



**ETKİN KEŞİF GÖZETLEME SİSTEMİ İÇİN KABLO GÜDÜMLÜ
BALONLAR VE İHA SİSTEMLERİNE YÖNELİK YER SEÇİMİ VE
ROTALAMA MODEL ÖNERİLERİ**

Nahit YILMAZ

**DOKTORA TEZİ
HAREKAT ARAŞTIRMASI ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2018

Nahit YILMAZ tarafından hazırlanan “ETKİN KEŞİF GÖZETLEME SİSTEMİ İÇİN KABLO GÜDÜMLÜ BALONLAR VE İHA SİSTEMLERİNE YÖNELİK YER SEÇİMİ VE ROTALAMA MODEL ÖNERİLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Harekat Araştırması Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Cevriye Temel GENCER

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. Serkan ERYILMAZ

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Atılım Üniversitesi

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

.....

Üye: Prof. Dr. Bilal TOKLU

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. Mehmet KABAK

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. Özkan BALI

Kara Kuvvetleri Komutanlığı

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 20/04/2018

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Nahit YILMAZ

20/04/2018

ETKİN KEŞİF GÖZETLEME SİSTEMİ İÇİN KABLO GÜDÜMLÜ BALONLAR VE İHA SİSTEMLERİNE YÖNELİK YER SEÇİMİ VE ROTALAMA MODEL

ÖNERİLERİ

(Doktora Tezi)

Nahit YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2018

ÖZET

Son yıllarda, Mili Güvenlik Kurulu tarafından keşif ve gözetleme faaliyetlerinde Kablo Güdümlü Balonlar (KGB) ve İHA sistemlerinin kullanımına yönelik kararlar alındığı bilinmektedir. Bu sistemlerin kullanımı öncesinde önemli bir planlama sürecine ihtiyaç vardır. Tez çalışmasında; etkin keşif ve gözetleme sürecinin teşkil edilmesi için KGB'lerin konuş yerlerini ve İHA sistemlerinin rota planını belirlemeye yönelik çeşitli modeller geliştirilmiştir. Keşif gözetleme görevinin KGB'ler ile sağlanması durumu için geliştirilen modellerde; sensör görüş yetenekleri ve arazi özellikleri dikkate alınarak, minimum maliyet ile maksimum alan kaplamasını sağlamak üzere "Küme Kaplama", "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri" ve "Amaç Programlama" yaklaşımları kullanılmıştır. İHA sistemlerinin kullanım durumu için ise; minimum rota uzunluğu ile tüm konumların gözleminin sağlanması hedeflenmiş, bu amaçla; "Klasik İHA Rotalama Modeli", sensör görüş yeteneklerinin rota sürecine dâhil edilmesini sağlayan "Birleşik Sensör Seçimi ve İHA Rotalama Modeli" ve iki aşamalı sezgisel bir algoritma olan "Sensör Kaplama ve Demon Algortması" sırasıyla kullanılmıştır. Son olarak, KGB sistemlerinin etkin olmaması durumunda İHA sistemleri ile desteklenmesini amaçlayan "Hibrit Keşif ve Gözetleme Modeli" önerilmiştir. Geliştirilen modeller Türkiye güney sınır hattı için oluşturulan bir senaryoda test edilmiştir. Test sonuçları; Güneydoğu sınır hattının coğrafi yapısı nedeniyle KGB kullanımına elverişli olmadığını ve bu bölgenin İHA'lar ile havadan keşfi yapılarak desteklenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bilim Kodu : 90620

Anahtar Kelimeler : Keşif ve gözetleme, sensör kaplama, iha rota optimizasyonu, demon algoritması, görüş analizi

Sayfa Adedi : 125

Danışman : Prof. Dr. Cevriye Temel GENCER

LOCATION SELECTION AND ROUTE OPTIMIZATION MODEL
PROPOSALS FOR TETHERED AEROSTATS AND UAV SYSTEMS FOR AN
EFFICIENT RECONNAISSANCE AND SURVEILLANCE SYSTEM

(Ph.D. Thesis)

Nahit YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2018

ABSTRACT

In recent years, it is known that the The National Security Council has made decisions regarding the use of Tethered Aerostats (TAs) and UAVs for the reconnaissance and surveillance activities. Prior to the use of these systems, an important planning process is needed. In this thesis, various models have been developed to determine the locations of TAs and the flight routes of UAVs in order to establish an effective surveillance and reconnaissance process. In the models developed for the case of using TAs; “Set Covering”, “Multi-Criteria Decision Making” and “Goal Programming” approaches have been used in order to provide the maximum coverage with minimum cost considering the sensor vision capabilities and the terrain features. For the use of UAVs, it is aimed to monitor entire locations with a minimum flight route length; for this purpose “Capacitated UAV Route Model”, “Integrated Sensor Selection and UAV Route Model” which incorporates sensor vision capabilities into the routing process and “Sensor Covering and Demon Algorithm” which is a two-step heuristic approach have been implemented respectively. Finally, a “Hybrid Reconnaissance and Surveillance System” is purposed, which aims to support TAs in case of ineffectiveness. The purposed models are tested in a scenario developed for Turkey’s south borderline. The test results show that the geographical structure of the Southeast border line of Turkey is not suitable for the use of TAs, and this zone should be supported by aerial exploration.

Bilim Kodu : 90620

Anahtar Kelimeler : Surveillance and reconnaissance, sensor covering, UAV route optimization, demon algorithm, viewshed analysis

Sayfa Adedi : 125

Danışman : Prof. Dr. Cevriye Temel GENCER

TEŞEKKÜR

Doktora çalıŐmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli danışmanım Prof.Dr.Cevriye Temel GENCER'e, tez izleme komitesi üyeleri Prof.Dr.Serkan ERYILMAZ ve Doç.Dr.Özkan BALI'ye, tez savunma komitesi üyeleri Prof.Dr.Bilal TOKLU ve Doç.Dr.Mehmet KABAK'a, manevi desteğiyle bana güç veren sevgili eŐim Selcan YILMAZ'a, varlığı ile beni hayata bağlayan sevgili kızım Gökçe Burla YILMAZ'a, beni yetiŐtirip büyüten aziz anne ve babama, doktora eğitimim sürecinde bana çalışma fırsatı sunan kıymetli amirlerim, sıralı komutanlarım ve mesai arkadaşlarıma teŐekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KEŞİF VE GÖZETLEME.....	5
2.1. Sınır Güvenliğinde Keşif Ve Gözetlemenin Önemi.....	5
2.2. Keşif Ve Gözetlemede Modern Sistemler.....	6
2.2.1. Kablo güdümlü keşif ve gözetleme balonları.....	6
2.2.2. İnsansız hava araçları.....	7
2.3. Ülkemizdeki KGB Ve İHA Teknolojilerinin Durumu.....	9
3. YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ.....	13
3.1. Problem Türleri.....	16
3.1.1. Deterministik modeller.....	18
3.1.2. Stokastik modeller.....	22
3.2. Yer Seçimi Problemlerine İlişkin Askeri Uygulamalar.....	23
4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ.....	25
4.1. Problem Türleri.....	26
4.1.1. Dinamik ve statik çevre durumuna göre ARP.....	26

	Sayfa
4.1.2. Rotalama durumuna göre ARP.....	27
4.1.3. Yolların durumuna göre ARP.....	27
4.1.4. Kısıtlarına göre ARP.....	28
4.2. Kapasite Kısıtlı ARP Çözüm Yöntemleri.....	31
4.2.1. Kesin çözüm yöntemleri.....	31
4.2.2. Sezgisel çözüm yöntemleri.....	32
4.3. İHA Rotalama Problemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	38
5. SINIR GÜVENLİĞİNİN KGB VE İHA'LAR İLE SAĞLANMASINA YÖNELİK MODEL ÖNERİLERİ.....	43
5.1. Sınır Güvenliğinin KGB'ler İle Sağlanması.....	43
5.1.1. Minimum maliyet ile tüm noktaların gözlemlenmesini sağlayan KGB sensör tipi ve yer seçimi: Model 1.....	43
5.1.2. Uzman görüşlerine göre maksimum uygunluk değeri veren KGB sensör tipi ve yer seçimi: Model 2.....	45
5.1.3. Amaç programlama yaklaşımı ile KGB'lerin yerleştirilmesi: Model 3.....	45
5.2. Sınır Güvenliğinin İHA'lar İle Sağlanması.....	48
5.2.1. Kapasiteli İHA rotalama modeli ile tüm konumların kaplanması: Model 4.....	48
5.2.2. Birleşik sensör seçimi ve İHA rotalama modeli ile tüm konumların kaplanması: Model 5.....	50
5.2.3. Sezgisel İHA rotalama algoritması ve karar destek sistemi: Model 6.....	54
5.3. Sınır Güvenliğinin Hibrit Sistemler İle Sağlanması: Model 7.....	57
6. MODEL UYGULAMALARI.....	59
6.1. KGB'lere İlişkin Model Uygulamaları.....	60
6.1.1. Model 1 uygulaması.....	60
6.1.2. Model 2 uygulaması	61

	Sayfa
6.1.3. Model 3 uygulaması	66
6.2. KGB Model Uygulamalarının CBS İle Analizi.....	69
6.3. İHA'lara İlişkin Model Uygulamaları.....	71
6.3.1. Model 4 uygulaması,.....	72
6.3.2. Model 5 uygulaması	74
6.3.3. Model 6 uygulaması	75
6.4 Model 7 Uygulaması	79
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	85
7.1. KGB, İHA Ve Hibrit Keşif Gözetleme Sistemine İlişkin Değerlendirmeler.....	86
7.2. İleriki Çalışmalar İçin Öneriler.....	89
KAYNAKLAR.....	91
EKLER.....	103
EK-1. Koordinat ve yükselti verileri.....	104
EK-2. Model 1'e ait GAMS kodu.....	107
EK-3. Alternatiflere İlişkin Değerlendirmeler.....	108
EK-4. Bulanık karar matrisi.....	110
EK-5. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi.....	113
EK-6. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi.....	116
EK-7. Pozitif ve negatif yakınlık katsayıları.....	119
EK-8. Model 2'ye ait GAMS kodu.....	120
EK-9. Model 3'e ait GAMS kodu.....	121
EK-10. Model 4'e ait GAMS kodu.....	122
EK-11. Model 5'e ait GAMS Kodu.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	124

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İHA'ların özelliklerine göre sınıflandırması.....	9
Çizelge 3.1. Önerilen çözümler ve karmaşıklık seviyeleri.....	14
Çizelge 3.2. Yer seçimi problemleri sınıflandırma şekilleri.....	17
Çizelge 6.1. KGB'lere entegre edilen sensörlerin yetenek ve maliyet bilgileri.....	60
Çizelge 6.2. Model 1 çözüm sonuçları.....	61
Çizelge 6.3. Bulanık değerlendirme değerleri.....	62
Çizelge 6.4. Kriterlerin uzmanlara göre değerlendirilmesi ve kriter ağırlıkları.....	64
Çizelge 6.5. Model 2 çözüm sonuçları.....	65
Çizelge 6.6. Model 3 çözüm sonuçları.....	67
Çizelge 6.7. Farklı ağırlık değerleri altında Model 3 çözüm sonuçları.....	68
Çizelge 6.8. Sensör tiplerine göre azami görüş menzili.....	72
Çizelge 6.9. İHA teknik özellikleri ve envanter miktarı bilgileri.....	72
Çizelge 6.10. Model 4 çözüm sonuçları.....	73
Çizelge 6.11. Model 5 çözüm sonuçları.....	74
Çizelge 6.12. Sensör tiplerine göre yeni rota merkezlerinin verileri.....	77
Çizelge 6.13. İHA'ların yeni görev merkezlerine göre rota planı detayları.....	78
Çizelge 6.14. Önerilen hibrit sistemde 2. bölge için SDİRA yaklaşımı çözüm sonuçları.....	82
Çizelge 6.15. Hibrit sistem kurulum maliyetleri.....	82

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Keşif ve gözetleme balonu görüntüsü.....	7
Şekil 2.2. Mini İHA görüntüsü.....	8
Şekil 2.3. İHA'ya entegre edilen iki-eksen gymbal kamera.....	8
Şekil 4.1. Açık ve kapalı uçlu araç rotalama şekilleri.....	27
Şekil 4.2. Kapasiteli ARP çözüm yöntemleri sınıflandırması.....	31
Şekil 5.1. İHA'nın uçuşu esnasında kamera sensörünün karasal zeminde gözlem yaptığı alanların örnek gösterimi.....	50
Şekil 5.2. ISS&ROM modeli için örnek rota görseli.....	51
Şekil 5.3. Önerilen rota algoritması için hazırlanan KDS ekran görüntüsü.....	56
Şekil 5.4. Temsili KGB görüş alanı görseli.....	57
Şekil 6.1. Görüş doğrusu.....	69
Şekil 6.2. Gözlem yapılacak konumların sensör tiplerine göre gruplandırılması.....	75
Şekil 6.3. Demon algoritması ile oluşturulan rota planları.....	77
Şekil 6.4. Toplam rota uzunluklarının karşılaştırılması.....	79
Şekil 6.5. Önerilen hibrit keşif ve gözetleme sisteminin yapısı.....	80
Şekil 6.6. Önerilen hibrit keşif gözetleme sisteminde 2. Bölge için SDİRA yaklaşımı ile elde edilmiş İHA rota planları.....	81

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 6.1. Aday noktaların siyasi harita üzerindeki görüntüsü.....	59
Harita 6.2. Aday noktaların yükselti haritası üzerindeki görüntüsü.....	60
Harita 6.3. Modellere göre çözüm sonuçlarının yüzey görüntüleme analizi.....	70



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

km

kilometre

m

metre

Kısaltmalar

Açıklama

ARP

Araç Rotalama Problemleri

ANP

Analitik Ağ Süreci

AHP

Analitik Hiyerarşi Süreci

BDK

Birim Disk Kaplama

CBS

Coğrafi Bilgi Sistemleri

DA

Demon Algoritması

DEM

Digital Elevation Model

GPS

Satellite Based Geographical Positioning System

İHA

İnsansız Hava Aracı

ISS&ROM

Birleşik Sensör Seçimi ve İHA Rotalama Modeli

KGB

Kablo Güdümlü Balon

KİRM

Kapasiteli İHA Rotalama Modeli

KK

Küme Kaplama

MK

Maksimum Kaplama

PSO

Parçacık Sürü Optimizasyonu

SDİRA

Sensör Kaplama ve Demon Algoritmaları ile İki Aşamalı İHA Rotalama Algoritması

TOPSIS

Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

1. GİRİŞ

Sınır güvenliği günümüzde ülkelerin ele aldığı önemli konulardan biridir. Yasadışı göç ve terör faaliyetleri sınır bölgelerinin güvenliğine dikkat çekmektedir. Ancak, çeşitli fiziki ve coğrafi engeller bu bölgelerde izleme, takip ve tanımlama işlemlerini zorlaştırmaktadır.

Gözetleme ve izleme işlemleri için insan temelli sistemlerin kullanımı günümüzde değerini kaybetmiş bunun yerine, insansız ve yoğun teknoloji kullanan sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Birçok ülke sınır güvenliğini sağlamak amacıyla yeni teknolojiler aramaktadır. İnsansız Hava Araçları (İHA), Sensörler, Kablo Güdümlü Balonlar (KGB), Radar Sistemleri, Uydu Tabanlı Gözlem Sistemleri birçok ülke tarafından sınır güvenliği, toplumsal olaylara müdahale ve çeşitli askeri operasyonlar için kullanılmaktadır.

KGB, havadan daha hafif bir gazla doldurulmuş ve üzerinde bilgi işleyen kamera veya sensör barındıran büyük hacimli bir balondur. Üzerinde motoru, dümeni ve yolcu kabini bulunan balonların ilk yapımı 1930'lu yıllara kadar gitmektedir. Bu büyük balonlar günümüzde ulaşım, harita, fotoğrafçılık, gözlem, güvenlik, reklam vb. amaçlarla sıklıkla kullanılsa da askeri amaçlı kullanımları uzun yıllardır sürmektedir.

İHA sistemleri, tehlikeli bölgelerde ve riskli görevlerde kullanılan, uzaktan komuta ile yönetilebilen veya önceden programlanmış plan doğrultusunda görev ifa edebilen sistemler olarak tanımlanmaktadır [1]. Günümüzde, kapasite ve yetenekleri giderek artan İHA'ların geliştirilmesi için ülkeler, AR-GE çalışmalarına büyük kaynak sağlamaktadırlar. Her ne kadar bugün İHA'lar arama-kurtarma, yangınla mücadele, fotoğrafçılık, kamera çekimi vb. sivil amaçlar için kullanılsa da keşif, arama ve istihbarat çalışmaları İHA'ların en temel kullanım sahasıdır. Yasadışı göç ve terör faaliyetleri nedeniyle birçok ülke tarafından, özellikle sınır bölgelerinin güvenliğini sağlamada İHA'lar etkin olarak kullanılmaktadır.

