	400	693,90	383,67	693,90	383,67	709,90	352,20	709,90	352,20
	120	208,47	117,82	208,47	117,82	219,22	116,57	219,22	116,57
40 DİKDÖRTGEN HEDEF	2000	2851,90	1773,50	2851,90	1773,50	2862,60	1887,40	2862,60	1887,40
	800	1323,10	755,80	1323,10	755,80	1323,10	755,80	1351,60	796,40
	600	1003,60	596,09	1003,60	596,09	1021,10	591,67	1021,10	591,67
	400	681,15	399,85	681,15	399,85	690,15	354,43	690,15	354,43
	250	411,44	245,72	425,19	247,18	438,44	245,46	438,44	245,46

Çizelgedeki çözümlerin çoğunluğunda en iyi bilgi değerine (TB) 150 farklı çözüm üretilerek ulaşılabilmektedir. Bazı çözümlerde ise Şekil 16'da görüldüğü gibi bütün tekrar değerlerinde aynı bilgi değeri elde edilmiştir. Şekil 17'de görüldüğü gibi en iyi bilgi değerine 200 farklı çözüm üretilerek de ulaşılabilmektedir. Sonuç olarak, 200 farklı

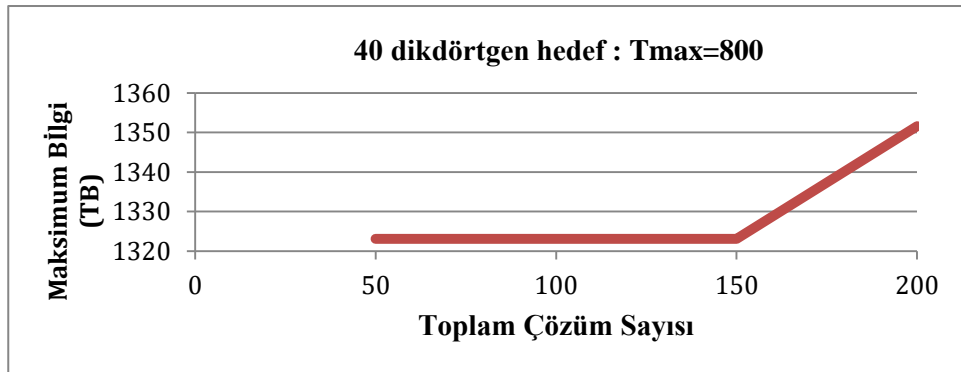
tekrarla daha iyi çözümler elde edilse bile, test problemlerimizde 150 tekrarla elde edilen çözümlerin kullanımı yeterli olmuştur.



Şekil 15. 20 dikdörtgen hedef $T_{max}=400$ değeri için farklı tekrar sayılarında bulunan bilgi değerleri



Şekil 16. 20 dikdörtgen hedef $T_{max}=800$ değeri için farklı tekrar sayılarında bulunan en iyi bilgi değeri



Şekil 17. 40 dikdörtgen hedef $T_{max}=800$ değeri için farklı tekrar sayılarında bulunan en iyi bilgi değerleri

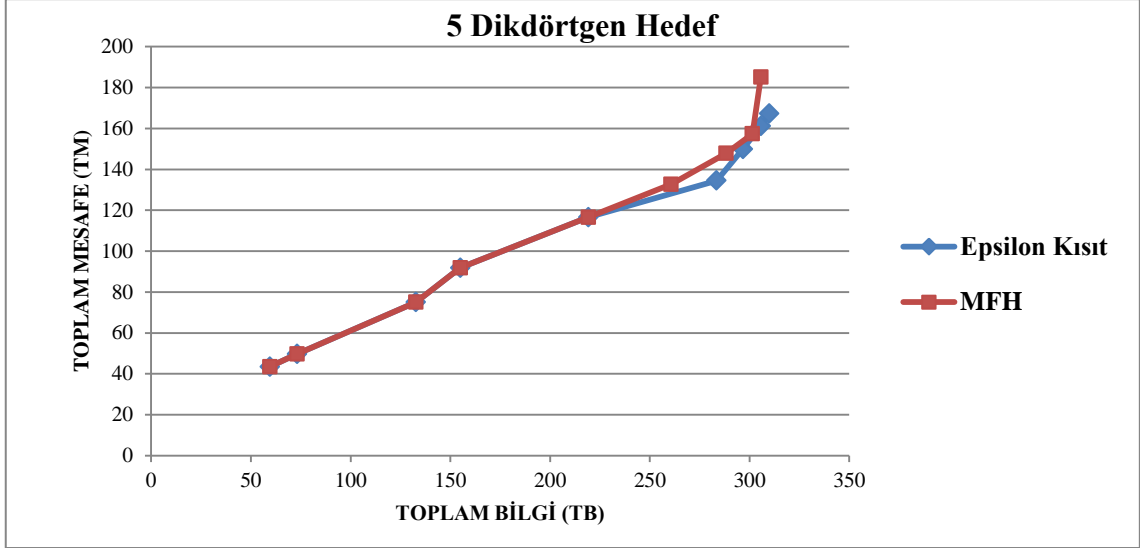
5 Dikdörtgen Hedef:

Farklı uçuş mesafe değerleri için (T_{max}), epsilon kısıt yöntemi ve MFH algoritmasının 5 adet dikdörtgen hedef üzerinde uygulanması sonucu elde edilen çözümler ve CPU değerleri aşağıdaki Çizelge 3'te gösterilmiştir. Çözüm uzayı ise Şekil 18'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Test problemlerinde 5 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler

T_{max}	EPSİLON KISIT			MFH			FARK	
	TB	TM	CPU		TB	TM		CPU
200	309,96	167,25	0,04 s	1*	305,71	185,08	0,71 s	1,37%
				2*	301,46	169,85	0,64 s	2,74%
167	305,71	161,23	0,04 s	1*	301,46	157,35	0,55 s	1,39%
				2*	292,46	161,78	0,69 s	4,33%
150	296,71	149,90	0,05 s	1*	288,21	147,82	0,69 s	2,86%
				2*	271,46	149,91	0,56 s	8,51%
140	283,46	134,53	0,05 s	1*	237,96	135,33	0,53 s	16,05%
				2*	260,71	132,70	0,60 s	8,03%
120	219,22	116,57	0,57 s	1*	213,22	119,84	0,52 s	2,74%
				2*	219,22	116,57	0,66 s	0,00%
100	154,98	91,84	0,83 s	1*	154,98	91,84	0,54 s	0,00%
				2*				
75	132,73	74,99	0,04 s	1*	132,73	74,99	0,52 s	0,00%
				2*				
50	73,24	49,74	0,04 s	1*	73,24	49,74	0,58 s	0,00%
				2*				
44	59,49	43,49	0,03 s	1*	59,49	43,49	0,34 s	0,00%
				2*				

MFH çözüm sütununda: 1* ile işaretlenenler $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir. 2* ile işaretlenenler $\alpha=0,6$ $\beta=0,1$ $\gamma=0,2$ $\theta=0,1$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir.