Ülkemizde, sınır güvenliği İHA, nöbet kuleleri, çeşitli mobil/sabit radarlar ile sağlanmaktadır. Özellikle artan tehdit yapısı ve göç problemleri nedeniyle, savunma sanayisi ve güvenlik politikalarına ilişkin yön verici kararların alındığı Milli Güvenlik Kurulu'nun 2015-2017 dönemlerinde, sınır hattında KGB'ler gibi alternatif keşif ve gözetleme sistemlerinin kullanımına yönelik çeşitli kararlar alınmıştır. Buna istinaden,

savunma sanayisinin uygulayıcı makamı olan Savunma Sanayii Müsteşarlığı güdümlü balon sistemi alımına yönelik Eylül 2017 döneminde ihale ilanı duyurusu yapmıştır.

Teknolojik olarak gelişmiş olan bu sistemlerin kullanımı öncesinde önemli bir planlama sürecine ihtiyaç vardır. Bu sistemleri üretme veya temin etme imkan ve kabiliyetlerine sahip olmak kadar etkin ve verimli kullanabilmek de önemlidir. Tez çalışmasının konusunu, etkin keşif ve gözetleme sağlayacak KGB ve İHA gibi insansız keşif gözetleme sistemlerinin büyük yatırımlar yapılarak kurulması öncesinde ele alınması gereken araştırma ve inceleme süreci oluşturmaktadır. Tez çalışması, sınır hattında etkin keşif ve gözetleme sisteminin nasıl teşkil edilmesi gerektiği üzerine odaklanmaktadır. Bu noktada, Milli Güvenlik Kurulu ve Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından alınan kararlar ile K.K.K.lığı tarafından keşif ve gözetleme sürecine ilişkin ileriye dönük projeler dikkate alınarak KGB'ler ve İHA'lar üzerine odaklanılmıştır. Bu amaçla; sınır güvenliğinde KGB'lerin ve İHA'ların kullanım durumları ayrı ayrı ele alınmış, her iki sisteme ilişkin çeşitli modeller geliştirilmiştir.

Sınır güvenliğinin KGB'ler ile sağlanması planlandığı durumda, KGB'lerin nerelere konuşlandırılacağı ve üzerlerine hangi yeteneklere sahip kamera sensörlerinin entegre edileceği belirlenmelidir. KGB'lerin ne kadar alanı gözlemleyebildikleri, üzerlerine entegre edilen kamera sensörlerinin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla, KGB ve sensör yeteneklerinin birlikte ele alınmasının daha doğru sonuçlar vermesi beklenir. Bu amaçla; KGB'ler için geliştirilen modellerde; sensör yetenekleri ve coğrafi arazi özellikleri de dikkate alınarak minimum maliyet ile maksimum alan kaplamasını sağlamak üzere Küme Kaplama ve Amaç Programlama yaklaşımları uygulanmıştır. Arazi özelliklerinin matematiksel modele dâhil edilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmış, aday konumların coğrafi ve askeri özelliklerinin değerlendirilmesi için Çok Kriterli Karar Verme metodları uygulanmış, KGB yerleşim planlarının sağlayacağı görüş imkânının incelenmesi için CBS'nin Görüş Analizi modülü kullanılmıştır.

Diğer taraftan; sınır güvenliğinin İHA'lar ile sağlanması planlandığı durumda, İHA'ların rota planının oluşturulması gerekir. İHA'ların rota planlaması sürecinde; üzerine entegre edilen kamera sensörünün görüş yetenekleri, karasal zemine emniyetli yaklaşma mesafesi, maksimum uçuş süresi, maksimum kontrol mesafesi vb. birçok kriter dikkate alınmalıdır. Bu amaçla; İHA sistemleri için geliştirilen modellerde; uçuş mesafesi kısıtını dikkate alan

Klasik İHA Rotalama Modeli, sensör görüş yeteneklerinin rota sürecine dahil edilmesini sağlayan Birleşik Sensör Seçimi ve İHA Rotalama Modeli, Sensör Kaplama Algoritması ve Demon Algoritmasının entegre edildiği iki aşamalı sezgisel bir rota algoritması ele alınmıştır.

Geliştirilen modeller, Türkiye güney sınır hattında keşif ve gözetleme amacıyla hangi konumlara KGB yerleştirilmesi gerektiği ve İHA'lar için nasıl bir rota planı oluşturulması gerektiğine ilişkin oluşturulan bir senaryoda test edilmiştir.

Çalışma konusu askeri içerikli olduğundan bazı varsayımlar içermektedir. Çalışma, askeri gizlilik sınırlamalarına uygun olacak şekilde hazırlandığından İHA ve KGB'lerin teknik özellikleri ve yeteneklerinde bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bu çalışmada yer alan hususlar, TSK'nın görüş ve düşüncelerini yansıtmamaktadır. Çalışmada kullanılan tüm veriler ve bilgiler açık kaynaktan temin edilmiştir. Çalışmada, etkin keşif ve gözetleme sisteminin teşkil edilmesini sağlayabilecek en modern araçlar olan KGB'ler ve İHA'lar üzerine yoğunlaşmıştır. KGB ve İHA'lar üzerine odaklanılmasında 2015-2017 yılı Milli Güvenlik Kurulu Kararları etkili olmuştur. Çalışma içerisindeki matematiksel modellerde kullanılan KGB'lerin teknik özelliklerine ve maliyet verilerine [2] nolu kaynaktan ulaşılmıştır. KGB'ler TSK envanterinde hâlihazırda bulunmadığından, maliyet hesaplamaları satın alma ve kurulum maliyetleri üzerinden hesaplanmıştır.

Rotalama sürecinde kullanılan İHA'lara ait uçuş süresi, ortalama uçuş hızı vb. teknik özellikler ile sensör özellikleri ve maliyet verileri, [3] nolu kaynaktan temin edilmiştir. Türkiye, milli olarak İHA üretim teknolojisine sahip olduğundan TSK envanterinde muharip veya keşif gözetleme görevi yürütebilecek İHA'lar mevcuttur. Bu nedenle, maliyet hesaplamalarına İHA'ların satın alma maliyeti dâhil edilmemiş, sadece saatlik uçuş maliyetleri dâhil edilmiştir. Rota maliyeti hesaplamalarında İHA'nın ortalama uçuş hızı ile uçuş icra ettiği varsayılmıştır.

Çalışmanın ileriki aşamaları şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde keşif ve gözetleme faaliyetlerine ilişkin bilgiler sunulmuş; 3. Bölümde yer seçimi problemleri, 4. Bölümde araç rotalama problemlerine ilişkin literatür taraması verilmiş; 5. Bölümde İHA ve KGB kullanımına yönelik geliştirilen modeller sunulmuş, 6. Bölümde geliştirilen modellerin uygulaması yapılmıştır. 7. Bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.



2. KEŞİF VE GÖZETLEME

İstihbarat, keşif ve gözetleme; mevcut ve muhtemel durumlar için bilgi toplamak amacıyla eldeki istihbarat araçlarının planlı şekilde kullanıldığı bütünleşik bir faaliyettir [1].

Gözetleme, belirli bölgelerin bilgi edinmek amacıyla elektronik, görsel, fotoğrafik vb. şekilde çeşitli gözetleme vasıtalarıyla izlenmesidir. Gözetleme ve keşif faaliyetleri istihbarat temin edilmesi sürecinin temel unsurudur. Gözetleme faaliyeti, keşif süreci ile birlikte yürütülebileceği gibi bağımsız olarak da icra edilebilir [1].

Keşif faaliyeti, operasyon bölgesinde düşmanın kabiliyetleri, arazi ve hava durumu vb. hususlar hakkında bilgi toplamak amacıyla kara ve hava gözetleme yeteneklerinin kullanılması ile yürütülür. Hava keşfi; hava araçları, sensörler, uydu tabanlı gözetleme ve haberleşme sistemleri, radarlar vb. teknik donanımlarla havadan yapılan gözetleme faaliyetini ifade eder. Hava keşfi askeri amaçlarla yürütüldüğünde, düşman kuvvetlerin yerleşimi, silah ve sistemlerinin mevzi durumu, faaliyet ve hareketleri, ulaştırma ve ikmal sistemi, harekâtı etkileyebilecek lojistik tesisleri, düşmana karşı yapılan taarruz neticeleri vb. hakkında bilgi toplanması amaçlanır [1].

2.1. Sınır Güvenliğinde Keşif Ve Gözetlemenin Önemi

Terör, yasadışı göç ve kaçakçılık gibi ülkelerin güvenliğini tehlikeye sokan tehdit unsurlarının giderek arttığı günümüzde, operatif ve askeri başarı için keşif ve gözetleme faaliyetleri önem arz etmektedir. Bu faaliyetlerin yoğun olarak uygulandığı yerler, tehditlerin yoğun yaşandığı sınır hattı ve askeri bölgelerdir. Gereken hazırlıkların yapılabilmesi, tedbirlerin alınabilmesi ve tehditlerin zamanında önlenmesi açısından tehdit oluşturan unsurların önceden fark edilmesi kritik bir husustur.

Türkiye'nin güney sınır bölgesinde gayri nizami harp yöntemleri kullanarak eylemlerde bulunan terör örgütünün ve bölge arazisinin karadan keşfi engebeli arazi yapısı nedeniyle zor ve risklidir. Bu noktada; Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinin dağlık coğrafi yapısı nedeniyle kaçak geçiş yolu olarak kullanılan boğaz, vadi, mağara, geçit vb. arızalı

coğrafi alanların modern keşif gözetleme araçları ile sürekli gözlenmesi, terör ve yasadışı göç ile mücadele sürecinde olmazsa olmazdır.

2.2. Keşif Ve Gözetlemede Modern Sistemler

Gözetleme ve izleme işlemleri için insan temelli sistemlerin kullanımı günümüzde değerini kaybetmiş bunun yerine, insansız ve yoğun teknoloji kullanan sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Birçok ülke sınır güvenliğini sağlamak amacıyla yeni teknolojiler aramaktadır. İnsansız hava araçları, sensörler ve güdümlü balonlar birçok ülke tarafından sınır güvenliği ve çeşitli askeri operasyonlar için kullanılan modern keşif ve gözetleme araçları arasında dikkat çekmektedir.

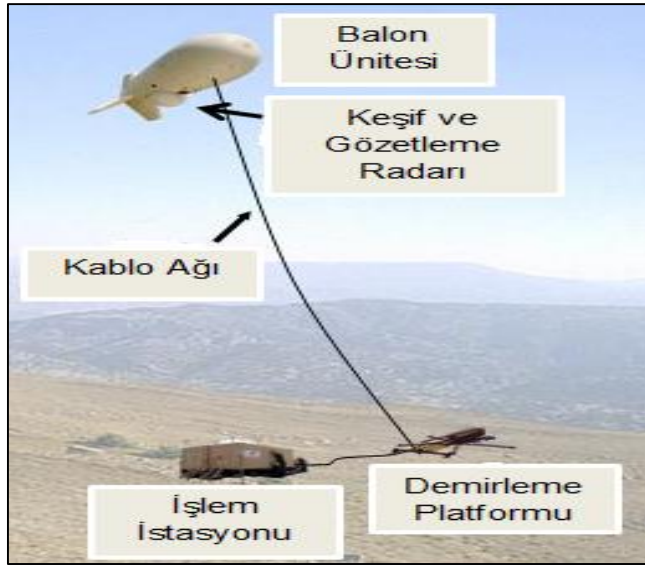
2.2.1. Kablo güdümlü keşif ve gözetleme balonları

Güdümlü balonlar, havadan daha hafif bir gazla doldurulmuş olan, motoru, dümeni ve yolcu kabini bulunan büyük hacimli balonlardır. Havada yükselen güdümlü balon, motoru ve dümeni kullanılarak yönlendirilir. Üzerinde motoru, dümeni ve yolcu kabini bulunan balonların ilk yapımı 1930'lu yıllara kadar gitmektedir. Ancak; yüksek maliyetli üretim süreci ve hava şartlarından etkilenmesi nedeniyle yerini daha üstün bir teknolojik altyapı içeren hava araçlarına bırakmıştır [2].

Güdümlü balonların omurgasız, yarı omurgalı ve omurgalı şeklinde üç çeşidi bulunmaktadır. Omurgasız güdümlü balonlar, kabinin balona kablolarla tutturulduğu basit balonlardır. Yarı omurgalı güdümlü balonlar, metal bir iskelete sahiptir. Omurgalı güdümlü balonlarda ise, genellikle alüminyum kirişlerden yapılmış hafif bir iskelet vardır. Güdümlü balonlarda genellikle hidrojen ve helyum gazları kullanılır. Hidrojen doğadaki en hafif gaz olmasına rağmen yanıcı olma özelliği nedeniyle zamanla kullanımı azalmış, yerini helyum gazına bırakmıştır.

Kablo Güdümlü Balonlar ise üzerinde bilgi işleyen faydalı yük barındıran omurgalı yapıdaki balonlardır. Günümüzde bu büyük balonlar; ulaşım, harita, fotoğrafçılık, gözlem, güvenlik, reklam vb. amaçlarla yeniden kullanılmaya başlasa da askeri amaçlı kullanımı uzun yıllardır sürmektedir. Yer ile fiber optik kablo bağlantısının sağlanması, sabit kamera sistemlerinin entegre edilmesi, içerisindeki gaz sisteminin yanmaz bir gaz olan helyum ile

değiştirilmesi, yanmaz ve hava geçirmez dış kaplamasının sağlanması, özel vinçlerle indirilme veya yükseltileme imkanı kazandırılması gibi gelişmeler bu yapının daha uzun süre havada kalmasını sağlamıştır. Şekil 2.1’de keşif ve gözetleme amacıyla kullanılan bir balonun yapısı ve görüntüsü verilmiştir.



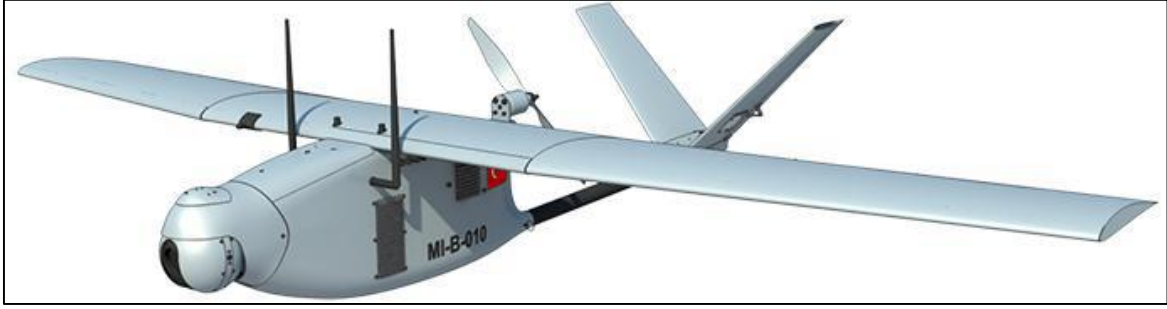
Şekil 2.1. Keşif ve gözetleme balonu görüntüsü

Klasik bir KGB balon ünitesi, keşif ve gözetleme radarı, faydalı yük ünitesi, işlem istasyonu, kablo ağı ve demirleme platformlarından oluşmaktadır. KGB'nin geliştirilen bu yeni yetenekleri, özellikle çekilen hava fotoğraf ve videolarının sabit ve istenen konumda çekim pozisyonlarını ayarlayan mekanik bir çerçeve olarak da tanımlanan gymbal sistemi, izleme ve güvenlik gibi amaçlar için yoğun bir şekilde kullanılmasına imkan vermiştir [2].

KGB'ler günümüzde zarf hacimleri, konumlandırma yükseklikleri, demirleme sistemleri ve üzerlerine entegre edilen elektronik ekipmanlara göre çeşitli sınıflara ayrılmaktadır.

2.2.2. İnsansız hava araçları

İHA, içerisinde insan olmayan, uzaktan kumanda ile yönlendirilen veya otonom olarak kendisini yönlendiren motorlu itki gücü olan, silah veya faydalı yükleri ana gövdesine yüklenip çıkarılabilen, görev sonu geri dönerek iniş yapabilen veya hedefte silah olarak kendini imha edebilen araçlar olarak tanımlanmaktadır [3].



Şekil 2.2. Mini İHA görüntüsü

Şekil 2.2’de Bayraktar isimli mini İHA görseli verilmiştir. İHA sistemleri, yer sistemi ve hava aracı olarak iki ana bölümden oluşur. Hava aracı bölümünde; faydalı yük, veri link hattının hava kısmı, görev bilgisayarını, uçuş için gerekli aviyonik cihazlar ve haberleşme sistemleri bulunur. Yer sistemleri ise, hava aracı ve faydalı yüklerin kontrol edildiği Yer Kontrol İstasyonu, Yer Veri Terminali, görüntü almaya yarayan Uzak Görüntü Terminali, alınan verileri iletmek için kullanılan Uydu Yer Terminali ve bu sistemlerin sağlıklı çalışmasını sağlayan Yer Destek Teçhizatı ve Test Bakım Ekipmanlarından oluşmaktadır [3]. İHA sistemlerinin görüş yeteneklerini oluşturan sabit kamera ekipmanı görseli Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. İHA’ya entegre edilen iki-eksen gymbal kamera

İHA’lar günümüzde hem askeri hem de sivil amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Askeri kullanım alanları temel olarak istihbarat, gözetleme ve keşif faaliyetleri olmakla birlikte günümüzde; mühimmat atışı, elektronik harp, bir nokta üzerinde görüntü alınması, haberleşme için veri aktarımı, haberleşmenin bozulması için bozucu frekans yayılması, kimyasal/biyolojik silah sistemlerinin etki alanı ölçümü için veri toplanması faaliyetlerini de yürütmektedir. Sivil kullanım alanları ise; emniyet ve güvenlik, afet yönetimi, zirai ve tarımsal faaliyetler olarak sınıflandırılmaktadır.

İHA sistemleri; menzil, uçuş yüksekliği, havada kalış süresi ve ağırlığı dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmaya göre; İHA'lar Taktik, Stratejik ve Özel Amaçlı olmak üzere Çizelge 2.1'de verildiği gibi üç hizmet grubuna ayrılmaktadır [4].

Çizelge 2.1. İHA'ların özelliklerine göre sınıflandırması

Sınıflandırma / Kısaltma	Menzil (km)	İrtifa (m)	Uçuş Süresi(sa)	Kalkış (kg)
TAKTİK				
Nano	<1	100	<1	<0,025
Mikro	<10	250	1	5
Mini	<10	150-300	<2	<30
Yakın Menzil	10-30	3 000	2-4	150
Kısa Menzil	30-70	3 000	3-6	200
Orta Menzil	70-200	5 000	6-10	1 250
Orta Menzil Havada Kalma	>500	8 000	10-18	1 250
Alçak İrtifa Derin Sızma	>250	50- 9 000	0<5-1	350
Alçak İrtifa Uzun Süre Havada Kalma	>500	3 000	>24	<30
Orta İrtifa Uzun Süre Havada Kalma	>500	14 000	24-48	1 500
STRATEJİK				
Yüksek İrtifa Uzun Süre Havada Kalma	<2000	20 000	24-48	12 000
ÖZEL AMAÇLI				
İnsansız Muharebe Aracı	1500	10 000	2	10 000
Öldürücü	300	4 000	3-4	250
Yem	0-500	5 000	<4	250
Stratosfer	>2000	>20 000 >30 000	>48	-
Stratosfer İlerisi	-	>30 000	-	-
Uzay	-	-	-	-

2.3. Ülkemizdeki KGB Ve İHA Teknolojilerinin Durumu

Güdümlü balonlar kapsamında ülkemizdeki ilk çalışmalar 2013 yılında Otonom Teknoloji firması tarafından yapılan "Doruk Balon Sistemi"ni işaret etmektedir. 2014 yılında icra edilen deneme testlerinde; güdümlü balonun gövde malzemesi, faydalı yük olarak elektro-

optik kamera, görüntü aktarma sistemi, kablosuz erişim cihazları ve demirleme istasyonu başarıyla kullanılabilmiştir. Farklı irtifalarda elde edilen görüntüler kablosuz olarak yer kontrol birimine başarılı şekilde indirilmiştir. Söz konusu sistem, bu alandaki ilk prototip olmasına rağmen farklı rüzgar hızlarına sahip gerçek uçuş koşullarında beklentilerin üzerinde olarak 20 kg'a kadar faydalı yük taşıyabilmiştir. Alınan sonuçlar doğrultusunda, balon sisteminin çeşitli faydalı yükler (termal kamera, radar, LIDAR vb.) taşıyarak uzun süreli görevler icra edebilecek bir platform olduğu şeklinde raporlama yapılmıştır [4].

İHA sistemlerine bakıldığında, ilk İHA'lar 1990'lı yıllarda yurt dışından ithal edilerek temin edilmiştir. Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) 1993 yılında, ABD menşeli General Atomics Aeronautical Systems Inc. ve İsrail menşeli AAI konsorsiyumu ile 1 sistem ve 6 hava aracı olmak üzere GNAT-750 tipi MALE sınıfı İHA için sözleşme imzalamıştır. Böylelikle, NATO üyesi ülkeler içerisinde MALE kategorisinde gelişmiş İHA sistemleri kullanan ülkeler arasına ABD'nin yanında Türkiye de dahil olmuştur [5].

Özellikle terörle mücadele ve istihbarat faaliyetlerinde gösterdiği yüksek fayda ve başarı nedeniyle İHA sistemlerine olan ihtiyaç giderek artmıştır. 1994 ve 1998 yıllarında envantere giren GNAT ve I-GNAT İHA'ları kaza kırımı uğraması ve çeşitli bakım, onarım problemleri nedeniyle 2008 yılında operasyonel kullanımdan kaldırılmıştır. 2004 yılında SSM.lığı, TSK'nın MALE konfigürasyonundaki İHA ihtiyacını milli imkanlarla karşılamak amacıyla başlatılan Taktik İnsansız Hava Aracı (TİHA) Geliştirme Programı kapsamında, Türk Uzay ve Havacılık Sanayi (TUSAŞ) ile "ANKA" isimli proje sözleşmesi imzalamıştır. 2005 yılında TSK'nın acil ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla, ABD menşeli General Atomics ve İsrail menşeli IUP konsorsiyumuna TUSAŞ üzerinden 10 adet Heron İHA siparişi verilmiştir [5].

Ülkemizde milli imkanlarla tasarım ve üretimi yapılan İHA'lar, Çizelge 2.1'de verilen sınıflandırmaya göre Mini ve MALE grubunda bulunmaktadır. Günümüz itibariyle Türkiye'de geliştirilen İHA modelleri ve üretici firmaların önde gelenleri; Bayraktar-Malazgirt (Kale Grup /Baykar Makine), Efe-Arı (Vestel Savunma), Güventürk (ODTÜ), Globiha (Global Teknik) olarak sayılabilir [5].

Keşif ve gözetleme sürecinde KGB'lerin kullanım durumunda; KGB'lerin nerelere konuşlandırılacağı ve hangi tip sensörlerin KGB'lere entegre edileceğinin belirlenmesi

gerekir. Bu problem, gerçek hayatta sıklıkla karşılaşılan yer seçimi problemleri içerisinde değerlendirilebilir.

Diğer taraftan; keşif ve gözetleme srecininin İHA sistemleri ile sağlanması durumunda ise, hangi tip İHA'ların grevlendiriledeği, görevlendirilen İHA sistemlerinin hangi rota dorultusunda alan izlemesi yapacağı ve hangi tip sensör yetenekleri kullanılacağının belirlenmesi gerekir. Bu problem türü de, Araç Rota Optimizasyonu içerisinde tanımlanabilir.

Tez çalışmasının ilerleyen bölümlerinde, yer seçimi ve araç rotalama konularına ilişkin literatür taraması verilmiştir.



3. YER SEÇİMİ PROBLEMLERİ

Yer seçimi teorisi 1900'lü yıllardan itibaren üzerinde çalışılan önemli konulardan biri olmuştur. İlk olarak Alfred Weber tarafından ele alınan konu, tek bir deponun çeşitli konumlardaki müşterilere en yakın nasıl yerleştirileceği üzerine odaklanmıştır.

Hakimi (1964), çok sayıdaki tesisin müşterilere minimum mesafede olacak şekilde yerleştirilmesini "P-Medyan Problemleri" olarak ifade etmiştir. Church ve Revelle (1974), White ve Case (1974) çalışmalarını, yerleştirilen tesis sayısının en az olacak şekilde belirlenmesi üzerine yoğunlaştırmışlardır. Gary ve Johnson (1979), problemin bu haliyle tamsayı programlama ile belirli bir süre içinde çözülebileceğini ancak; büyük N (düğüm sayısı) ve P (mümkün noktalar) değerleri için çeşitli sezgisel tekniklerin geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Literatürdeki ilk sezgisel çalışmalar incelendiğinde Church ve Revelle (1974) tarafından kullanılan "Greedy Adding and Greedy Adding With Substitution" algoritmalarıyla karşılaşılmaktadır. Bunun yanında, Church ve Revelle (1974), Hakimi'nin (1964) P-Medyan modeli ile Maksimum Kaplama (MK) modeli arasındaki ilişkiyi teorik ve işlemsel olarak ortaya koymuştur.

Schilling (1980), Boeffey ve Narula (1997) yer seçimi problemlerinde çok kriterli karar verme tekniklerini kullanmış, Megiddo vd. (1983) MK modeli için şebeke teoremi algoritması geliştirmiştir. Genel olarak yer seçimi problemlerinde tesis yerleri ve talep merkezleri, mümkün noktaların yer aldığı bir küme olarak ifade edilmekte zaman, maliyet, mesafe vb. kısıtlar altında maksimum sayıdaki talep merkezinin minimum sayıdaki tesisler ile kaplanması amaçlanmaktadır. Problem, amaç fonksiyonun bu yapısından dolayı "Min-Max Problemleri" olarak da anılmaktadır. Mehrez ve Stulman'a (1982) göre, bu tür problemlerde çoğu zaman tek bir çözüm değil, sonsuz bir çözüm kümesi bulunmaktadır.

Schilling vd. (1993), tesis yer seçim problemlerinde 1900-1991 aralığında yapılmış yayınları inceleyerek çalışmaları, Küme Kaplama (KK) ve MK şeklinde iki ayrı sınıfa ayırmıştır. Buna göre, KK problemlerinde alanın kaplanması amaçlanırken, MK problemlerinde olabilecek maksimum kaplama seviyesi için optimizasyon yapılmaktadır. KK problemleri tüm müşteri noktaları için öngörülen seviyede hizmet veren tesis sayısını belirlemektedir. Ancak; Church ve Revelle'e (1974) göre gerçek hayatta KK algoritması

ile belirlenen tesis sayısı, birçok işletme için mümkün olmamaktadır. Gelişen bu yeni problem türünde, mevcut tesis sayısı ile hizmet verilebilecek maksimum sayıda müşteri aranmaktadır. Bu tür problemler, MK problemleri olarak adlandırılmaktadır.

Bunun yanında yer seçimi problemlerinde gerçek hayat şartlarında karşılaşılabilecek durumlar için sayısız çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekilde özetlenebilir. Sherali vd. (1991) gerçek hayattaki olasılıksal ve kısmi kaplama durumlarını ele alırken, Pirkul ve Schilling (1991) toplam iş yükü kısıtları altında MK problemlerini incelemiştir. Church vd. (1991), çok kriterli bir MK problemini “Lagrange Gevşetme” kullanan bir P-Medyan problemi olarak ele almıştır. Current ve Storbeck (1988), probleme dağıtım merkezinin kapasite kısıtlarını da ekleyerek “Kapasiteli Küme Kaplama Problemini” oluşturmuştur. Kolen ve Tamir (1990) söz konusu kısıtlara bütçe ve müşteri kısıtlarını da eklemiştir. Galvao ve Revelle (1996), MK problemlerinde Lagrange Gevşetme tekniklerini, Gendreau vd. (1997) ise ambulans hizmeti için yer seçimi problemlerinde “Tabu Arama” yöntemini kullanmıştır. Karasakal ve Karasakal (2004) problemin kısmi kaplama olarak ele alındığı durumlarda genel MK modelinin çözüm oluşturmayacağını ileri sürerek, minimum ve maksimum kritik mesafeler içinde oransal kaplama yapan Maksimum Kısmi Kaplama problemine çözüm üretmiştir. Revelle vd. (2008) dal-sınır yöntemi uygulanan doğrusal yapıdaki maksimum kaplama problemine Meta-Sezgisel tekniklerle çözüm aramıştır. Paolo vd. (2014), trafik güzergâhı üzerinde güvenlik kamerası yerleştirilmesi planlanan noktaların seçimini ele aldıkları çalışmalarında, problemi zaman kısıtı altında çözmeye çalışmıştır. Çizelge 3.1’de, yazarların yer seçimi problemlerine ilişkin önerdikleri yöntemler ve karmaşıklık seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Önerilen çözümler ve karmaşıklık seviyeleri

Yazar Adı ve Kaynak Sıra No	Karmaşıklık Seviyesi (Complexity)	Kullanılan Yöntem
Halpern [25]	n , R^2 uzayındaki noktalar, $k \leq n$ ve pozitif tamsayı olmak üzere; $m^{(O\sqrt{k})}$	k-merkez kümeleme
Chazelle ve Lee [26]	n , R^2 uzayındaki noktalar, her noktanın ağırlığı w olmak üzere; $O(n^2)$	Maksimum ağırlıklı birim disk kaplama

Çizelge 3.1. (devam) Önerilen çözümler ve karmaşıklık seviyeleri

Feder ve Greene [27]	n , R^2 uzayındaki noktalar, $k \leq n$ ve pozitif tamsayı olmak üzere; $O(n \cdot \log k)$	k-merkez kümeleme
Gonzalez [28]	n , R^d uzayındaki noktalar, s , R^d uzayında optimal çözümdeki hiperkareler olmak üzere; $O(d \cdot n + n \cdot \log s)$	Enküçük Disk Kaplama
Hwang vd. [29]	m , R^2 uzayındaki noktalar, $k \leq n$ ve pozitif tamsayı olmak üzere; $m^{O(\sqrt{k})}$	Öklid k-merkez kümeleme
Agarwal ve Sharir [30]	n , R^2 uzayındaki noktalar olmak üzere; $O(n^2 \cdot \log^3 n)$	2-merkez kümeleme
Efrat vd. [31]	n , R^2 uzayındaki noktalar, $k \leq n$ ve pozitif tamsayı olmak üzere; $O(n \cdot k \cdot \log^2 n)$	En küçük k-kapsayan merkez kümeleme
Bronnimann ve Goodrich [32]	d , çözüm uzayı büyüklüğü olmak üzere; $O(d \cdot \log(dc))$	VC Boyutlu Kümeleme
Katz ve Sharir [33]	n , R^2 uzayındaki noktalar, r , minimum disk yarıçapı olmak üzere; $O(n^2 \cdot \log^3 n)$	Enküçük 2-Disk ile Kaplama
Franceschetti vd. [34]	n , R^2 uzayındaki noktalar, l bir tamsayı ve α bir parametre, K , l ve α 'ya bağlı bir sabit olmak üzere; $O(K \cdot n)$	Disk kaplama
Agarwal ve Procopiu [35]	n , R^d uzayındaki noktalar, $k \leq n$ ve pozitif tamsayı olmak üzere; $n^{O(k^{1-(1/d)})}$	Öklid k-merkez kümeleme
Xiao vd. [36]	$O\left(\binom{n}{p} \cdot p \cdot \log k\right)$	k-merkez kümeleme
Cabello vd. [37]	n , R^d uzayındaki noktalar, d boyutu ifade eden sabit bir parametre olmak üzere; $O(n \cdot \log n)$	Sabit Boyutta 3-merkez kümeleme

Çizelge 3.1. (devam) Önerilen çözümler ve karmaşıklık seviyeleri

Sun vd. [38]	n disk sayısı olmak üzere; $O(n \cdot \log n)$	Enküçük disk kaplamada böl ve kapsa algoritması
Mustafa ve Ray [39]	n, R^3 uzayındaki noktalar, m, R^3 uzayındaki yarı uzaylar olmak üzere; $O(m \cdot n^{o(e^{-2})})$	Geometrik kesişimli küme kaplama
Das vd. [40]	n, R^2 uzayındaki noktalar, m, R^2 uzayındaki birim diskler olmak üzere; $O(m \cdot n + n \cdot \log n + m \cdot \log m)$	Kesikli birim disk kaplama
Claude vd. [41]	n, R^2 uzayındaki talep noktaları, m, R^2 uzayındaki arz noktaları olmak üzere; $O(n \cdot (\log n + m))$	Doğru ile bölünen disk kaplama algoritması
Chen vd. [42]	n, R^2 uzayındaki ağırlık içermeyen noktalar, k ≤ n ve pozitif tamsayı olmak üzere; $O(n)$	Kesikli ağırlıksız k-merkez kümeleme
Basappa vd. [43]	n, R^2 uzayındaki noktalar, d, sabit diskler ve $0 < m \leq 1$ olmak üzere; $O\left[\left(m^{3\left(1+\frac{1}{\pi}\right)}\right) \cdot n \cdot \log n\right]$	Doğru ile bölmeli kesikli birim disk kaplama algoritması

3.1. Problem Türleri

Günümüze kadar yer seçimi problemlerine ilişkin birçok yayın taraması çalışması da yapılmıştır. Literatüre ilişkin daha detaylı incelemeler için; Brandeau ve Chui (1989), Owen ve Daskin (1998), Klose ve Drexl (2005), Şahin ve Süral (2007), Farahani vd. (2012) tarafından yapılmış yayın taraması çalışmalarına bakılabilir. Çizelge 3.2’de çeşitli yazarlar tarafından yapılan sınıflandırma şekilleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yer seçimi problemleri sınıflandırma şekilleri

Yazar Adı ve Kaynak Sıra No	Sınıflandırma Şekli		
Brandeau ve Chui [44]	<p>Amaç Fonksiyonu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Max(Kar) - Min [max(varış süresi, maliyet)] - Max [min(varış süresi, maliyet)] 	<p>Karar Değişkenleri:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tesis/Hizmet Merkezi Yerleri, Sayısı, Kapasitesi - Hizmet/Eşya Rotası, Akış Şeması - Kuyruk Kapasitesi 	<p>Sistem Parametreleri:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Topolojik Yapı - Yol Şekli (Karesel, üçgensel, şebeke) - Varış Süresi/maliyet - Diğer
Owen ve Daskin [45]	Deterministik	Stokastik	
Klose ve Drexler [46]	<p>Amaç Fonksiyonu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Min (max. mesafe) - Min (toplam mesafe) 	<p>Kısıtlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Talep (Esnek, Sabit, Stokastik, Deterministik) - Kapasite (Kısıtlı, Kısıtsız) - Ürün (Tekli, Çoklu) - Zaman (Kesikli, Sürekli) 	
Şahin ve Süral [47]	<ul style="list-style-type: none"> - Akış Yapılı (Tek Yönlü, Çok Yönlü) - Konumsal Konfigürasyonu (Belirli, Belirsiz) - Medyan (toplam yol/maliyet) - Sabit/Değişken Maliyetli Medyan - Max. Kaplama 		
Farahani vd. [48]	<p>Statik:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sürekli (Tek/Çok Tesisli) - Kesikli (Karesel Atama, Kuruluş Yer Seçimi) - Şebeke (Medyan, Kapsama, Merkez, Ana Dağıtım Üssü Seçimi, Hiyerarşik Yer Seçimi) 	<p>Dinamik:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deterministik - Yer Seçimi-Atama - Stokastik - Bulanık - Tek/Çok Periyotlu 	

3.1.1. Deterministik modeller

Deterministik Modeller; P-medyan, Kaplama ve K-merkez Problemleri olarak sınıflandırılmaktadır [45].