Şekil 18. Çözüm uzayı – 5 dikdörtgen hedef

Çizelge 3 ve Şekil 18’de görüldüğü üzere farklı T_{max} değerlerinde epsilon kısıt yöntemi ile optimal çözümler elde edilmiştir. Fark sütununda, MFH algoritmasının bilgi değerleri (TB) ile epsilon kısıt yöntemi bilgi değeri (TB) arasındaki farkın optimal çözüme oranı yüzde olarak gösterilmiştir. MFH algoritması ile T_{max} için 200-140 aralığındaki değerlerde optimale yakın çözümler elde edilmiştir. T_{max} için 120-44 değerleri arasında ise MFH algoritması ve epsilon kısıt yöntemi ile optimal çözümler bulunmuştur. CPU süreleri incelendiğinde epsilon kısıt yöntemi ile bulunan çözüm süreleri daha iyi olmasına rağmen, MFH algoritmasının epsilon kısıta yakın makul sürelerde çözüm bulabildiği görülmüştür.

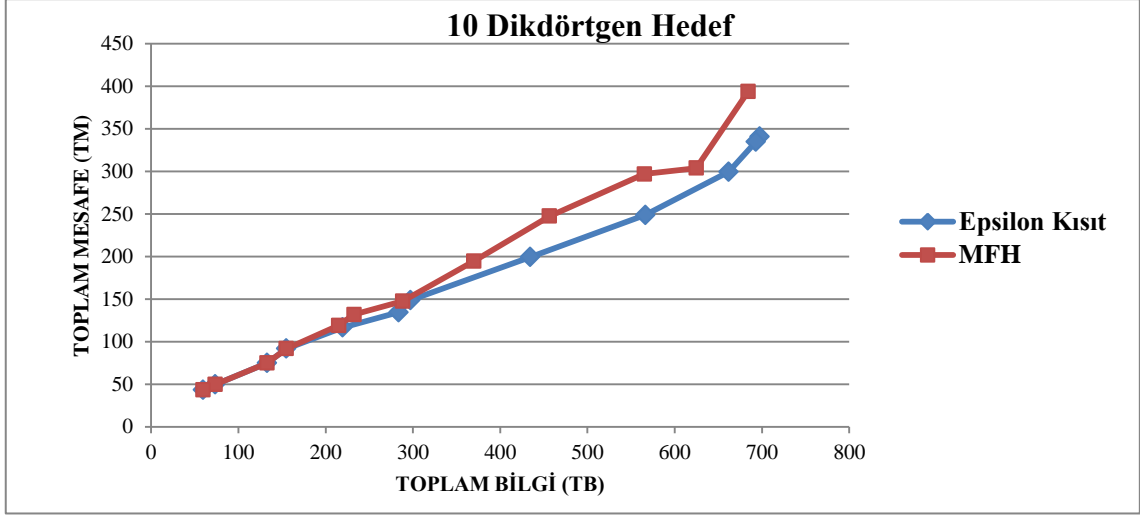
10 Dikdörtgen Hedef:

Farklı uçuş mesafe değerleri için (T_{max}), epsilon kısıt yöntemi ve MFH algoritmasının 10 adet dikdörtgen hedef üzerinde uygulanması sonucu elde edilen çözümler ve CPU değerleri aşağıdaki Çizelge 4’te gösterilmiştir. Çözüm uzayı ise Şekil 19’da sunulmuştur.

Çizelge 4. Test problemlerinde 10 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler

T_{max}	EPSILON KISIT			MFH			FARK	
	TB	TM	CPU		TB	TM		CPU
500	697,41	340,72	0,07 s	1*	684,16	393,67	1,41 s	1,90%
				2*	666,66	360,33	1,32 s	4,41%
340	693,16	334,95	0,38 s	1*	624,66	303,79	1,33 s	9,88%
				2*	622,92	308,57	1,46 s	10,13%
300	661,91	299,49	0,47 s	1*	565,18	296,85	1,52 s	14,61%
				2*	551,92	297,03	1,32 s	16,62%
250	566,42	248,80	0,17 s	1*	447,44	222,82	1,36 s	21,01%
				2*	456,44	247,53	1,39 s	19,42%
200	434,19	199,43	0,96 s	1*	369,95	194,66	1,14 s	14,80%
				2*	356,70	199,37	1,11 s	17,85%
150	297,21	148,80	3,59 s	1*	288,46	147,71	1,00 s	2,94%
				2*	255,96	146,03	1,06 s	13,88%
140	283,46	134,53	1,16 s	1*	232,47	131,91	1,05 s	17,99%
				2*	228,22	134,47	1,00 s	19,49%
120	219,22	116,57	2,82 s	1*	214,97	119,03	0,96 s	1,94%
				2*	205,97	118,11	0,97 s	6,04%
100	154,98	91,84	4,14 s	1*	154,98	91,84	0,90 s	0,00%
				2*				
75	132,73	74,99	0,22 s	1*	132,73	74,99	0,76 s	0,00%
				2*				
50	73,24	49,74	0,04 s	1*	73,24	49,74	0,66 s	0,00%
				2*				
44	59,44	43,49	0,13 s	1*	59,44	43,49	0,58 s	0,00%
				2*				

MFH çözüm sütununda: 1* ile işaretlenenler $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir. 2* ile işaretlenenler $\alpha=0,6$ $\beta=0,1$ $\gamma=0,2$ $\theta=0,1$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir.