P-Medyan Problemleri:

Hizmet merkezleri ile talep noktaları arasındaki toplam talep ağırlıklı yol mesafesini en aza indirerek “ p ” sayıda hizmet merkezinin yerini belirleyen bir problem tipidir. P-median probleminin matematiksel yapısı şu şekildedir [7] :

İndisler:

$i =$ talep noktaları

$j =$ mümkün tesis yerleri

Parametreler:

$h_i =$ i noktasındaki talep miktarı

$d_{ij} =$ i talep noktası ile j mümkün tesis yeri arasındaki mesafe

$P =$ yerleştirilen tesis sayısı

Karar Değişkenleri:

$$X_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasına tesis yerleştirildiyse,} \\ 0, & d.d. \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ talep noktasının talebi } j \text{ noktasına yerleştirilen tesis ile sağlandıysa,} \\ 0, & d.d. \end{cases}$$

Model:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_i \cdot d_{ij} \cdot Y_{ij} \quad (3.1)$$

st.

$$\sum_{j=1}^n X_j = P \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (3.3)$$

$$Y_{ij} - X_i \leq 0 \quad \forall i, j \quad (3.4)$$

$$X_i, Y_{ij} \in (0,1) \quad (3.5)$$

Eş. 3.1’de yer alan amaç fonksiyonu, talep merkezleri ile tesis noktaları arasındaki toplam talep-ağırlıklı uzaklık değerlerinin en küçüklüklenmesini amaçlamaktadır. Eş. 3.2’de, öngörülen “ p ” adet tesisin yerleştirilmesi kısıtlanmaktadır. Eş. 3.3’de, her talep merkezinin bir tesis noktası ile karşılanması istenmektedir. Eş. 3.4 ile atama işleminin sadece yerleştirilen tesislere yapılması sağlanmaktadır. Değişkenlerin $\{0,1\}$ değer alabilecekleri ise Eş. 3.5’de ifade edilmektedir. Bu problem, genel bir şebeke üzerinden ifade edildiğinde NP-complete sınıfında yer alabilir. Tesis sayısı “ p ” adet ile sabitlenirse çözüm sayısı $Per(N, p)$ ile sınırlandırılabilir [7].

Kaplama Problemleri

Kaplama Problemleri, talep noktalarına verilen hizmetlerin kabul edilen maksimum mesafe veya zaman vb. kısıtlar dâhilinde karşılanmasını sağlayan problem tipidir. Literatürde kaplama problemleri KK ve MK problemleri olarak iki farklı şekilde yer bulmaktadır. KK problemlerinde alanın kaplanması amaçlanırken, MK problemlerinde olabilecek maksimum kaplama seviyesi için optimizasyon yapılmaktadır. “ N_i ”, “ i ” talep düğümüne hizmet veren “ j ” tesisler kümesi ve “ $d_{ij} \leq S$ ” olmak üzere, genel bir KK modelinin tamsayı doğrusal modeli şu şekilde ifade edilebilir [12] :

Model:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n c_i \cdot X_i \quad (3.6)$$

st.

$$\sum_i^n X_i \geq 1 \quad (3.7)$$

$$X_i \in (0,1) \quad (3.8)$$

Eş. 3.6'da yer alan amaç fonksiyonuyla, tesis yerleşiminin minimum maliyet ile sağlanması amaçlanmaktadır. Eş. 3.7 ile, tüm talep noktalarının öngörülen uzaklık içerisinde bir tesis ile ilişkilendirilmesi sağlanmaktadır. Değişkenlerin $\{0,1\}$ değer alabilecekleri ise Eş. 3.8'de verilmektedir.

KK problemleri tüm müşteri noktaları için öngörülen seviyede hizmet veren tesis sayısını belirlemektedir. Ancak; Church ve Reville'e (1974) göre gerçek hayatta, küme kaplama ile belirlenen tesis sayısı birçok işletme için mümkün olmamaktadır. Gelişen bu yeni problem türünde, mevcut tesis sayısı ile hizmet verilebilecek maksimum sayıda müşteri aranmaktadır. Bu tür problemler MK problemleri olarak adlandırılmaktadır. Genel bir MK modelinin tamsayı doğrusal modeli şu şekilde ifade edilebilir:

İndisler:

$i = \text{mümkün tesis yerleri.}$

Parametreler:

$P = \text{kurulması istenen tesis sayısı.}$

$h_i = i \text{ noktasındaki talep miktarı.}$

Karar Değişkenleri:

$$X_i = \begin{cases} 1, & i \text{ düğümünde tesis kurulursa,} \\ 0, & d.d. \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1, & i \text{ kaplandıysa,} \\ 0, & d.d. \end{cases}$$

Model:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^n h_i \cdot Y_i \quad (3.9)$$

st.

$$Y_i \leq \sum_i^n X_i \quad (3.10)$$

$$\sum_i^n X_i \leq P \quad (3.11)$$

$$X_i, Y_i \in (0,1) \quad (3.12)$$

Eş. 3.9'da yer alan amaç fonksiyonuyla, karşılanan talep seviyesinin maksimuma ulaştırılması amaçlanmaktadır. Eş. 3.10 ile, kaplanacak herhangi bir talep noktası kalmadığında "i" düğümüne tesis yerleştirilmemesi için eşitsizliğin sol tarafı "0" değeri almaya zorlanmaktadır. Eş. 3.11 ile kurulan tesis sayısı sınırlandırılmaktadır. Değişkenlerin $\{0,1\}$ değer alabilecekleri ise Eş. 3.12'de verilmektedir.

Gary ve Johnson'a (1978) göre; küme kaplama problemlerinin geometrik bir versiyonu olan bir diğer problem türü de Birim Disk Kaplama (BDK) problemleridir. Disk kaplama problemleri, " $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ " olmak üzere " n " adet noktanın, " $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_m\}$ " minimum sayıdaki diskleri ile " $D^* \subseteq D$ " ve " $P \subseteq \bigcup_{di \in D^*} di$ " şeklinde kaplanmasıdır. Fowler vd. (1991), Hochbaum ve Pathria (1998) bu problem türünün NP-zor yapıda olduğunu ileri sürmüştür.

K- merkez Problemleri

Genel olarak; " S " kümesinin, bir düzlem üzerinde tanımlı " $S = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ " noktalarından oluştuğu varsayıldığında, " $k \leq n$ " ve tamsayı olmak üzere " S " kümesini kapsayan en küçük " k " kümesi sayısının belirlenmesi problemleri, k-merkez problemleri olarak anılmaktadır. Bu problem yapısı genellikle, " k " noktalarındaki minimum sayıdaki hizmet merkezi ile " n " adet talep noktasının kısmen veya tamamen karşılanmasına çözüm aramaktadır.

Owen ve Daskin'e (1998) göre, k-merkez problemleri Min-Maks tipi problemler olarak bilinmektedir. Farahani ve Hekmatfar'a (2009) göre, bu modelde amaç bütün talep noktalarını kapsayacak ve talep noktaları ile en yakın tesis arasındaki maksimum uzaklığı minimize edecek şekilde " p " adet tesisin yerinin belirlenmesidir. K-merkez problemlerine ilişkin genel matematiksel model şu şekildedir:

Model:

$$\text{Min } Z = D \quad (3.13)$$

st.

$$\sum_j^J X_j = P \quad (3.14)$$

$$\sum_j^J Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.15)$$

$$X_j \geq Y_{ij} \quad \forall i, j \quad (3.16)$$

$$D \geq \sum_j^J d_{ij} \cdot Y_{ij} \quad \forall i \quad (3.17)$$

$$X_j, Y_{ij} \in (0,1) \quad (3.18)$$

Eş 3.13’de verilen amaç fonksiyonu ile, talep noktası ve hizmet merkezi arasındaki “D” mesafesinin minimizasyonu hedeflemektedir. Eş. 3.14, Eş. 3.15 ve Eş.3.16’da yer alan kısıtlar, P-medyan problemindeki Eş. 3.2, Eş. 3.3 ve Eş. 3.4 ile aynıdır. Eş. 3.17, talep noktası “i” ile hizmet merkezi “j” arasındaki izin verilen en fazla mesafeyi belirtmektedir. Eş. 3.18’de karar değişkenleri için tanımlayıcı kısıt verilmektedir. Eş. 3.16’da verilen kısıtın negatif olmayan kısıta gevşetilebileceğine dikkat etmek gerekir. Eğer “Y_{ij}” karar değişkeninin sürekli olmasına izin verilirse, bir talep noktasına birden fazla hizmet merkezi tarafından hizmet verilebilir.

3.1.2. Stokastik modeller

Stokastik yer seçimi problemlerinde genellikle olasılık temelli yaklaşımlar dikkat çekmektedir. Bu problem türündeki stokastik yapıyı; dönemsel talep miktarları, hizmet merkezi ile depolar arasındaki ulaşım süreleri, taşıma maliyetleri gibi değişkenlerin belirsiz durumları oluşturmaktadır. Temel olarak amaç, gerçekleşmesi belirli olasılık dağılımlarına bağlı olan birçok parametre altında en iyi tesis yeri seçimini sağlamaktır.

Bunların yanında literatürde; istenen/istenmeyen tesis yer seçimi, kısmi kaplama alanlı tesis yer seçimi, çok kriterli tesis yer seçimi, çok boyutlu düzlemde yer seçimi gibi farklı yapılar da mevcuttur. Statik ve deterministik sınıftaki yer seçimi problemlerinde doğrusal modeller ile çözüm aranırken, dinamik ve stokastik yapıdaki iteratif kombinasyonel yer seçimi çalışmalarında genellikle sezgisel algoritmalar ile çözüm arandığı görülmektedir. Tesisin yerleştirileceği muhtemel noktaların sınırlı veya belirli olmadığı bir durumda, problemin karmaşıklık seviyesi daha da artmaktadır [33, 42].

3.2. Yer Seçimi Problemlerine İlişkin Askeri Uygulamalar

Yer seçimi konusu, askeri uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan bir problem türüdür. Jandarma karakollarının yerlerinin belirlenmesinde [52], hava savunma sistemlerinin mevzii bölgelerinin belirlenmesinde [53], arama kurtarma timlerinin yer seçiminde [54] ve heterojen yapıdaki İHA grubunun üs bölgesi yer seçiminde [55] MK algoritması; Ege Bölgesinde sahil gözetleme radarlarının konuş yerlerinin belirlenmesinde [56] KK algoritması kullanılmıştır.

Aydoğan (2008), sahil güvenliği faaliyetlerinin etkinliğinin artırılması için keşif ve gözetleme radarlarının yeniden konuşlandırılmasına yönelik çalışmada KK ve MK modelleri kullanarak 7 farklı senaryo için yerleşim önerileri sunmuştur. Aygüneş (2008), kırsal bölgelerde terörle mücadele sürecinde askeri birliklerin ve üs bölgelerinin konuş yerlerinin belirlenmesi probleminde p-medyan, KK ve MK modelleri ile çözüm aramıştır.

Kress ve Royset (2007), kısa menzilli İHA'lar ile alan taraması üzerine yaptıkları çalışmalarında İHA'ların kontrol istasyonlarının yer seçimi ve uçuş görev rotasının belirlenmesini iki aşamalı olarak modellemiştir. Geliştirdikleri matematiksel modelde hava koşullarını ele almazken, İHA'ların uçuş menzili ve kabiliyetleri ile birlikte arazi yapısını dikkate almışlardır.

Kurban ve Can (2015), hudut güvenliği kapsamında gözetleme ve keşif görevi için farklı kaplama mesafelerine sahip mini İHA'ların kontrol istasyonlarının yer seçimi probleminde, değişen hava şartları ve hizmet verememe olasılık değerleri altında MK algoritması ile çözüm aramıştır. Bunun yanında, gerçek coğrafi alan üzerinde yapılan yer seçimi çalışmalarında görüş analizi yöntemlerinin de kullanıldığı görülmektedir.



4. ARAÇ ROTALAMA PROBLEMLERİ

Toth ve Vigo (2002) tarafından " n " adet konumları belirli talep noktasına " m " adet araç ile en az maliyet ve en kısa zamanda hizmet edilebilmesini sağlayan araç-yol planı olarak tanımlanan Araç Rotalama Problemleri (ARP), Dantzig ve Ramser (1959) tarafından literatüre kazandırılmış ve günümüze kadar üzerinde yoğun olarak çalışılmış bir konudur. Fiziksel dağıtım ve lojistik alanında önemli bir yönetim problemi olarak görülen ARP'de belirli bir müşteri kümesine hizmet edecek olan bir araç filosunun izleyeceği rotaların en iyisinin belirlenmesine çalışılır.

Dantzig ve Ramser (1959) çalışmalarında, bir gerçek hayat uygulaması olan servis istasyonlarına benzin dağıtım problemini ele almıştır. Clarke ve Wright (1964), Dantzig-Ramser (1959) yaklaşımını geliştiren etkili bir sezgisel algoritma önermiştir. Wilson ve Colvin (1977), tek bir aracın değişken talep ortamında rotalanmasını çalışmıştır. İleriki yıllarda, GPS (Global Konumlandırma Sistemi) ve CBS teknolojisinde yaşanan gelişmeler ile birlikte gerçek hayat şartlarındaki planlama faaliyetlerinde yaşanan dinamik durumlar nedeniyle Dinamik Rotalama Problemi üzerinde çalışılmıştır. Söz konusu probleme; dinamik programlama yaklaşımıyla [65], dinamik satır üretme algoritması ile [66], tabu arama algoritmasıyla [67], genetik algoritmayla [68] ve karınca kolonisi algoritması ile [69] çözüm arandığı görülmektedir. Sezgisel yapısından dolayı ARP, Gezgin Satıcı ve Sırt Çantası Problemlerinin birleşmiş bir hali olarak tanımlanmaktadır [70].

ARP'de, birinci şehir depo olmak üzere " n " adet şehir ve " m " adet araç vardır. Her bir aracın kapasitesi " Q ", " i " düğümünden " j " düğümüne olan mesafe " d_{ij} " olarak tanımlanır. Araç rotalama problemi ile " m " adet aracın rotası belirlenirken; her bir şehir yalnız bir defa ziyaret edilir, araçlar rota sürecine aynı depodan başlar ve aynı depoda sonlandırır. Bunun yanında, rota sayısı ve konfigürasyonu ile ilgili çeşitli kısıtlar da oluşturulabilir [71].

Lenstra ve Kan (1981)'a göre NP-Hard yapıda olduğu ifade edilen ARP'nin çözümü için Dal-Sınır, Kesme Düzlemi, Dinamik Programlama ve Tam Sayılı Programlama algoritmalarının yanında Tur Kurucu, Tur Geliştirici ve İki Aşamalı Sezgiseller ile Tavlama Benzetimi, Tabu Arama, Genetik Algoritma, Karınca Kolonisi ve Parçacık Sürü Optimizasyonu gibi özel algoritmalar da kullanılmaktadır [61, 72].

4.1. Problem Türleri

ARP, günümüze kadar sıklıkla ele alınan ve çeşitli çözüm yöntemleri geliştirilen problem türlerinden biridir. İteratif kombinasyonel bir problem olan ARP’de problem türleri kısıtlara göre çeşitlilik göstermektedir. Yaygın olarak kullanılan kısıtlar; kapasite kısıtları, bir rotada olabilecek en fazla talep noktası kısıtı, bir rotada aracın toplam süre kısıtı, talep noktalarına hizmetin başlanabileceği zaman penceresi kısıtı, bir talep noktasının başka bir talep noktasından önce ziyaret edilmesinin gerektiği öncelik kısıtıdır [71]. Bunun yanında; literatürde araç rotalama problemleri için birçok yayın tarama ve sınıflandırma çalışması da yapılmıştır. Yapılan genel sınıflandırmaya göre ARP; dinamik ve statik çevre durumuna göre, rotalama durumuna göre, kısıtlara göre ve yolların durumuna göre ayrılmaktadır [71].