Şekil 19. Çözüm uzayı – 10 dikdörtgen hedef

Çizelge 4’de ve Şekil 19’da görüldüğü üzere farklı T_{max} değerlerinde epsilon kısıt yöntemi ile optimal çözümler elde edilmiştir. Fark sütununda, MFH algoritmasının bilgi değerleri (TB) ile epsilon kısıt yöntemi bilgi değeri (TB) arasındaki farkın optimal çözüme oranı yüzde olarak gösterilmiştir. MFH algoritması ile $T_{max} = 500$ ve 120 için optimale yakın çözüm elde edilmiştir. T_{max} 100, 75, 50 ve 44 değerlerinde ise MFH algoritması ve epsilon kısıt yönteminde optimal çözümler bulunmuştur. CPU süreleri incelendiğinde, epsilon kısıt yöntemi ile bulunan çoğu çözüm süresinin daha iyi olmasına rağmen, MFH algoritması T_{max} 150, 140, 120 ve 100 değerlerinde, epsilon kısıt yöntemine göre daha kısa sürede çözümler bulmuştur.

20 Dikdörtgen Hedef:

Farklı uçuş mesafe değerleri için (T_{max}), epsilon kısıt yöntemi ve MFH algoritmasının 20 adet dikdörtgen hedef üzerinde uygulanması sonucu elde edilen çözümler ve CPU değerleri aşağıdaki Çizelge 5’te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Test problemlerinde 20 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler

T_{max}	EPSİLON KISIT			MFH			FARK	
	TB	TM	CPU		TB	TM		CPU
1000	1472,31	654,20	4,89 s	1*	1408,61	875,34	4,34 s	4,33%
				2*	1396,81	892,85	4,13 s	5,13%
800	1472,31	654,20	7,16 s	1*	1349,11	731,09	4,25 s	8,37%
				2*	1346,11	749,39	4,78 s	8,57%
600	1424,07	596,41	23,43 dk	1*	1030,11	599,62	3,81 s	27,66%
				2*	965,86	586,24	3,97 s	32,18%
500	1228,34	499,56	1,91 dk	1*	861,80	499,25	3,58 s	29,84%
				2*	855,88	486,70	3,63 s	30,32%
400	976,11	399,79	13,12 dk	1*	709,90	352,20	3,32 s	27,27%
				2*	698,65	383,53	3,39 s	28,43%
300	717,15	298,93	2,04 dk	1*	550,92	298,94	3,09 s	23,18%
				2*	529,68	292,15	2,85 s	26,14%
250	554,93	248,43	1,11 dk	1*	452,19	248,36	2,58 s	18,51%
				2*	447,44	249,6	2,41 s	19,37%
200	438,44	197,96	2,76 dk	1*	351,95	197,97	2,36 s	19,73%
				2*	365,20	171,55	2,24 s	16,70%
150	300,96	149,01	6,73 dk	1*	269,71	149,22	1,88 s	10,38%
				2*	283,46	138,35	1,73 s	5,81%
140	287,71	133,65	0,58 dk	1*	228,22	139,79	1,75 s	20,68%
				2*	228,22	139,79	1,69 s	
120	219,22	116,57	0,44 dk	1*	219,22	116,57	1,51 s	0,00%
				2*	201,22	119,66	1,45 s	8,21%
100	154,98	91,84	1,72 dk	1*	154,98	91,84	1,46 s	0,00%
				2*				
75	132,73	74,99	0,50 s	1*	132,73	74,99	1,11 s	0,00%
				2*				

MFH çözüm sütununda: 1* ile işaretlenenler $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir. 2* ile işaretlenenler $\alpha=0,6$ $\beta=0,1$ $\gamma=0,2$ $\theta=0,1$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir.

Farklı T_{max} değerlerinde epsilon kısıt yöntemi ile optimal çözümler elde edilmiştir. Fark sütununda, MFH algoritmasının bilgi değerleri (TB) ile epsilon kısıt yöntemi bilgi değeri (TB) arasındaki farkın optimal çözüme oranı yüzde olarak gösterilmiştir. MFH algoritması ile $T_{max} = 1000, 800$ ve 150 için optimale yakın çözüm elde edilmiştir. $T_{max} 120, 100$ ve 75 değerlerinde MFH algoritması ve epsilon kısıt yönteminde optimal

çözümler bulunmuştur. CPU süreleri incelendiğinde, MFH algoritması, $T_{max} = 75$ haricindeki tüm değerlerinde epsilon kısıt yöntemine göre daha kısa sürede çözümler bulmuştur.

40 Dikdörtgen Hedef:

Farklı uçuş mesafe değerleri için (T_{max}), epsilon kısıt yöntemi ve MFH algoritmasının 40 adet dikdörtgen hedef üzerinde uygulanması sonucu elde edilen çözümler ve CPU değerleri aşağıdaki Çizelge 6’da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Test problemlerinde 40 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler

T_{max}	EPSİLON KISIT				MFH				FARK
	TB	TM	CPU	GAP		TB	TM	CPU	
5000	3022,11	1279,19	15 dk	0,01%	1*	2876,40	1874,70	8,12 s	4,82%
					2*	2824,60	1933,01	7,78 s	6,54%
3000	3022,11	1278,38	1,18 sa	Optimal	1*	2867,40	1894,40	7,80 s	5,12%
					2*	2853,40	1952,20	7,72 s	5,58%
2000	3022,11	1278,38	15 dk	0,01%	1*	2862,60	1887,40	9,62 s	5,28%
					2*	2853,90	1868,20	8,57 s	5,57%
1200	2942,39	1197,24	15 dk	1,30%	1*	2001,80	1199,10	8,77 s	31,97%
					2*	1915,30	1188,40	8,44 s	34,91%
1000	2544,41	998,51	15 dk	1,70%	1*	1626,51	989,29	8,88 s	36,08%
					2*	1543,50	985,02	8,65 s	39,34%
800	2061,47	799,31	15 dk	1,10%	1*	1323,10	755,80	8,04 s	35,82%
					2*	1343,60	785,73	7,09 s	34,82%
600	1533,03	599,55	15 dk	1,90%	1*	1021,10	591,67	7,34 s	33,39%
					2*	997,11	591,45	7,22 s	34,96%
500	1215,83	499,99	15 dk	6,70%	1*	861,38	453,51	6,98 s	29,15%
					2*	875,64	488,86	6,88 s	27,98%
400	899,64	397,40	15 dk	14,60%	1*	690,15	354,43	6,72 s	23,29%
					2*	678,15	399,21	6,63 s	24,62%
300	666,66	296,43	15 dk	14,00%	1*	550,17	265,15	4,73s	17,47%
					2*	497,93	267,55	4,56 s	25,31%
250	525,44	244,84	15 dk	18,90%	1*	438,44	245,46	4,54 s	16,56%
					2*	436,69	217,36	4,35 s	16,89%
200	420,44	192,54	15 dk	14,90%	1*	360,95	187,46	4,32 s	14,15%
					2*	354,45	188,50	4,43 s	15,70%

150	291,96	140,95	15 dk	17,90%	1*	269,71	149,22	2,97 s	7,62%
					2*	255,96	148,65	2,82 s	12,33%
120	219,22	116,91	15 dk	10,60%	1*	219,22	116,57	2,50 s	0,00%
					2*				
100	154,98	91,84	15 dk	25,60%	1*	154,98	91,84	3,28 s	0,00%
					2*				
75	132,73	74,99	4,54 s	Optimal	1*	132,73	74,99	2,19 s	0,00%
					2*				

MFH çözüm sütununda: 1* ile işaretlenenler $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir. 2* ile işaretlenenler $\alpha=0,6$ $\beta=0,1$ $\gamma=0,2$ $\theta=0,1$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir.

Bu test adımında, epsilon kısıt yöntemi çözümlerini elde etmek için yöntem belirli bir sürede çalıştırılmış ve sonlandırılmıştır. Bu nedenle, Çizelge 5'te epsilon kısıt çözümlerinin bulunduğu sütuna bir sütun eklenmiştir. Bu sütunda, epsilon kısıt yöntemi çözümlerinin optimal olarak veya belirli bir fark (GAP) ile sonlandığı bilgisi tutulmuştur. Fark sütununda, MFH algoritmasının bilgi değerleri (TB) ile epsilon kısıt yöntemi bilgi değeri (TB) arasındaki farkın optimal çözüme oranı yüzde olarak gösterilmiştir. MFH algoritması T_{max} 5000, 3000, 2000 ve 150 değerlerinde optimale yakın çözüm elde edilmiştir. T_{max} 75 değeri için MFH algoritması ile epsilon kısıt yöntemi optimal çözüm bulmuştur. CPU süreleri incelendiğinde, MFH algoritması, tüm T_{max} değerlerinde epsilon kısıt yöntemine göre daha kısa sürede çözümler bulmuştur.

60 Dikdörtgen Hedef:

Farklı uçuş mesafe değerleri için (T_{max}), epsilon kısıt yöntemi ve MFH algoritmasının 60 adet dikdörtgen hedef üzerinde uygulanması sonucu elde edilen çözümler ve CPU değerleri aşağıdaki Çizelge 7'de gösterilmiştir.

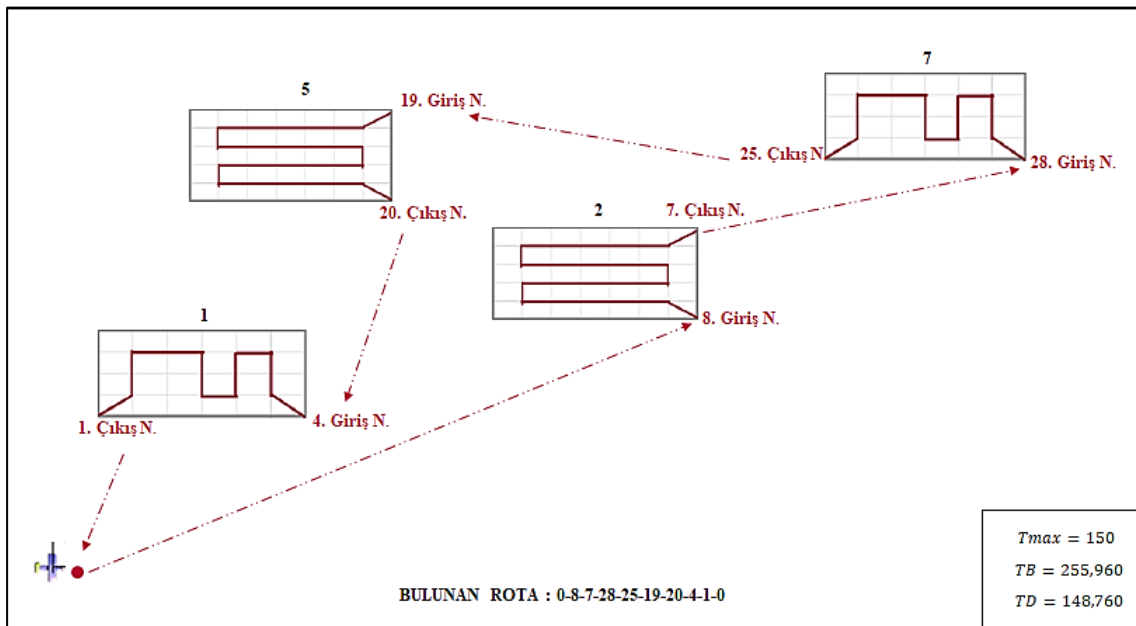
Çizelge 7. Test problemlerinde 60 dikdörtgen hedef için elde edilen çözümler