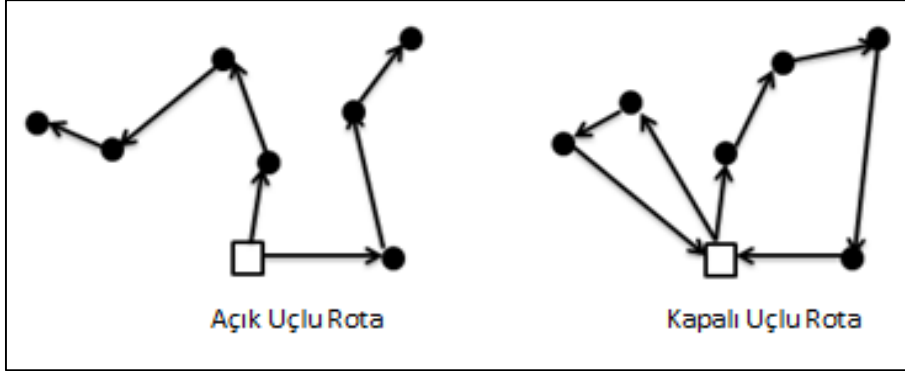
4.1.1. Dinamik ve statik çevre durumuna göre ARP

Deterministik ARP olarak da bilinen statik çevre durumunda; kısıtlar, talepler, kapasiteler, maliyet bilgileri gibi değişkenler önceden bilinmektedir. Statik ARP’de genellikle önceden miktarı ve zamanı bilinen talepler için rota planları oluşturulur ve servis sistemlerinin genel olarak değerlendirilmesinde kullanılır [73]. Dinamik araç rotalama da ise, zaman penceresi içerisinde farklı dönemlerde gerçekleşmesi istenen hizmet için çoklu araçların rotalanması yapılır. Dinamik ARP’de lojistik süreci devam ederken yeni taleplerin ortaya çıkması, müşterinin talep miktarında değişiklik olması, bazı yolların kapanması veya yeni yolların ortaya çıkması gibi beklenmeyen durumlar söz konusu olabilmektedir [74]. Psaraftis (1988), dinamik ARP’nin statik ARP’den farklarını şu şekilde sıralamaktadır:

- Zaman boyutu vardır ve kısıtlamalar söz konusudur.
- Gelecek dönemlerle ilgili bazı bilgiler bilinmeyebilir. Yakın dönem içerisinde gerçekleşen olaylar daha önemlidir.
- Bilgileri güncelleyen mekanizmalar gereklidir,
- Tekrar sıralama ve değiştirme kararları olabilir.
- Belirsiz erteleme mekanizmaları önemlidir.
- Amaç fonksiyonu farklı olabilir.
- Kuyruk değerlendirmeleri önemlidir.
- Dönemsel kapasite sınırlamaları önemlidir.

4.1.2. Rotalama durumuna göre ARP

ARP, rota sürecinin bir merkezden başlayarak aynı merkezde sonlanması veya merkezden bağımsız olarak son müşteride sonlanması şeklinde açık ve kapalı uçlu olmak üzere iki farklı şekilde incelenir [75]. Şekil 4.1’de açık ve kapalı rota görseli verilmiştir.



Şekil 4.1. Açık ve kapalı uçlu araç rotalama şekilleri

Açık uçlu ARP, belirli bir talep ve bilinen coğrafi konumlar ile bir dizi müşteriye hizmet eden araç filosu için rotaların tanımlanmasıdır. Her rota bir dizi müşteriyi ifade eder. Bu rota, depo merkezinden başlar ve müşteride biter. Kapalı uçlu ARP’de ise, her rota bir depo merkezinden başlar ve aynı depo merkezinde biter [75, 76]. Literatürdeki ARP çalışmalarının sıklıkla kapalı uçlu rotalar üzerinden yürütüldüğü görülmektedir [73].

4.1.3. Yolların durumuna göre ARP

Yolların durumuna göre yapılan sınıflandırmada ARP, geliş ve gidiş mesafelerinin eşit olup olmaması bakımından ikiye ayrılmaktadır. Simetrik araç rotalama problemi, bir dizi rotanın toplam rota maliyetini en aza indirmeyi amaçlar ve şu özelliklere sahiptir [77]:

- Her müşteri tam olarak sadece bir rota tarafından ziyaret edilir.
- Her rota depoda başlar ve depoda biter.
- Araç kapasitesini aşmayan rotalar tarafından toplam müşteri talepleri karşılanır.
- Her rotanın uzunluğu belli bir sınırı aşmaz.

Bazı durumlarda gidiş dönüş mesafeleri birbirine eşit olmayabilir. Asimetrik yollu ARP olarak da isimlendirilen bu tip kapalı uçlu rotalama problemlerinde, araçların ilk olarak

hangi müşteriye gideceği önem kazanmaktadır. Bu durum, rotanın dönüş yönünün ayrıca belirlenmesi ve rota mesafesinin hesaplanmasını gerektirmektedir [73].

4.1.4. Kısıtlarına göre ARP

ARP, kısıtlar bakımından incelendiğinde araçların veya depo merkezlerinin kapasite kısıtları, yollara ilişkin mesafe ve süre kısıtları, teslim sürelerine ilişkin zaman kısıtları, hizmet yapısı kısıtlarına göre sınıflandırılmaktadır.

Kapasite kısıtlı ARP; bir şebeke üzerinde tüm araçların toplam rota mesafesini minimum yapan, her düğüme bir defa uğranılan, merkez düğüme bağlı, kapasite kısıtlarını aşmayan “ m ” adet rotanın belirlenmesi problemi. Bu problem türünde, genellikle müşterilerin talepleri, depo ve araç kapasiteleri gibi değişkenler deterministiktir [61, 75]. Araçlar aynı özelliklere sahip, tek bir merkez depoya bağlı ve sadece yüklenen araçlar için kapasite kısıtlıdır. Lin vd.’ne (2009) göre, müşteri talepleri bölünmeden tek seferde karşılanır ve araçlar belirli bir depodan başlayarak yine bu depoda rotalanma sürecini tamamlarlar. Müşteri ve depolar arasındaki mesafeler simetrik yapıdadır ve ulaşım süreleri bu mesafeye bağlı olarak belirlenir.

Mesafe kısıtlı ARP’de; her bir aracın kat ettiği toplam mesafeyi en küçükleyen kısıtlar eklenir. Bazı durumlarda mesafe kısıtı yol maliyetini ortaya çıkaran toplam rota tamamlama süresi olarak da yorumlanmaktadır [79].

Zaman pencereci ARP; kapasite kısıtlı ARP’nin, her bir düğüme zaman penceresi olarak tanımlanan “[a, b]” zaman aralığı kısıtının eklenmesi ile geliştirilmiş halidir [80]. Zaman pencereci ARP merkez bir ana depodan, coğrafi olarak dağılmış talep merkezlerinin ihtiyaçlarını belirtilen zaman aralığı içinde karşılamak için en az araçlı, en kısa mesafeli rotaları bulmayı amaçlar [73, 80].

Toplama ve dağıtım kısıtlı ARP; toplama ve dağıtım işlemlerini birlikte içeren bir araç rotalama problemi türüdür. Dağıtım taleplerinin depodan başladığı, toplama taleplerinin depoya getirildiği ve müşteriler arasında mal akışının olmadığı bir durumdur. Toplama ve dağıtım kısıtlı ARP’de; araç akışı ve toplam dolaşım süresini en küçüklemek ile birlikte, malları müşterilere dağıtmak için ve müşterilerden toplanan malları depoya getirmek için

yeterli kapasiteye sahip olmak hedeflenir. Her rotaya atanmış olan toplam dağıtım miktarı araç kapasitesini aşmıyorsa ve araç, müşterilerden toplanan malları almak için yeterli kapasiteye sahipse çözüm uygundur [81].

Toth ve Vigo'ya (2002) göre, NP-zor yapıda olan Kapasiteli ARP'de kesin yöntemler çözüm uzayının tamamını arayacağından problemin büyüklüğü arttıkça çözüm için gereken süre de üssel olarak artmaktadır. Literatürde, Kapasiteli ARP için geliştirilmiş çok sayıda matematiksel model bulunmaktadır [82]. Aşağıda Christofides vd. (1981) tarafından önerilen matematiksel model verilmiştir.

İndisler:

$i, j =$ müşteriler.

Parametreler:

$Q =$ Araç yükleme kapasitesi.

$q_i =$ i müşterisinin talep miktarı.

$M =$ Araç sayısı.

$N =$ Müşteri sayısı.

$c_{ij} =$ i müşterisi ile j müşterisi arasındaki mesafe veya maliyet.

Positif Değişkenler:

$y_i =$ Alt turları engellemek için kullanılan rastgele değişken.

Karar Değişkeni:

$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } k \text{ aracı } i \text{ müşterisinden } j \text{ müşterisine giderse,} \\ 0, & \text{d. d.} \end{cases}$

Model:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (c_{ij} \cdot \sum_{k=1}^M x_{ijk}) \quad (4.1)$$

st.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^M x_{ijk} = 1 \quad \forall j \quad (j \neq 0) \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ipk} - \sum_{j=0}^N x_{pjk} = 0 \quad \forall k, p \quad (p \neq 0) \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^N \left(q_i \cdot \sum_{j=0}^N x_{ijk} \right) \leq Q \quad \forall k \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \quad \forall k \quad (4.5)$$

$$y_i - y_j + N \cdot \sum_{k=1}^M x_{ijk} \leq N - 1 \quad \forall i, j \quad (i \neq j \neq 0) \quad (4.6)$$

$$x_{ijk} \in (0,1) \quad \forall i, j, k \quad (4.7)$$

Eş. 4.1'de verilen amaç fonksiyonu toplam yol veya maliyeti en küçüklemeyi hedeflemektedir. Eş. 4.2'de yer alan kısıt ile her müşterinin yalnızca bir kere ziyaret edilmesi sağlanmaktadır. Eş. 4.3'de yer alan kısıt ile varılan müşteriden çıkılması sağlanmaktadır. Eş. 4.4 ile araçların taşıma kapasitesi sınırlandırılmaktadır. Eş. 4.5'de yer alan kısıt ile araçlar sadece bir rotaya atanabilmektedir. Eş. 4.6'da yer alan kısıt alt turların engellenmesini ve her rotanın depodan geçmesini sağlamaktadır. Eş. 4.7 ise, karar değişkeni için tanımlayıcı kısıttır. Kapasite kısıtlı ARP'nin bir diğer halide mesafe kısıtlı rotalama problemleridir. Mesafe Kısıtlı ARP, kapasiteli ARP'ye araçların maksimum mesafe kısıtlarının eklenmesi ile ortaya çıkar. Özellikle taşınan malzemelerin raf ömrü veya araçların kontrol veya yakıt kısıtları dikkate alınarak geliştirilen bu ARP türü gerçek hayatta en çok karşılaşılan problem yapılarından biridir. Yukarıda verilen matematiksel modele Eş. 4.8'de verilen kısıt eklenerek Mesafe Kısıtlı ARP modeli oluşturulur.

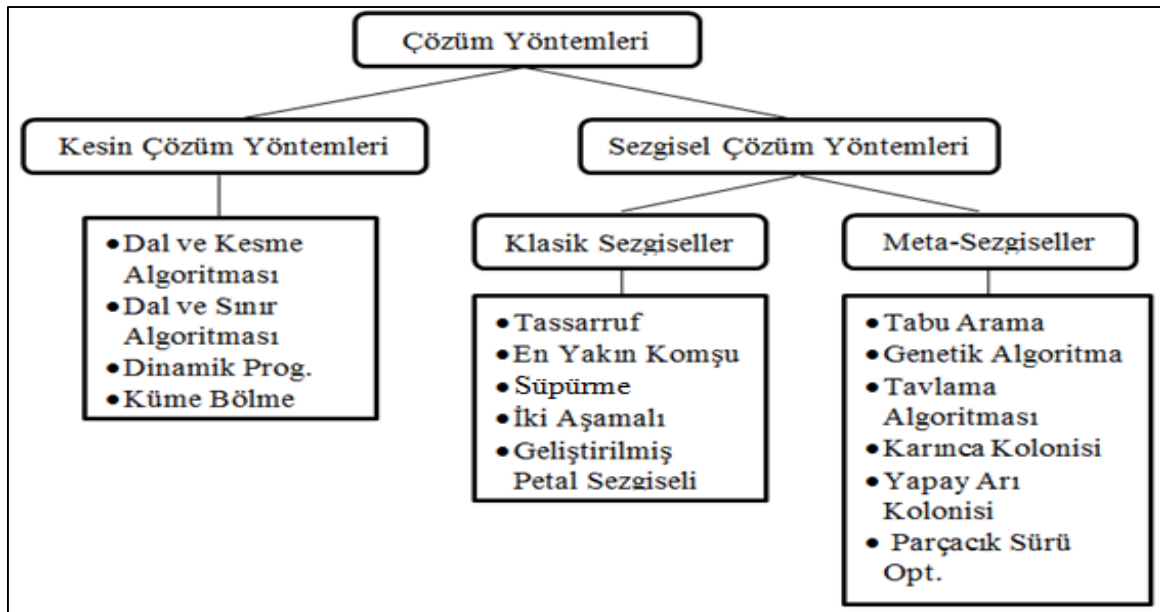
Parametreler:

$T =$ Her bir aracın kat edebileceği toplam mesafe.

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N c_{ij} \cdot x_{ijk} \leq T \quad \forall k \quad (4.8)$$

4.2. Kapasite Kısıtlı ARP Çözüm Yöntemleri

Literatürde Kapasiteli ARP için çok sayıda yayın taraması yapıldığı görülmektedir. Bu problem türü için kesin çözüm yöntemleri; Dal ve Sınır Algoritması [61], Dal ve Kesme Algoritması [83], Dinamik Programlama ve Küme Kaplama [84] şeklinde sınıflandırılırken, sezgisel yöntemler; Klasik Sezgiseller [85, 86] ve Meta-Sezgiseller [87, 88] şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kapasiteli ARP'ye ilişkin geliştirilen çözüm yöntemlerinin genel sınıflandırması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kapasiteli ARP çözüm yöntemleri sınıflandırması

4.2.1. Kesin çözüm yöntemleri

Klasik yöntemler en uygun sonucu veren matematiksel programlama tabanlı yöntemlerdir [89]. Toth ve Vigo (2002)'e göre kesin yöntemler dal sınır, dal kesme ve küme kaplama algoritmalarıdır.

Dal ve Sınır Algoritması

Hachtel ve Somenzi'ye (1996) göre Dal ve Sınır Algoritması çözüm uzayını alt problemlere ayırmak ve daha sonra her bir alt problemi ayrı ayrı optimize etmek için böl ve ele geçir stratejisini kullanır. Diğer bir ifadeyle, bir ağaç olarak ele alınan durum

uzayında en düşük maliyetli çözüm düğümünü arama stratejisidir. Dal ve Sınır Algoritmasındaki “dal” arama ağacındaki dalları keşfetme süreci anlamına gelir [71, 90].

Dal ve Kesme Algoritması

Dal ve Sınır Algoritmasının bir türevi olan Dal ve Kesme Algoritması, tamsayılı doğrusal programların çözümü için kombinasyonel optimizasyon yöntemidir. Bu metod; tam sayı kısıtı olmayan doğrusal programı, simpleks algoritma kullanarak çözer. Optimum bir çözüm elde edildiğinde ve çözüm tam sayı olmayan bir değer içerdiğinde, mevcut kesirli çözüm tarafından bozulan daha ilerdeki doğrusal kısıtları bulmak için kesme düzlemi algoritması kullanılır. Amaç, daha az kesirli bir sonuç elde etmektir ve bu süreç tam sayılı çözüm bulunana kadar devam eder [71, 90].

Küme Kaplama Algoritması

Küme kaplama problemleri "0 – 1" tam sayılı programlama modelinin özel bir halidir. Temel olarak; talep noktalarına verilen hizmetlerin kabul edilen maksimum mesafe veya zaman vb. kısıtlar dâhilinde karşılanmasını sağlayan bir problem tipidir [71, 90]. Küme kaplama problemlerinin matematiksel yapısı, tez çalışmasının “3.1. Yer Seçimi Problemleri” başlığı altında detaylıca ele alınmıştır.

4.2.2. Sezgisel çözüm yöntemleri

Büyük boyutlu araç rotalama problemleri, genellikle karmaşık yapıdaki problemler içerisinde kabul edilmektedir ve bu tür problemleri çözmek yorucu ve uzun uğraşlar gerektirdiğinden genellikle daha hızlı şekilde çözüm üreten sezgisel yöntemler kullanılmaktadır [91, 92].

Sezgisel yöntemler, Klasik Sezgiseller ve Meta Sezgiseller olarak iki gruba ayrılmaktadır. Klasik sezgiseller özel amaçlı bir problemin mümkün çözümünü bulmayı ararken, meta-sezgiseller ise Tavlama Benzetimi, Tabu Arama, Genetik Algoritmalar vb. en iyi çözümü bulmayı amaçlamaktadır [91, 92].