T_{max}	EPSİLON KISIT				MFH				FARK
	TB	TM	CPU	GAP		TB	TM	CPU	
10000	4571,91	1922,34	10 sa	0,01%	1*	4312,40	3087,70	15,52 s	5,68%
					2*	4278,01	3027,70	15,46 s	6,43%
5000	4571,91	1931,83	15 dk	0,01%	1*	4320,70	3083,60	15,18 s	5,49%
					2*	4282,70	3388,40	15,98 s	6,33%
3000	4571,91	1933,88	15 dk	0,01%	1*	4288,40	2859,40	16,71 s	6,20%
					2*	4195,01	2886,50	16,87 s	8,24%
2000	4571,91	1930,43	15 dk	0,01%	1*	2870,90	1972,50	16,43 s	37,21%
					2*	2745,40	1998,60	15,02 s	39,95%
1500	3719,76	1498,57	15 dk	5,40%	1*	2309,70	1494,20	14,03 s	37,91%
					2*	2200,20	1441,30	12,04 s	40,85%
1200	3000,85	1198,86	15 dk	5,20%	1*	1901,50	1192,80	13,03 s	36,63%
					2*	1810,80	1133,60	12,05 s	39,66%
1000	2576,16	999,23	15 dk	2,30%	1*	1660,80	983,89	12,22 s	35,53%
					2*	1510,80	942,18	11,21 s	41,35%
800	1997,73	799,78	15 dk	5,40%	1*	1337,60	798,41	11,27s	33,04%
					2*	1247,10	794,21	10,50 s	37,57%
750	1811,75	745,79	15 dk	8,90%	1*	1252,80	746,52	10,65 s	30,85%
					2*	1223,30	726,12	10,36 s	32,48%
700	1629,03	691,64	15 dk	13,00%	1*	1209,80	685,08	9,26 s	25,73%
					2*	1113,10	688,27	9,87 s	31,67%
600	1291,34	599,38	15 dk	21,80%	1*	1025,40	587,98	9,54 s	20,59%
					2*	961,11	578,92	9,18 s	25,57%
500	1155,09	498,59	15 dk	13,00%	1*	869,64	483,56	8,91 s	24,71%
					2*	816,38	492,31	8,42 s	29,32%
450	1021,11	449,52	15 dk	14,20%	1*	806,64	448,97	8,54 s	21,00%
					2*	726,15	427,72	7,93 s	28,89%
400	877,89	391,34	15 dk	18,20%	1*	713,65	394,52	7,61 s	18,71%
					2*	679,90	398,44	7,17 s	22,55%
350	812,64	348,27	15 dk	10,40%	1*	627,16	325,86	8,01 s	22,82%
					2*	570,67	316,43	7,25 s	29,78%
300	456,44	297,88	15 dk	68,20%	1*	530,42	269,83	6,08 s	-16,21%
					2*	506,93	294,26	7,14 s	-11,06%
250	411,44	249,95	15 dk	53,90%	1*	438,94	241,36	6,94 s	-6,68%
					2*	416,19	216,35	6,02 s	-1,15%
200	420,95	198,56	15 dk	16,70%	1*	351,95	164,65	6,26 s	16,39%
					2*	342,95	164,33	5,03 s	18,53%

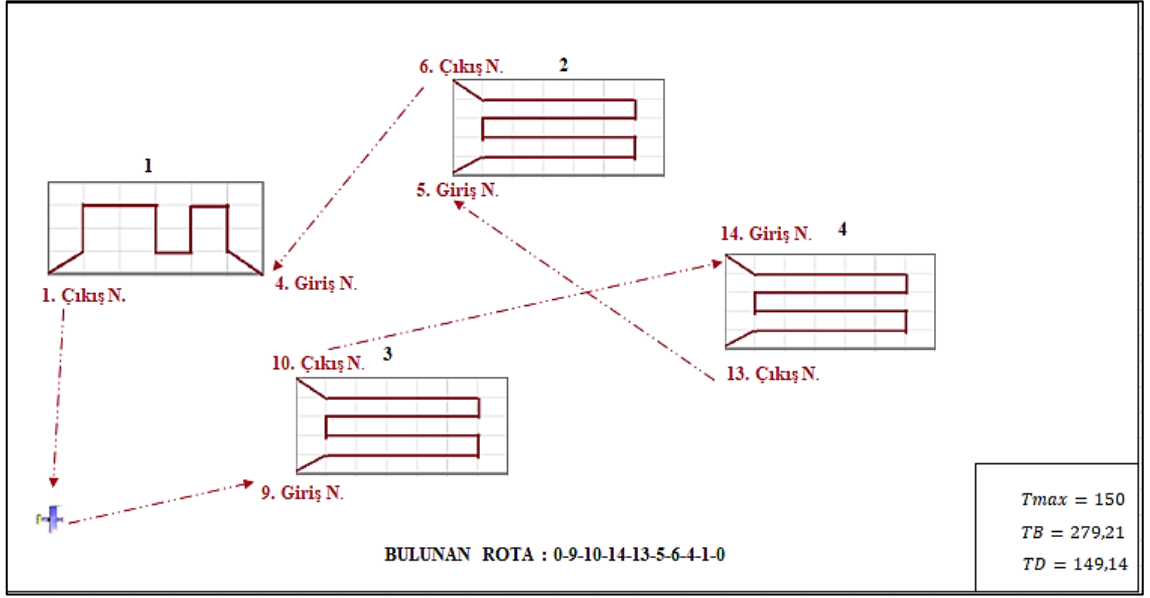
150	255,96	148,76	15 dk	37,00%	1*	279,21	149,14	5,53 s	-9,08%
					2*	269,71	148,77	4,94 s	-5,37%
140	228,22	130,97	15 dk	42,10%	1*	260,71	139,50	5,50 s	-14,24%
					2*	228,22	129,91	4,56 s	0,00%
120	219,22	118,08	15 dk	14,80%	1*	213,22	117,06	4,86 s	2,74%
					2*	219,22	116,57	3,70 s	0,00%
100	154,98	91,84	15 dk	28,50%	1*	154,98	91,84	4,40 s	0,00%
					2*				
75	132,73	74,99	10,39s	Optimal	1*	132,73	74,99	3,76 s	0,00%
					2*				

MFH çözüm sütununda: 1* ile işaretlenenler $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir. 2* ile işaretlenenler $\alpha=0,6$ $\beta=0,1$ $\gamma=0,2$ $\theta=0,1$ ağırlık katsayıları ile bulunan çözümlerdir.

Çizelge 7’de epsilon kısıt yönteminin belirli %GAP değerleri ile bulduğu çözümler sunulmuştur. MFH algoritması $T_{max} = 75,100$ ve 120 değerlerinde optimal çözümler makul sürede çözebilmiştir. Fark sütununda, MFH algoritmasının bilgi değerleri (TB) ile epsilon kısıt yöntemi bilgi değeri (TB) arasındaki farkın optimal çözüme oranı yüzde olarak gösterilmiştir. MFH algoritması T_{max} 300, 250, 150 ve 140 değerlerinde, epsilon kısıt yöntemine göre daha kısa sürede daha iyi çözümlere ulaşabilmiştir. MFH algoritmasının büyük T_{max} değerlerinde (10000, 5000 ve 3000) optimale yakın çözüm elde edilmiştir.