Klasik Sezgiseller

Klasik araç rotalama problemleri için geliştirilen tamsayı modeller küçük boyutlu problemlerde en iyi çözümü verebilir, ancak; problem boyutu büyüdüğünde çözüm bulma süresinin artması beklenir. Günlük hayatta karşılaşılan rotalama problemleri genellikle büyük boyutludur. Bu nedenle; en iyi çözüm olmasa da çok yakın çözümlerin hızlı bir şekilde elde edilmesi istenir. Daha hızlı çözüm bulma amacıyla geliştirilen Klasik Sezgisel Yöntemler; Yapısal Sezgiseller, İki-Aşamalı Sezgiseller ve Geliştirici Sezgiseller olarak sınıflandırılmaktadır [93].

Yapısal Sezgisel Yöntemler

Kapasite Kısıtlı ARP için geliştirilmiş ilk sezgisel yöntemlerden biri Clarke ve Wright (1964) tarafından önerilen Tasarruf Algoritması'dır. Bu algorithmada başlangıç koşulu olarak bir aracın bir müşteriye hizmet ettiği durum alınır. Eğer " N " tane talep noktası varsa başlangıçta depodan her bir talep noktasına giden ve tekrar depoya dönen " N " tane rota mevcuttur. Daha sonra sözkonusu rotaların birleştirilmesi ile tasarruf maliyetleri hesaplanır ve kapasite kısıtı dikkate alınarak en yüksek tasarrufu sağlayacak şekilde rotalar daha fazla iyileştirme yapılamayınca kadar birleştirilir [92-94]. Diğer bir yapısal sezgisel yöntem ise En Yakın Komşu Sezgiseli'dir. Bir rotaya atanacak ilk müşteri rassal olarak belirlenir ve son müşterinin ardına, ona en yakın olan başka bir müşteri eklenir. Ekleme işlemi araçların kapasite kısıtı boyunca sürer [93]. Bunların dışında; Eşleme Temelli Tasarruf Algoritması, Sıralı Ekleme Sezgiseli gibi yöntemler de mevcuttur [73].

İki-Aşamalı Sezgisel Yöntemler

İki aşamalı sezgisel yaklaşımlarda kümeleme ve rotalama işlemleri iki aşamalı şekilde yapılır. Örneğin; önce kümeleme yapılır ve kümelenen gruplara araçlar rotalanır ya da önce rotalama işlemi yapılır ardından rotalanan araçların hizmet vereceği gruplar kümelenir. Önce kümeleme işleminin yapıldığı iki aşamalı sezgisel yaklaşımların en sık kullanılanı Süpürme Algoritması'dır. Bu yöntemde, ilk aşamada hizmet verilecek müşteriler kümelere ayrılır ve böylelikle " m " sayıda gruplanmış bir Gezgin Satıcı Problemi ($m - GSP$) yapısı oluşturulur [93]. Bunun dışında; Genelleştirilmiş Atama

Temelli Algoritma, Konum Temelli Sezgisel Algoritma gibi yaklaşımlar da mevcuttur [93].

Geliştirici Sezgisel Yöntemler

Geliştirici Sezgiseller, Tek-Rota İyileştirme veya Çok-Rota İyileştirme sezgiselleri şeklinde rota üzerinde iyileştirme yapılıp yapılamayacağını araştırır. Bir rota üzerinde iyileştirme yapılırsa gezgin satıcı problemlerinde kullanılan geliştirici yaklaşımlar kullanılabilir [92].

Meta-Sezgiseller

1980'li yıllarda ortaya çıkan ve günümüze kadar teori ve uygulamada etkileyici gelişmeler elde edilen meta-sezgiseller yaklaşımlar, NP-hard yapıdaki kombinasyonel en iyileme problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [94, 95]. Her bir iterasyonda bir çözümden yola çıkarak iyi kalitede çözümlerin arandığı bu yöntemler esasen, daha alt kademedeki sezgisel yöntemlerin başarılı bir şekilde birleştirilmesinden oluşur.

Son yıllarda, ARP'nin çözümü için çeşitli iyileştirici sezgisel yaklaşımları içinde barındıran ve iyi çözümler için çözüm uzayını araştıran çok sayıda meta-sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde, klasik sezgisellerden farklı olarak, arama sürecinde bozulmaya veya bazen uygun olmayan ara çözümlerin kabulüne de izin verilmektedir [94]. Genetik Algoritmalar, Tabu Arama ve Tavlama Benzetimi en sık kullanılan meta-sezgisel yöntemlerden bazılarıdır.

Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritma, doğadaki olayları taklit eden evrimsel algoritmaların yaygın olarak kullanılan bir çeşididir. Temel yaşam ilkelerini simüle eden evrimsel algoritmalar; dönüşüm, çaprazlama ve seçim gibi genetik operatörleri bir allel dizisine uygular [96, 97]. Algoritmanın temel adımları şu şekildedir [98]:

Adım 1: Mümkün çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluştur. (Çözüm grubu popülasyon, kodlar ise kromozom olarak ifade edilir).

Adım 2: Popülasyondaki her kromozomun ne kadar iyi olduğu uygunluk fonksiyonu ile belirlenir. Bu işleme evrimleşme denir.

Adım 3: Popülasyondaki çözümler uygunluk değerlerine göre eşlenerek çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabii tutulur. Böylece, yeni bir toplum oluşturulur. Çaprazlama işlemi çeşitliliği sağlarken, mutasyon işlemi yerel optimum noktalardan kurtulmayı sağlar.

Adım 4: Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar çıkartılarak sabit büyüklükte bir toplum sağlanır. Ardından, tüm kromozomların uygunluk fonksiyon değerleri tekrar hesaplanır ve yeni toplumun başarısı bulunur.

Adım 5: Adımlar yinelenerek verilen nesil sayısı süresince daha iyi yeni nesillerin oluşturulması gerçekleştirilir.

Adım 6: En iyi bireyler bulununca çözüm elde edilmiş olunur.

Özetle; popülasyon adı verilen, rassal çözümler kümesinden oluşan bir küme oluşturulur. Popülasyondaki her çözüm arama uzayındaki bir noktayı temsil eder ve kromozom olarak adlandırılır. Kromozomlar her adımda üreme olarak adlandırılan evrim işlemine tabii tutulur. Her üremede kromozomlar bazı uygunluk ölçüleri ile değerlendirilir. Uygunluk ne kadar yüksek olursa, üreme işlemi için gereken çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabii tutulma olasılığı da o kadar yüksek olur. Çaprazlama aşamasında iki kromozom arasında bazı bölgeler yer değiştirilerek yeni kromozomlar elde edilir. Ebeveynlerden oluşmuş yeni çözümler çocuk olarak adlandırılır. Mutasyon aşamasında ise yerel en iyi çözümlere takılmanın engellenmesi için popülasyon içindeki çeşitlilik korunur. Popülasyon büyüklüğü her adımda sabit kalacağından, üreme için uygunluk seviyesine göre seçilecek ebeveyn veya çocuklar haricindeki çözümler popülasyondan atılır. Önceden belirlenmiş iterasyon sayısında gerçekleşen üreme işlemi sonrasında, algoritmanın en iyi kromozoma yaklaşması sağlanır [99].

Tabu Arama

Glover (1986) tarafından literatüre kazandırılan Tabu Arama sezgiseli, komşu arama temelli ve yerel en iyi çözümden kaçan bir yöntemdir. Temel olarak insan belleği sürecini simüle eder [92]. Tabu Arama sezgiseli, komşu çözümlerde arama yapar ancak; yerel bir çözüme takıldığında iyileştirici olmayan harekete izin verir ve daha önce elde edilerek hafızaya kaydedilen tabu listesindeki çözümlere tekrar dönmeyi engelleyip çevrimin önüne geçer [88].

Tabu Arama sezgiselinin adımları şu şekildedir: ilk olarak mümkün çözümler kümesinden herhangi bir çözüm " x_{mevcut} " olarak atanır. Tabu olarak kabul edilen çözümleri hafızada tutan " H " tabu kümesi tanımlanır. Bu küme başlangıçta boş bir kümedir. Ardından, " x_{mevcut} " çözümünün tüm komşu çözümleri bulunur ve " $N(H, x_{mevcut})$ " kümesine atanır. " $N(H, x_{mevcut})$ " kümesi; mevcut çözümün komşu çözümlerini ve bu komşu çözümlerden belirli bir adım kadar dönülmeyecek olan tabu çözümlerinin yer aldığı kümedir. Ardından, tabu çözümleri içermeyen aday çözümlerden oluşan " $aday - N(x_{mevcut})$ " kümesi oluşturulur. Daha önce belirlenmiş olan bitirme koşulu sağlanmışsa algoritma burada sonlanır ve yaklaşık en iyi çözüm elde edilmiş olunur. Eğer sonlanma koşulu sağlanmamışsa; " $N(H, x_{mevcut})$ " kümesi güncellenir ve mevcut çözüm için ilk adıma geri dönülür [92]. Tabu aramada bitirme koşulu; belirli bir adım kadar algoritmanın çalışması, belirli sayıdaki adımda herhangi bir iyileşmenin sağlanamaması veya çözümün başta belirlenmiş bir değerinin altına düşmesi şeklinde belirlenmektedir [88].

Tavlama Benzetimi

Tavlama Benzetimi, Metropolis vd. (1953) tarafından sıcak banyo içindeki malzemenin soğutulması işlemini ifade eden tavlama sürecini simüle eder. Tavlama işleminin simülasyonu, malzemenin parçacıklar sistemi olarak düşünülmesiyle gerçekleştirilmektedir [102].

Kirkpatrick vd. (1983) tavlama algoritmasının en iyi çözüme ulaşmak için mümkün çözümlerin aranmasında kullanılabileceğini ileri sürmüştür. Böylelikle; her iterasyonda küçük olasılıklarla kötü çözümleri de kabul eden yapısı ile en iyi çözüme takılmadan, yerel arama yapan bir sezgisel yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır [102, 103]. Ancak bu yöntemde; genel en iyi yerine, yerel en iyi çözüme takılma olasılığı daha yüksektir [94]. Genel bir Tavlama Benzetimi algoritmasının temel adımları şu şekildedir [104]:

Adım 1: Rastgele bir başlangıç çözümü üret. Bunu, en iyi çözüm " S " olarak ata. " t " iterasyon sayacını " 0 " ata.

Adım 2: Bir başlangıç sıcaklık değeri " T_B " belirle. Bunu " T_0 " mevcut sıcaklık değeri olarak ata. ($T_0 = T_B$)

Adım 3: En iyi çözüm " S " den yola çıkarak, rastgele bir komşu çözüm oluştur.

" $S^1 \in N(S)$ "

Adım 4: " S^1 " çözümüyle, " S " çözümünün amaç fonksiyon değerleri farkını belirle.

$$(\delta = C(S^1) - C(S))$$

Adım 5: Eğer; " S^1 " çözümü daha iyi ($\delta < 0$) ise, " S^1 " çözümünü " S " çözümüne ata. Eğer; " S^1 " çözümü daha kötü ($\delta > 0$) ise ve " T_t " mevcut sıcaklık değerinde ($e^{-\delta/T} > \theta$; θ , "0-1" aralığında bir rastgele sayıdır.) koşulu sağlanıyorsa, " S^1 " çözümünü " S " çözümüne ata. Değilse; mevcut " S " çözümünü koru.

Adım 6: " T_t " sıcaklığını Eş. 4.9'a göre revize et.

$$T_t = R \cdot T_{t-1} \quad R \in (0,1) \quad (4.9)$$

$T_t = t / (1 + \beta \cdot t)$ β uygun küçük bir değerdir.

Adım 7: Eğer; durdurma kriteri sağlanıyorsa iterasyonu durdur. Değilse; iterasyon sayacı " t " yi bir artır ve Adım 3'e git.

Özetle; bir mümkün çözümle ve bir " T " sıcaklık değeriyle başlanır. Sonraki adımda, başlangıç mümkün çözümünün komşu bir çözümü değerlendirilir. Yeni çözüm amaç fonksiyonu için daha iyi bir değer verirse algoritma bu komşu çözümle devam eder. Eğer komşu çözüm daha kötü bir amaç fonksiyonu değeri verirse, bu çözümün kabul edilmesi; başlangıç sıcaklığı, (0,1) aralığında üretilen rassal bir sayı, amaç fonksiyonu farkları ve mevcut sıcaklığın olduğu bir eşitsizlik ile değerlendirilir. Bu esasen, mevcut çözümden çok daha kötü çözümlerin kabul edilme olasılığının, daha az kötü çözümlere göre az olacağı anlamını ifade etmektedir [105].

Demon Algoritması

Creutz 'a (1983) göre, Demon Algoritması (DA), basitçe hesaplanan kabul fonksiyonları kullanan, Tavlama Benzetimi temelinde geliştirilen meta-sezgisel algoritmalardan biridir. Algoritmada kabul fonksiyonu, Demon'un kredi değeriyle ilişkili olarak belirlenir. Başlangıçta Demon'a bir " D " değeri verilir. Bulunan bir geliştirilmemiş çözümde; eğer Demon'un kredi değeri, amaç fonksiyonunda sağlanan azaltmadan daha büyük ise çözüm kabul edilir. DA algoritması daha yüksek bir amaç fonksiyonu değeri veren çözümü kabul ettiğinde, amaç fonksiyonunda sağlanan değişim Demon kredisine eklenir. Benzer şekilde, geliştirilmiş bir çözüm elde edildiğinde, algoritma Demon kredisini amaç fonksiyonunda sağlanan düşüş kadar azaltır. Aşağıda klasik bir DA algoritması için adımları verilmiştir [106].

Demon Algoritması Sezgisel Yapısı:

Input: */* Başlangıç Demon Değeri */*

$s = S_0$; */* Başlangıç çözümü üret */*

Repeat

Bir rassal komşu s' üret ;

$\Delta E = f(s') - f(s)$;

If $\Delta E \leq D$ Then

$s = s'$; */* Komşu çözümü kabul et */*

$D = D - \Delta E$; */* Demon değerini güncelle */*

Until */* Durma koşulu sağlanana kadar */*

Output: */* En iyi çözüm */*

DA'da kabul fonksiyonu karşılaştırma ve fark olarak ilerlerken, Tavlama Benzetiminde kabul fonksiyonu bir üssel dağılıma ve rassal sayı üretimine bağlıdır. Demon değeri her çözümde elde edilen kredi değerine göre dinamik olarak değişirken, Tavlama Benzetimi ve Tabu Arama algoritmalarında sıcaklık değeri veya sınır limiti dinamik olarak değişmez. Demon tarafından absorbe edilen veya bırakılan kredi değeri, kabul edilmiş çözümlere dayanır [107]. Literatürde; DA algoritmasının kabul fonksiyonlarının tavlama programına göre değiştiği çeşitli versiyonları ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan bazıları; “Sınırlandırılmış Demon Algoritması, Tavlamalı Demon Algoritması, Rassal Sınırlandırılmış Demon Algoritması, Rassal Tavlamalı Demon Algoritması” şeklindedir [107, 108].

4.3.İHA Rotalama Problemleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

İHA'ların gerek sivil gerekse askeri alanlarda kullanım etkileri ve önemleri giderek artmaktadır. Karakaya'ya (2014) göre; teknoloji yoğun bu sistemlerin etkin kullanımında karşılaşılan en önemli problem, maksimum sayıda hedefi gözlemleyebilecek minimum maliyetli rota veya görev planını belirleyebilmektir. Bu problem türü literatürde Çoklu Gezgin Satıcı Problemi [110] ve Araç Rotalama Probleminin [111] bütünleştiği olarak kabul edilmektedir. İHA'ların rotalama problemi son yıllarda ilgi çeken konulardan biri olmuştur [112-116].

Enright ve Frazzoli (2005), çalışmalarında, rassal olarak değişen zaman ve lokasyonlarda ortaya çıkan hedeflerin olduğu dinamik yapıdaki bir ortamda heterojen İHA grubunun hedeflere atanması ve rotalanmasını araştırmış, amaç fonksiyonunu hedeflerin minimum zamanda tespiti üzerine teşkil etmişlerdir. Kuyruk teorisi, kombinasyonel optimizasyon ve stokastik geometri kullanarak geliştirdikleri yöntemin, İHA görev ve rota planlama sürecindeki etkilerini senaryolarla test etmişlerdir.

Collins vd. (2007), İHA rotalama ve sensör optimizasyonunu birlikte ele aldıkları çalışmalarında hedeflerin konumlarını bir olasılık dağılımına göre belirleyip, problemi şebeke temelli bir algoritma ile modellemeye çalışmışlardır. Simülasyon sonuçları rotalama ve sensör optimizasyonunun birlikte ele alındığı yöntemlerin hedefleri tespit etme konusunda daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Pakkan ve Ermiş (2010), çalışmalarında homojen yapıdaki İHA'ların çoklu hedeflere rotalanması sürecini Kapasiteli ARP olarak ele almış ve Genetik Algoritma tabanlı bir çözüm yöntemi önermişlerdir.

Sun vd. (2011), üç boyutlu ve engebeli yapıların bulunduğu arazi üzerinde İHA'lar için rota belirleme çalışmalarında "Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)", "Skeletonization" ve "B-spline Curve" yapılarını kullanmışlardır. İHA'ların uçuş esnasında yapacakları keskin dönüşleri en küçükleme için "B-spline Curve", araziye ait eş yükselti eğrilerini kullanarak uygun güzergâh belirlemede "Skeletonization" kullanılmıştır. Çalışmanın dikkat çeken noktası, PSO algoritmasının başlangıç partikülü olarak "Skeletonization" aşamasında belirlenen güzergâhları kullanmasıdır. Böylelikle PSO sürecinde gereksiz arama işleminden kaçınılmıştır.