Şekil 20. 60 adet dikdörtgen hedefte, $T_{max}=150$ için epsilon kısıt yönteminde 37% GAP ile bulunan çözüm



Şekil 21. 60 adet dikdörtgen hedefte, $T_{max}=150$ için $\alpha=0,5$ $\beta=0$ $\gamma=0,5$ $\theta=0$ katsayıları ile MFH yönteminde bulunan çözüm

60 adet dikdörtgen hedefte, $T_{max}=150$ için Şekil 20 ve Şekil 21’de gösterildiği gibi rotalar bulunmuştur. MFH algoritması, Epsilon kısıt yöntemine göre daha kısa sürede (5,53 saniyede) uygun bir çözüm bulmuştur.

Sonuç olarak bu bölümde, bir hava aracı için görev planlaması problemimizin çözümleri için probleme özgü geliştirdiğimiz epsilon kısıt yöntemi ve MFH algoritması 5, 10, 20, 40 ve 60 adet dikdörtgen hedef üzerinde uygulanmıştır. Test problemlerinde bulunan fark değerleri, probleme ve T_{max} değerlerine göre değişiklik göstermektedir. Küçük problemlerde optimal ve optimale yakın çözümler MFH yöntemi ile hızlıca bulunabilmektedir. Ama büyük boyutlu problemlerde ve özellikle büyük T_{max} değerlerinde fark değerleri fazla bulunmuştur. MFH algoritmasının çözüm süresi, problem boyutuyla beraber doğrusal olarak artmaktadır. Epsilon kısıt yönteminin ise büyük boyutlu problemlerde çözüm süresi oldukça uzamıştır.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, bir hava aracı için birden çok hedef bölgenin gezilip bilgi toplanacağı çok amaçlı görev planlaması problemi ele alınmıştır. Birbiriyle çelişen iki amaç gözetilmiştir. Bunlardan ilki, hava aracının dikdörtgen hedefleri ziyaret ederken, hedef içerisindeki ve hedefler arasında kat edeceği toplam mesafenin minimize edilmesidir. İkincisi ise hava aracının hedefleri ziyaret ederken toplayacağı toplam bilginin maksimize edilmesidir.

Problemin matematiksel modeli geliştirildikten sonra kesin çözümü için değiştirilmiş epsilon kısıt yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle hava aracı için, farklı uçuş sürelerinde (T_{max}) hedeflerden elde edilebileceği maksimum bilgi değerleri bulunabilmektedir. Ayrıca, problemin büyük boyutlu problemlere hızlı çözüm bulmak adına MFH algoritması probleme uyarlanmıştır. Algoritmada hava aracının ziyaret edeceği dikdörtgen hedeflerin köşe noktaları (giriş-çıkış) düğümler olarak ele alınmıştır. Belirli uçuş mesafe kısıtı (T_{max}) değerinde, ilgili giriş-çıkış düğümleri seçilerek hava aracının maksimum bilgi elde edeceği uygun rotalar oluşturulmuştur.

Problemin çözümü için geliştirilen bu iki yöntem farklı boyuttaki test problemleri üzerinde uygulanmıştır. Bu problemlerde, kenar uzunlukları 5x7 km olan 5, 10, 20, 40 ve 60 dikdörtgen-hedef, alan üzerine rastgele yerleştirilmiştir. Genel olarak, MFH algoritması küçük boyutlu problemlerde yüksek T_{max} değerlerinde, epsilon kısıt yöntemi ile bulunan optimum çözümlere yakın çözümler, düşük T_{max} değerlerinde ise etkin çözümleri bulmuştur. Büyük boyutlu problemlerde, epsilon kısıt yönteminin optimal çözüm bulma süreleri oldukça uzamıştır. MFH algoritması ise makul sürelerde çözümler bulabilmiştir. Bazı T_{max} değerlerinde ise, epsilon kısıt yöntemine göre daha kısa sürede etkin çözümlere ulaşabilmiştir. Genel olarak, epsilon kısıt yöntemine göre MFH algoritmasının bulduğu çözümler arasındaki fark çok küçük ve çok büyük T_{max} değerlerinde daha az, ara T_{max} değerlerinde ise daha fazladır. Tüm sonuçlara bakıldığında, zaman kısıtı bulunan durumlarda, MFH algoritması kullanılarak uygun bir çözüm bulunabileceği, zaman kısıtı bulunmayan durumlarda ise problemin kesin yöntem ile çözülebileceği söylenebilir.

Bu problemde geliştirilen yöntemler, gerçek hayattaki askeri ve sivil alandaki görev planlama faaliyetlerine uygulanabilir. Hava araçlarının yakıt kısıtı, hayati tehlike vb. nedeniyle belirli süre kısıtları altında uçuş yapmaları gerekebilir. Bu durumlarda, sunulan bu çözüm yöntemleri sonucu elde edilen bilgilerle görevler başarıyla sonuçlanabilir. Geliştirilen yöntemler, farklı uygulama alanları için farklı amaç fonksiyonları ve kısıtlar ile değiştirilebilir, probleme özgü parametre ve algoritma adımları eklenebilir.

Gelecekte, algoritmaya elde edilen rotaları iyileştirme basamağı eklenerek algoritma güncellenebilir ve fark değerleri düşürülebilir. Ayrıca çalışma çok amaçlı oryantiring problemlerinin farklı versiyonları için geliştirilebilir. Farklı meta-sezgisel yöntemler probleme uyarlanabilir. Birden fazla İHA aracı için yöntemlerimiz geliştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

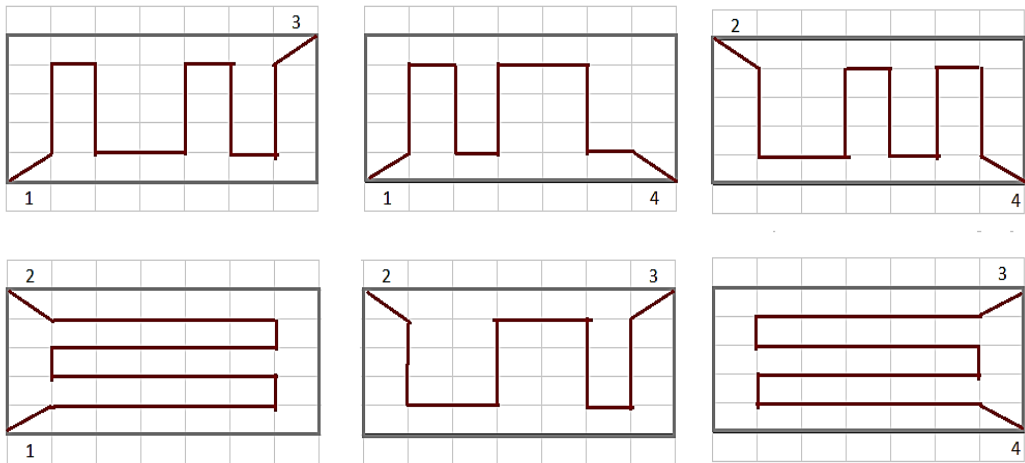
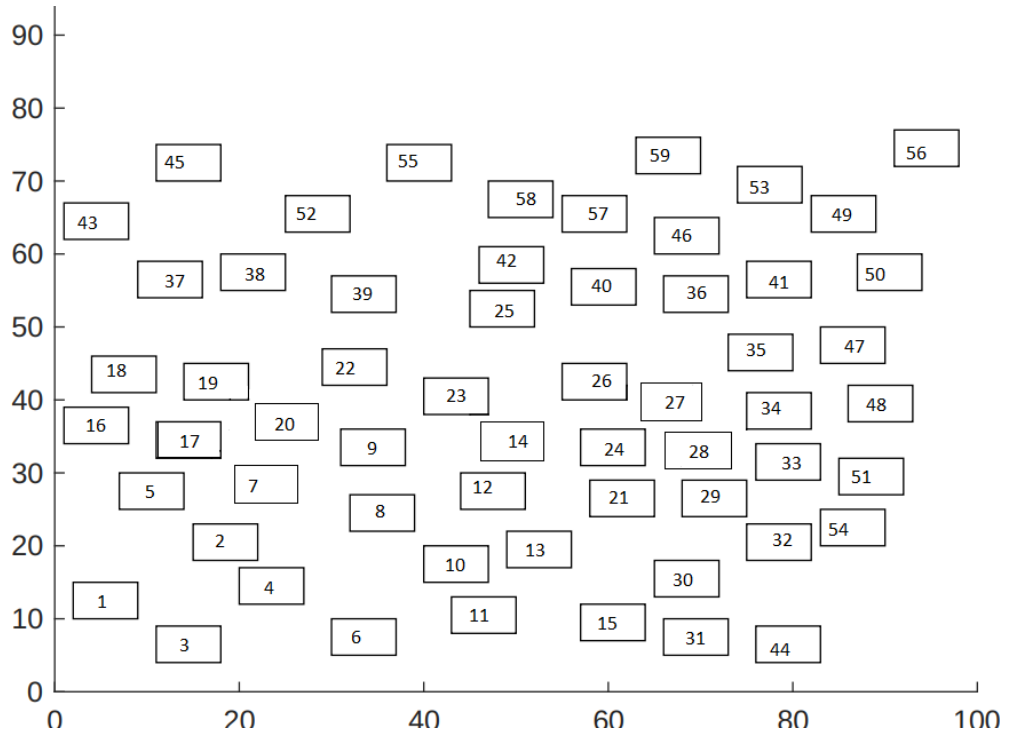
- [1] G. Maraş, O. Karasakal, E. Karasakal, "Multiobjective aerial surveillance over disjoint rectangles" *Computers & Industrial Engineering*, vol. 148, **2020**.
- [2] O. Karasakal, "Minisum and maximin aerial surveillance over disjoint rectangles", *TOP*, vol. 24, pp. 705-724, **2016**.
- [3] D. Panton, M. John, K. White, "Mission planning for regional surveillance" vol. 108, pp. 157-173, **2001**.
- [4] K. Ng, N. Sancho, "Regional surveillance of disjoint rectangles: A travelling salesman formulation", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 60, pp. 215-220, **2009**.
- [5] Y. Wang, T. Kirubarajan, R. Tharmarasa, R. Zargani, N. Kashyap, "Multiperiod coverage path planning and scheduling for airborne surveillance", vol. 54, pp. 2257-2273, **2018**.
- [6] Y. Zuo, R. Tharmarasa, R. Zargani, N. Kashyap, J. Thiyagalingam, T. Kirubarajan, "MILP formulation for aircraft path planning in persistent", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 56, pp. 3796-3811, **2020**.
- [7] K. Tarakçı, "Vehicle routing for aerial surveillance with a homogeneous fleet", The Degree of Master of Science in Industrial Engineering, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, **2021**.
- [8] T. Tsiligirides, "Heuristic methods applied to orienteering", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 35, pp. 797-809, **1984**.
- [9] B. L. Golden, L. Levy, R. Vohra, "The orienteering problem", *Naval Research Logistics*, vol. 34, pp. 307 - 318, **1987**.
- [10] B. Golden, Q. Wang, L. Liu, "A multifaceted heuristic for the orienteering problem", *Naval Research Logistics*, vol. 35, pp. 359-366, **1988**.