Seylan vd. (2012), düzlemsel olmayan arazilerin insansız araçlarla taranması için geliştirdikleri yöntemde araziye eşit karesel alanlara sahip düğümlere ayırmış, komşu düğümlere yükselti ve eğime bağlı ağırlıklar atamış ve Minimum Kapsama Ağacı ile tarama rotasını belirlemişlerdir.

Sundar ve Rathinam (2012), hedef noktaların tamamının tek İHA tarafından en az bir kez ziyaret edildiği ve herhangi bir yakıt merkezinden yakıt alımı yapılabilen İHA rota planı üzerine çalışmıştır. Yakıt kısıtlı gezgin satıcı problemi olarak ele aldıkları söz konusu

probleme karışık tamsayılı doğrusal programlama ve çeşitli sezgisel metodlar kullanarak çözüm aramışlardır. Çözüm sonuçlarına göre; geliştirdikleri 3-opt. Sezgiseli çözüm süresi ve rota maliyeti açısından daha avantajlı gözükmektedir.

Mufalli vd. (2012), İHA'ların sensor entegrasyon yetenekleri, sensorlerin görüş yetenekleri ve izlenecek hedeflerin zaman penceresini de dikkate alarak İHA rota planlamasına farklı bir bakış kazandırmıştır. 4 farklı sensor tipi kullanarak belirli bir düzlemdeki 6 hedefin izlenmesi istenen test uygulamasında "Entegre Sensör ve Rota Seçimi" isimli karışık tamsayılı doğrusal modeli ile çözüm aramışlardır. Ardından söz konusu problemi, sensor seçimi ve rotalama aşamalarını ayrı ayrı ele alarak sezgisel yöntemlerle incelemişlerdir.

Chen vd. (2012), statik ve dinamik engellerin bulunduğu ortamda hedeflerin takibi ve engellerden kaçınılma için bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. İHA'ların dinamik ve kinematik özellikleri ile sensör yetenekleri matematiksel model içerisinde yer bulmuştur.

Sun ve Duan (2012), rotalama ve sensor yönetiminin birleşik olarak ele alındığı çalışmalarında dinamik ortamda ilerleyen İHA'nın hedefleri araması sürecini modellemişlerdir. Çalışmada dikkat çeken nokta, hedeflerin konum tahminlemesi için "Partikül Filtresi" algoritmasının kullanılmasıdır. Probleme ilişkin simülasyon sonuçları, sensor ve rota yönetiminin birleşik olarak ele alındığı algoritmanın ayrı ayrı ele alınan algoritmalara göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Pehlivanoğlu (2012), otonom İHA'ların rota planlamasında Çok Frekanslı Vibrasyonel Genetik Algoritma yapısını kullanmıştır. Genetik Algoritmanın başlangıç aşamasında "Kümeleme" ve "Voronoi Diyagramı" kullanılması dikkat çekmektedir.

Ercan ve Gencer (2013), değişik imkân ve kabiliyetlerdeki İHA'lardan oluşan heterojen yapıdaki İHA filosunun statik araç rotalama problemleri için tam sayılı programlama çözüm modeli önermişlerdir.

Karakaya (2014), uçuş mesafesi kısıtlarına sahip belirli sayıdaki İHA'nın maksimum sayıdaki hedefi kapsayacak şekilde rotalanması problemine Max-Min Karınca Kolonisi Algoritması ile çözüm aramıştır. En Yakın Komşu Sezgiseli ile karşılaştırdıkları test

sonuçlarında, önerilen Max-Min Karınca Kolonisi Algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği dikkat çekilmiştir.

Zheng vd. (2014), heterojen yapıdaki İHA filosu ve çoklu hedef ortamında rotalama problemini zaman penceresi içerisinde çözmeye çalışmışlardır. Tabu Arama yöntemiyle geliştirilen algoritma simülasyon ortamında test edilmiş, görevlendirilen İHA sayısı, zaman kısıtları, merkezden havalanma ve merkeze dönüş değerleri Genetik Algoritma ve Karınca Kolonisi Algoritması sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Babel (2014), sabit kanatlı İHA'ların navigasyon yeteneklerinin de dikkate alındığı ve çeşitli engellerin bulunduğu yol üzerindeki rota planında ağ tabanlı bir method kullanmıştır. Çalışmalarında, özellikle İHA'larda bulunan iç navigasyon sisteminin (Inertial Navigation System-IMU) yol açtığı gerçek konum ve tahmin edilen konum arasındaki farklılıklardan kaynaklanan problemlere değinilmiş, bu problemin uydu tabanlı konumlandırma sisteminin (GPS) yanında görsel navigasyon (Visual Navigation-VN) ile desteklenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Geliştirilen model, içerisinde uçulmaz alanları ve karasal zemin yer işaretlerini içeren üç farklı operasyonel alan üzerinde test edilmiş, test sonuçlarında yer işaretlerinin artışı ile İHA anlık konum verilerinin doğruluğu arasında önemli bir ilişki olduğu vurgulanmıştır.

Guerriero vd. (2014), çok boyutlu düzlemdeki dinamik hedeflerin İHA uçuş rotası ile kaplanmasını inceledikleri çalışmalarında; toplam uçuş yolunun en küçüklenmesi, zaman penceresi içerisinde tüm hedeflerin kaplanması ve kullanılan İHA sayısının en küçüklenmesi şeklinde üç farklı amaç üzerinde durmuşlardır.

Sarıççek ve Akkuş (2015), İHA'lar ile sınır güvenliğini sağlamada üs konumlarının seçimi ve rota planlaması aşamalarından oluşan iki aşamalı bir çalışma yürütmüşlerdir. Birinci aşamada; aday konumlar hava alanı yapısı, tehdit kaynaklarına yakınlık, sınır bölgesine yakınlık, hava trafik yoğunluğu kriterleri açısından ELECTRE metodu ile uzman kişilerce değerlendirilmiş ve her bir aday konum için uygunluk parametreleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise İHA rota planlaması, maksimum uygunluk değerini oluşturacak rota planı ve minimum maliyet oluşturacak İHA rotası şeklinde iki ayrı model olarak ele almıştır.

Avellar vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, belirli bir alanı bir zaman dilimi içerisinde kamera yetenekleri ile tarayacak İHA'lar için görev planı belirleyen çözümler önerilmiştir. Önerilen yöntemde; önce bir İHA'nın karasal zemindeki hedefleri en kısa zamanda kapsayacağı ağaç yapısı belirlenmeye çalışılmış, ardından birinci aşamadan alınan sonuçlar doğrultusunda İHA grubunun tüm alanı kapsayacağı rota yapısı karışık tam sayılı doğrusal modelleme ile belirlenmeye çalışılmıştır.

İHA'ların rota planlaması sürecinde coğrafi yapı, tehlikeli bölgeler, emniyet irtifası, hareketli/hareketsiz hedefler, yükselti, yakıt, mühimmat, tehdit özelliklerinin çok kriterli karar verme teknikleri ile derecelendirildiği çalışmalar da bulunmaktadır [132, 133].



5. SINIR GÜVENLİĞİNİN KGB VE İHA'LAR İLE SAĞLANMASINA YÖNELİK MODEL ÖNERİLERİ

Çalışmada, sınır güvenliğinin KGB'ler ve İHA'lar ile sağlanmasına yönelik 3 adet KGB, 3 adet İHA ve 1 adet Hibrit olmak üzere 7 adet ana model önerilmiştir. KGB'ler için geliştirilen Model 1'de minimum maliyet ile tüm noktaların gözlemlenmesini hedefleyen yer seçimi; Model 2'de coğrafi arazi özelliklerinin uzman görüşlerine göre değerlendirilmesine yönelik yer seçimi; Model 3'de farklı ağırlıklara göre çok amaçlı yer seçimi modelleri önerilmiştir.

İHA'lar için geliştirilen Model 4'de minimum rota uzunluğu ile tüm noktaların gözlemlenmesi; Model 5'de minimum rota ile birlikte sensör seçimi; Model 6'da ise sezgisel bir rota algoritması yer almaktadır.

KGB'ler ve İHA'ların birlikte kullanımına yönelik geliştirilen Hibrit sistem Model 7'de sunulmuştur.

5.1. Sınır Güvenliğinin KGB'ler İle Sağlanması

Sınır güvenliğinin KGB'ler ile sağlanmasına yönelik geliştirilen modellerde sırasıyla, minimum maliyet, maksimum konum uygunluğu ve çok amaçlı yer seçimi çalışması yapılmıştır.

5.1.1. Minimum maliyet ile tüm noktaların gözlemlenmesini sağlayan KGB sensör tipi ve yer seçimi: Model 1

KGB'ler ile sınır güvenliğinin sağlanması durumunda, sınır bölgesine yerleştirilecek en az sayıda KGB ile sınır hattında belirlenen bu konumların gözlemlenmesi hedeflenmektedir. KGB'lerin görüş alanları, üzerlerine entegre edilen sensörlerin görüş yetenekleri ve KGB'lerin yer ile bağlantısını sağlayan kablo uzunluğu ile doğrudan ilişkilidir.

Bu modelde minimum sayıda KGB ile tüm noktaların gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Problemin çözümü için aşağıda yer alan KK doğrusal modeli geliştirilmiştir. Her bir sensör tipi için aday konumların, birbirlerini görme durumunun veri olarak matematiksel modele işlenmesi CBS ile sağlanmıştır.

İndisler:

$i = \text{Muhtemel KGB yerleşim yerleri} . \quad i = \{ i_1, i_2, \dots, j, \dots, i_{107} \}$

$s_k = \text{sensör tipleri} . \quad s_k = \{ s_1, s_2, s_3, s_4 \}$

Parametreler:

$d(i, j) = i \text{ ve } j \text{ noktalarını birbirine bağlayan doğru parçası} .$

$c_B = \text{KGB satın alma maliyeti} . \quad c_B = \{ \$ 10\,000 \}$

$c_{s_k} = \text{Sensör tiplerinin satın alma maliyetleri} . \quad c_{s_k} = \{ \$100, \$200, \$300, \$400 \}$

$v(i, s_k, j) = "i" \text{ noktasına yerleştirilen KGB'den } "s_k" \text{ sensörü ile bakıldığında, "i" ve "j" noktaları arasında oluşturulan görüş doğrusu "d(i, j)" gözlemlenebiliyorsa "1", değilse "0". Bu veri, CBS Görüş Analizi sonuçlarından oluşturulan matristen alınmaktadır} .$

Karar Değişkeni:

$x_{i s_k} = \begin{cases} 1, & "i" \text{ noktasına, } "s_k" \text{ sensörü entegre edilmiş KGB yerleştirilirse,} \\ 0, & d. d. \end{cases}$

Model:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_{s_k} (x_{i s_k} \cdot (c_B + c_{s_k})) \quad (5.1)$$

st.

$$\sum_i \sum_{s_k} (x_{i s_k} \cdot v(i, s_k, j)) \geq 1 \quad \forall j \quad (5.2)$$

$$\sum_{s_k} x_{i s_k} \leq 1 \quad \forall i \quad (5.3)$$

$$x_{i s_k} \in (0, 1) \quad (5.4)$$

Geliştirilen modelde; Eş. 5.1 ile, minimum maliyet ile tüm noktaların gözlemlenmesinin hedeflendiği ifade edilmektedir. Eş. 5.2 ile, bir noktanın yerleştirilen KGB'lerden biri veya birkaçı tarafından gözlemlenmesi sağlanmaktadır. Eş. 5.3 ile, bir KGB'ye sadece bir adet " s_k " sensörü entegre edilebileceği belirtilmektedir. Eş. 5.4, karar değişkeni " $x_{i s_k}$ " için tanımlayıcı kısıtlardır.

5.1.2. Uzman görüşlerine göre maksimum uygunluk değeri veren KGB sensör tipi ve yer seçimi: Model 2

KGB'lerin yer seçimi gibi askeri içerikli çalışmalarda coğrafi arazi özellikleri, ulaşım imkanları, terör faaliyetleri, göç olayları vb. çeşitli kriterlerin de dikkate alınması gerekebilir. Bu gibi durumlarda çalışma içeriğine uygun kriterlerin uzman kişilerce değerlendirilmesi ve uzman görüşlerinin matematiksel modellere yansıtılması Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) uygulamalarında sıklıkla görülmektedir.

Model 2'de, sınır bölgesine yerleştirilecek KGB'lerin konumlarının belirlenmesinde uzman kişilerin görüşlerini de dikkate alan bir model önerilmektedir. Birinci modelde yer alan kısıtlar geçerli olmak üzere, 2. Modelde " p_i " indisi eklenmiştir. " p_i " indisi, muhtemel KGB yerleşim yerlerinin, uzman personel tarafından değerlendirilmesi sonucunda ÇKKV kullanılarak belirlenen uygunluk parametrelerini ifade etmektedir. Söz konusu model aşağıda sunulmuştur.

Parametreler:

$p_i =$ KGB aday yerleşim yerlerinin, ÇKKV ile belirlenen uygunluk parametreleri.

Model:

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_{s_k} (x_{is_k} \cdot p_i) \quad (5.5)$$

st.

Eş. (5.2) – (5.4)

$$p_i \in (0,1) \quad (5.6)$$

Geliştirilen modelde; Eş. 5.5 ile, maksimum uygunluk değeri sağlanacak şekilde tüm noktaların gözlemlenmesi hedeflenmektedir. Eş. 5.6'da " p_i " uygunluk parametresinin tanımlayıcı kısıtı verilmektedir.

5.1.3. Amaç programlama yaklaşımı ile KGB'lerin yerleştirilmesi: Model 3

Model 1'de minimum maliyet değerini sağlayan KGB yerleşim yerleri, Model 2'de ise maksimum uygunluk değerini sağlayan KGB yerleşim yerleri aranmıştır. Model 3'de ise,

Model 1 ve 2'deki amaçların birleştirilmesi, diğerk bir ifadeyle; maksimum uygunluk değerini minimum maliyet ile sağlayan KGB yerleşim yerlerinin aranması söz konusudur. Ortaya çıkan bu yeni problem, birbiriyle çelişen birden çok amaca çözüm aranmasını gerektirmektedir. Bu problem türü literatürde Amaç Programlama problemleri içerisinde tanımlanabilir.

Doğrusal programlamada tek bir amacın belirli kısıtlar altında çözümü araştırılır ancak; gerçek hayatta sıklıkla birbiriyle çelişen amaçlara yönelik en iyi çözümün arandığı problemler ile karşılaşılmaktadır. Amaç programlama, birbiriyle paralel veya çelişen hedeflerin olduğu problemlerin çözümü için ilk olarak Charnes ve Cooper (1961) tarafından ileri sürülen pratik bir metodolojidir. Model, ileriki yıllarda birçok yazar tarafından [135-140] geliştirilmiş ve öncelikli/leksikografik doğrusal amaç programlama, tam sayılı amaç programlama, 0-1 amaç programlama [141], geliştirilmiş leksikografik amaç programlama, minimum sapma [142] vb. isimlerini almıştır. Genel bir amaç programlama modeli şu şekildedir [134]:

Model:

$$\min Z = \sum_i (d_i^+ + d_i^-) \quad (5.7)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} \cdot x_j) - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad (5.8)$$

$$d_i^- \cdot d_i^+ = 0 \quad (5.9)$$

$$x_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad (5.10)$$

Eş. 5.7'de yer alan amaç fonksiyonu ile " d_i^+ " ve " d_i^- " sapma değişkenlerinin en küçüklenmesi sağlanır. Eş. 5.8'de; " x_j " karar değişkenini, " a_{ij} " karar değişkeninin katsayılarını, " b_i " ise kısıtları simgeler ve sapma değişkenleri ile birlikte kısıtların karşılanması sağlanır.

Eş. 5.9 ise sapma değişkenlerinden sadece bir tanesinin değer alacağını ifade eder. Eş. 5.10 negatif olmama tanımlayıcı kısıttır. Sağlanmak istenen amaçların belirli bir önceliğe veya

ağırlığa sahip olduğu Öncelikli/Ağırlıklı Amaç Programlama modelinde ise Eş. 5.7’de yer alan amaç fonksiyonu, Eş. 5.11’de verildiği şekilde revize edilir.

$$\min Z = \sum_i m_i. (d_i^+ + d_i^-) \quad (5.11)$$

Amaç programlama metodolojisinin, literatürde geniş bir uygulama alanı bulduğu gözükmektedir. Dean ve Schniederjans (1991) esnek üretim sistemlerine ilişkin üretim planlama problemlerinde, Golany vd. (1991) kimyasal malzemelerin üretiminin yapıldığı bir işletmenin stok kontrol modelinde, Mukherjee ve Bera (1995) maksimum getiri sağlayacak proje seçiminin arandığı yatırım probleminde amaç programlama yaklaşımını kullanmışlardır.