- [11] G. Laporte, S. Martello, “The selective travelling salesman problem”, *Discrete Applied Mathematics*, vol. 26, pp. 193-207, **1990**.
- [12] P. Sökkappa, “The cost-constrained traveling salesman problem”, The Degree of Doctor of Philosophy, Stanford University, **1990**.
- [13] G. Kantor, M. Rosenwein, “The orienteering problem with time windows”, *Journal of Operational Research Society*, vol. 43, pp. 629-635, **1992**.
- [14] R. Ramesh, Y. Yoon, M. Karwan, “An optimal algorithm for the orienteering tour problem”, *ORSA Journal on Computing*, vol. 4, **1992**.
- [15] I. Chao, B. L. Golden, E. Wasil, “The team orienteering problem”, *European Journal of Operational Research*, vol. 88, pp. 464-474, **1996**.
- [16] W. Souffriau, P. Vansteenwegen, J. Vertommen, B. G. Vanden, D. Van Oudheusden, “A Personalised tourist trip design algorithm for mobile tourist guides”, *Applied Artificial Intelligence*, vol. 22, pp. 964-985, **2008**.
- [17] T. İlhan, S. B. Iravani, M. S. Daskin, “The orienteering problem with stochastic profits”, *IIE Transactions*, vol. 40, pp. 406-421, **2008**.
- [18] M. Schilde, K. F. Doerner, R. F. Hartl, G. Kiechle, “Metaheuristics for the bi-objective orienteering problem”, *Swarm Intelligence*, vol. 3, pp. 179-201, **2009**.
- [19] H. M. Afsar, N. Labadie, “Team orienteering problem with decreasing profits”, *Electronics Notes in Discrete Mathematics*, vol. 41, pp. 285-293, **2013**.
- [20] M. Özdemir, M. Can, “The team orienteering problem with time windows by using artificial bee colony algorithm”, 15th Iseos Proceedings Book, **2014**.
- [21] M. Fathi, W. Hu, P. M. Pardalos, “A multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition and constraint programming for the multi-objective team orienteering problem with time windows”, *Applied Soft Computing Journal*, vol. 7, pp. 383-393, **2018**.
- [22] C. Archetti, F. Carrabs, R. Cerulli, “The set orienteering problem”, *European Journal of Operational Research*, vol. 267, pp. 264-272, **2018**.

- [23] H. Bederina, M. Hifi, “A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for the team orienteering problem”, *4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies*, Barcelona, Spain, **2017**.
- [24] H. Rezki, B. Aghezzaf, “The bi-objective orienteering problem with budget constraint :GRASP_ILS”, *2017 International Colloquium on Logistics and Supply*, Rabat, Fas, **2017**.
- [25] G. Jiansheng, J. Wang, Z. Mingfa, W. Zutong, L. Zhengxin, “Uncertain multiobjective orienteering problem and its application to UAV reconnaissance mission planning”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 34, pp. 2287-2299, **2018**.
- [26] I. Hapsari, I. Surjandari, K. Komarudin, “Solving multi-objective team orienteering problem with time windows using adjustment iterated local search”, *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 15, pp. 679-693, **2019**.
- [27] B. Bişkin, “*Heuristic approaches for the multi-objective routing problem for a fleet of unmanned aerial vehicles*”, The Degree of Master of Science in Industrial Engineering, The Graduate School of Engineering of Hacettepe University, Ankara, **2019**.
- [28] S. Saeedvand, H. S. Aghdasi, J. Baltes, “Novel hybrid algorithm for team orienteering problem with time windows for rescue applications”, *Applied Soft Computing Journal*, vol. 96, **2020**.
- [29] J. Dutta, P. S. Barma, A. Mukherjee, S. Kar, T. De, “A multi-objective open set orienteering problem”, *Neural Computing and Applications*, vol. 32, pp. 13953-13969, **2020**.
- [30] E. Daşdemir, “*Unmanned air vehicle routing with multiple objectives*”, The Degree of Doctor of Philosophy in Industrial Engineering, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, **2021**.
- [31] M. Halat, Ö. Özkan, “The optimization of UAV routing problem with a genetic algorithm to observe the damages of possible Istanbul earthquake”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 27, pp. 187-198, **2021**.

- [32] W. Liu, R. Wang, T. Zhang, K. Li, W. Li, H. Ishibuchi, “Hybridization of evolutionary algorithm and deep reinforcement learning for multi-objective orienteering optimization”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, **2022**.
- [33] B. Lokman, “Çok amaçlı tamsayı programlama problemleri için temsili çözüm üreten yaklaşımların ve kalite ölçülerinin incelemesi” *Endüstri Mühendisliği*, 28, pp. 19-39, **2017**.
- [34] V. Changong, Y. Y. Haimes, “Multiobjective decision making: theory and methodology” *Noth-Holland Series in System Science and Engineering*, pp. 62-109, **1983**.

EK 2



EK 3

Çizelge 8. MFH algoritmasında farklı katsayılar ile bulunmuş çözümler

S/N	α	β	γ	θ	<i>TB</i>	<i>TM</i>
1	0,50	0,00	0,50	0,00	1693,30	979,80
2	0,60	0,00	0,40	0,00	1657,50	971,60
3	0,70	0,00	0,30	0,00	1656,01	998,25
4	0,50	0,10	0,40	0,00	1648,80	992,90
5	0,50	0,30	0,20	0,00	1646,01	996,91
6	1,00	0,00	0,00	0,00	1630,50	998,90
7	0,60	0,10	0,20	0,10	1627,01	986,60
8	0,80	0,00	0,20	0,00	1615,01	995,57
9	0,90	0,05	0,05	0,00	1609,01	953,47
10	0,90	0,00	0,10	0,00	1608,80	992,08
11	0,90	0,10	0,00	0,00	1591,30	990,90
12	0,50	0,10	0,30	0,10	1590,50	968,05
13	0,85	0,00	0,15	0,00	1589,10	993,25
14	0,70	0,10	0,10	0,10	1586,30	990,40
15	0,50	0,30	0,10	0,10	1586,10	996,60
16	0,80	0,10	0,10	0,00	1582,50	998,60
17	0,90	0,00	0,00	0,10	1578,80	992,88
18	0,70	0,10	0,20	0,00	1577,60	980,84
19	0,60	0,20	0,20	0,00	1574,30	961,45
20	0,70	0,20	0,10	0,00	1571,10	987,50
21	0,85	0,05	0,10	0,00	1569,30	962,12
22	0,85	0,00	0,10	0,05	1568,60	964,72
23	0,80	0,00	0,10	0,10	1556,60	995,70
24	0,90	0,00	0,05	0,05	1555,10	990,03
25	0,50	0,00	0,00	0,50	1545,50	991,27
26	0,50	0,50	0,00	0,00	1526,80	993,47
27	0,70	0,30	0,00	0,00	1521,80	964,70
28	0,80	0,20	0,00	0,00	1515,30	998,59
29	0,80	0,00	0,00	0,20	1504,01	998,46