Leung ve Chan (2009) çeşitli operasyonel kısıtlar altındaki bütünleşik üretim planlama probleminde öncelikli amaç programlama, Sarma (1995) demir çelik işletmesinin üretim karışım probleminde leksikografik amaç programlama, Ghiani vd. (2003) alt yüklenicilere üretim paketlerinin paylaştırılmasında tamsayı doğrusal amaç programlama, Lee ve Kim (2000) bilgi sistemleri proje seçimi sürecinde Analitik Ağ Prosesi (ANP) ve 0-1 amaç programlama, Belmokaddem vd. (2009) toplam üretim miktarı, işçilik giderleri, stok taşıma maliyetleri ve iş gücü değişikliğinin en küçüklenmeye çalışıldığı problemlerinde öncelik sırasının bulanık mantık ile belirlendiği amaç programlama yöntemi kullanmışlardır.

Sharma ve Balan (2013), tedarikçi seçimine yönelik çalışmalarında; tedarikçilerin kalite seviyelerini Taguchi kalite fonksiyonu ile belirleyerek önceliklendirme işlemini TOPSIS ile sağlamış ve çok kriterli amaç programlama modeli ile probleme çözüm aramışlardır. Karaman ve Çerçioğlu (2015), kriterlerin önem seviyesini Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile, alternatifleri ise VIKOR yöntemi ile değerlendikleri çalışmalarında hastane yatırım projesi probleminde bütçe ve bölgesel kalkınma amaçları altında hedef programlama yaklaşımı ile çözüm aramışlardır. Bakırlı vd. (2014), savunma yatırım projelerinin seçimi problemini, Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bulanık-AHP yöntemleri kullanarak çok amaçlı sırt çantası problemi şeklinde ele almışlardır. Amaç programlama yaklaşımı her ne kadar tedarikçi seçimi [154], yenü ürün planlama [155], enerji üretimi [156] ve atama [157] konulu problemlerde uygulama alanı bulsa da literatürde yapılan

incelemede keşif ve gözetleme gibi askeri içerikli konularda kullanımının kısıtlı olduğu görülmüştür.

5.2. Sınır Güvenliğinin İHA'lar ile Sağlanması

Sınır güvenliğinin İHA'lar ile sağlanmasına yönelik geliştirilen modellerde sırasıyla, en kısa rota uzunluğunun elde edilmesi, sensör yeteneklerinin rota sürecine entegrasyonu ve büyük boyutlu problemler için sezgisel rotalama algoritmaları ele alınmıştır.

5.2.1. Kapasiteli İHA rotalama modeli ile tüm konumların kaplanması: Model 4

İHA uçuş rota planlaması literatürde; yakıt kısıtı ve İHA'ların kontrol mesafesi kısıtı nedeniyle Kapasiteli ARP içerisinde yer bulmaktadır [113,117]. Uçuş engellerini aşabilmek amacıyla İHA'lar genellikle karasal zeminden belirli bir emniyet mesafesi yüksekliği ile uçuş yapmaktadırlar.

Dinamik İHA rota problemlerinde, uçuş halindeki bir İHA ile görev noktası arasındaki mesafe üç boyutlu olarak ve belirli bir emniyetli yaklaşma mesafesi ile hesaplanmaktadır [115]. İHA'ların rota optimizasyonu için 114 nolu yayın temel alınarak geliştirilen doğrusal Kapasiteli İHA Rotalama Modeli (KİRM) aşağıdadır:

İndisler:

$$u = \text{İHA'lar. } \{1, \dots, U\}$$

$$i, p, j = \text{Hedef noktaları. } \{0, 1, \dots, N\} \{0 \text{ üs merkezi}\}$$

Parametreler:

$$e_i = i \text{ hedefini minimum yaklaşma mesafesi.}$$

$$d_{i,j} = i-j \text{ noktaları arası uçuş mesafesi.}$$

$$U = \text{İHA envanter miktarı.}$$

$$L = \text{İHA'nın maksimum uçuş süresi.}$$

$$v = \text{İHA ortalama uçuş hızı.}$$

$$M = \text{Büyük sayı.}$$

Pozitif Değişken:

$y_i = i$ hedefine varıldığında kat edilen toplam uçuş mesafesi.

Karar Değişkeni:

$$x_{i,j,u} = \begin{cases} 1, & u \text{ İHA'sı, } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına rotalanırsa,} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

Model:

$$\text{Min } Z = \sum_u^U \sum_{i(i \neq j)}^N \sum_j^N (d_{i,j} \cdot x_{i,j,u}) \quad (5.12)$$

st.

$$\sum_u^U \sum_j^N x_{i',j,u} \leq U \quad (5.13)$$

$$\sum_u^U \sum_i^N x_{i',0,u} \leq U \quad (5.14)$$

$$\sum_u^U \sum_{j(i \neq j)}^N x_{i,j,u} = 1 \quad \forall i_{(i \neq 0)} \quad (5.15)$$

$$\sum_{i(i \neq p)}^N x_{i,p,u} = \sum_{j(j \neq p)}^N x_{p,j,u} \quad \forall p_{(p \neq 0)}, u \quad (5.16)$$

$$\sum_i^N x_{i',0,u} = 1 \quad \forall u \quad (5.17)$$

$$\sum_j^N x_{i',j,u} = 1 \quad \forall u \quad (5.18)$$

$$\sum_{i(i \neq j)}^N \sum_j^N (x_{i,j,u} \cdot d_{i,j}) \leq L * v \quad \forall u \quad (5.19)$$

$$y_i + d_{i,j} - y_j \leq M \cdot \left(1 - \sum_u^U x_{i,j,u}\right) \quad \forall i_{(i \neq j,0)}, j_{(j \neq i,0)} \quad (5.20)$$

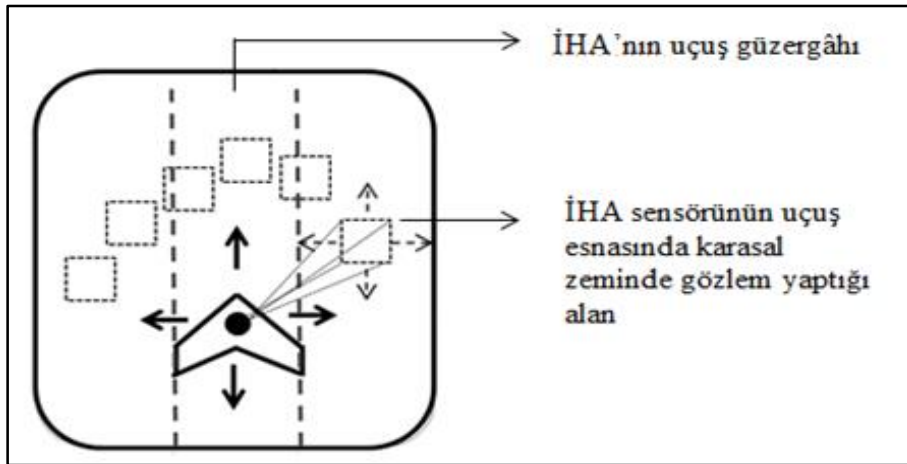
$$d_{i,j} = \sqrt{\left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + \left((z_i + e_i) - (z_j + e_j)\right)^2\right]} \quad (5.21)$$

$$x_{i,j,u} \in (0,1) \quad y_i \geq 0 \quad (5.22)$$

Eş. 5.12’de verilen amaç fonksiyonu ile rotalama sürecinde toplam uçuş mesafesinin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Eş. 5.13 ve Eş. 5.14 ile, üs merkezinden görevlendirilen İHA sayısının envanter miktarı ile kısıtlanması sağlanmaktadır. Eş. 5.15 ile, bir noktadan bir noktaya sadece bir hava aracının rotalanması sağlanmaktadır. Eş. 5.16 ile, bir hedefe ulaşan hava aracının bu hedeften ayrılması sağlanır. Eş. 5.17 ve Eş. 5.18 ile, kalkış ve dönüşlerin üs merkezine yapılması sağlanır. İHA’lar belirli bir mesafenin dışına çıktıklarında Yer Kontrol İstasyonları ile irtibatları kopar. Bu durum Eş. 5.19 ile ifade edilmektedir. Burada, hava araçlarının toplam uçuş mesafesi, maksimum uçuş mesafesi ile kısıtlanır. Eş. 5.20 ile hedeflere varıldığında toplam kat edilen uçuş mesafesinin düzenlenmesini sağlayan alt tur önleme kısıtı yer almaktadır. Eş. 5.21 ile, “i” konumuna ait üç boyutlu koordinat verileri (x_i, y_i, z_i) olmak üzere, hedefler arasındaki uzaklık hesaplanır. Burada; hedeflerin denizden yükseklik değerlerine, minimum yaklaşma mesafesi eklenerek hava araçlarının emniyetli bir yükseklik seviyesinden uçuşu sağlanmaktadır. Eş. 5.22’de değişkenler için değer aralıkları verilmektedir.

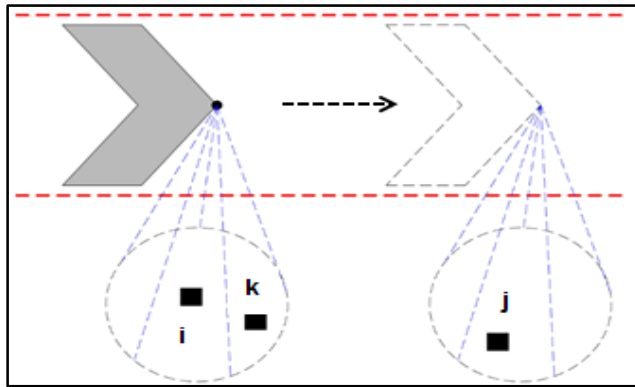
5.2.2. Birleşik sensör seçimi ve İHA rotalama modeli ile tüm konumların kaplanması: Model 5

Belirli bir rota doğrultusunda ilerleyen hava aracının karasal zeminde izleme yapan sensörünün nereye bakacağını belirlemek, literatürde “Sensör Kontrol Problemleri” içerisinde tanımlanmaktadır. Sensör planının belirlenmesi, diğer bir deyişle karasal zeminde sırasıyla hangi hücelere bakılacağını belirlemek, rota optimizasyonu ile birlikte ele alınması gereken önemli bir konudur. Şekil 5.1’de örnek bir sensör planı verilmiştir.



Şekil 5.1. İHA'nın uçuşu esnasında kamera sensörünün karasal zeminde gözlem yaptığı alanların örnek gösterimi

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere; İHA’nın, karasal zemindeki herhangi bir konumu izlemek veya keşfini yapmak amacıyla doğrudan ilgili konum üzerinde uçuş icra etmesine ihtiyaç yoktur. İHA, bu görevi kamera sensör yetenekleri doğrultusunda daha uzak bir noktadan sağlayabilmektedir. Son yıllarda, literatürde; “Coupled Routing” şeklinde rota ve sensör planının birlikte ele alındığı [131, 132] ve “Decoupled Routing” şeklinde her iki optimizasyon konusunun birbirinden ayrı olarak ele alındığı [120] çeşitli çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Collins vd. [131], İHA rotalama ve sensör optimizasyonu birlikte ele aldıkları çalışmalarında hedeflerin ve İHA’ların konumlarını bir olasılık dağılımına göre belirleyerek, sezgisel bir rota algoritması önermişlerdir. Sun ve Duan [132], benzer içerikli çalışmada hedeflerin ve İHA’ların konumlarının tahmin edilmesinde “Partikül Filtresi” kullanmayı önermişlerdir. İHA rotalama modeli, İHA’ların kullandığı sensör yeteneklerinin rota planı sürecine dâhil edilmesi suretiyle geliştirilebilir. Bu durumda; herhangi bir konuma rotalanan İHA’nın bir sonraki konumunun, sensör yetenekleri dâhilinde bulunduğu konumdan gözlemi yapılamayan konumlara olacak şekilde planlanması beklenir. Şekil 5.2’de verilen örnek rota görselinde olduğu gibi, “i” konumu üzerinde bulunan İHA’nın, bulunduğu konum itibariyle sensör yetenekleri dâhilinde “k” konumunu izleme imkanı bulunduğundan, sonraki rotasının bulunduğu konum itibariyle gözlem yapamadığı “j” konumuna doğru planlanması gerekir.



Şekil 5.2. ISS&ROM modeli için örnek rota görseli

Buna göre; İHA’nın sensör seçimi yapacağı ve seçilen sensöre göre rota planının oluşturulacağı Birleşik Sensör Seçimi ve İHA Rotalama Modeli (ISS&ROM) aşağıda verilmiştir.

İndisler:

$$u = \text{İHA'lar. } \{1, \dots, U\}$$

$i, j, p, l =$ Hedef noktaları. $\{0, 1, \dots, N\}$ $\{0$ üs merkezi}

$k =$ sensör tipleri indisi.

Parametreler:

$s_k =$ Sensör tipleri.

$e_i =$ i hedefini minimum yaklaşma mesafesi.

$d_{i,j} =$ i - j noktaları arası uçuş mesafesi.

$G_{s_k} =$ s_k sensörünün kamera yeteneklerine göre karasal zeminde gözlem yaptığı alan.

$U =$ İHA envanter miktarı.

$Q_{s_k} =$ sensör miktarları.

$L =$ İHA'nın maksimum uçuş süresi.

$v =$ İHA ortalama uçuş hızı.

$M =$ Büyük sayı.

$v(s_k, i, j) =$ s_k sensörü entegre edilmiş İHA, i noktası üzerindeyken j noktasını görebiliyorsa "1", dd. "0". Bu veri, CBS Görüş Analizi sonuçlarından oluşturulan matristen alınmaktadır.

Pozitif Değişken:

$y_i =$ i hedefine varıldığında kat edilen toplam uçuş mesafesi.

Karar Değişkeni:

$$x_{u,s_k,i,j} = \begin{cases} 1, & u \text{ İHA'sı, } s_k \text{ sensörü ile } i \text{ noktasından } j \text{ noktasına rotalanırsa,} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

Model:

$$\text{Min } Z = \sum_u^U \sum_s^S \sum_i^N \sum_j^N (d_{i,j} \cdot x_{u,s_k,i,j}) \quad (5.23)$$

st.

$$\sum_s^S \sum_j^N x_{u,s_k,i',j} = 1 \quad \forall u \quad (5.24)$$

$$\sum_s^S \sum_i^N x_{u,s_k,i,i'} = 1 \quad \forall u \quad (5.25)$$

$$\sum_{i(i \neq p)}^N x_{u,s_k i,p} \cdot (1 - v(s_k, i, p)) = \sum_{j(j \neq p)}^N x_{u,s_k p,j} \cdot (1 - v(s_k, p, j)) \quad \forall u, s, p (p \neq 0) \quad (5.26)$$

$$\left[\sum_u^U \sum_s^S \sum_{j(j \neq i)}^N x_{u,s_k i,j} \cdot (1 - v(s_k, i, j)) \right] + \quad (5.27)$$

$$\left[\sum_u^U \sum_s^S \sum_{p(p \neq i,l)}^N \sum_{l(l \neq i)}^N x_{u,s_k p,l} \cdot (v(s_k, p, i) + v(s_k, l, i)) \right] \geq 1 \quad \forall i (i \neq 0) \quad v(s_k, p, l) \neq 1$$

$$\sum_u^U \sum_s^S \sum_{i(i \neq j)}^N x_{u,s_k i,j} \leq 1 \quad \forall j (j \neq 0) \quad (5.28)$$

$$\sum_u^U \sum_s^S \sum_j^N x_{u,s_k, '0', j} \leq U \quad (5.29)$$

$$\sum_u^U \sum_j^N x_{u,s_k, '0', j} \leq Q_{s_k} \quad \forall s \quad (5.30)$$

$$\sum_s^S x_{u,s_k i,j} = 1 \quad \forall u, i, j \quad (5.31)$$

$$\sum_s^S \sum_i^N \sum_j^N x_{u,s_k i,j} \cdot d_{i,j} \leq L \cdot v \quad \forall u \quad (5.32)$$

$$y_i - y_j + d_{i,j} \leq M \cdot \left(1 - \sum_u^U \sum_s^S x_{u,s_k i,j} \right) \quad \forall i, j (i \neq j \neq 0) \quad (5.33)$$

$$d_{i,j} = \sqrt{\left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + \left((z_i + e_i) - (z_j + e_j) \right)^2 \right]} \quad (5.34)$$

$$x_{u,s_k i,j} \in (0,1) \quad ; \quad y_i \geq 0 \quad (5.35)$$

Geliştirilen ISS&ROM modelinde, Eş. 5.23'de verilen amaç fonksiyonu ile rotalama sürecinde toplam uçuş mesafesinin en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Eş. 5.24 ve Eş. 5.25 ile, İHA'ların varış ve dönüşlerinin üs merkezine yapılması sağlanmaktadır. Eş. 5.26 ile, bir konuma ulaşan hava aracının buradan ayrılması sağlanır. Eş. 5.27 ile, her konumun mutlaka gözlemlenmesi sağlanmaktadır. Eş. 5.28 ile, İHA'ların her konuma uğrama zorunluluğu ortadan kaldırılmaktadır. Herhangi bir konum üzerinde bulunan İHA'nın sensör yetenekleri dâhilinde görebildiği ve göremediği konumlar CBS'de görüş

analizi yapılarak belirlemekte ve matematiksel modele " $v(s_k, i, j)$ " pozitif değişkeni olarak dahil edilmektedir.

Böylece; Eş. 5.26, Eş. 5.27 ve Eş. 5.28 ile, gözlemlenemeyen konumlar arasında rotalama işlemi yapılması sağlanmaktadır. Eş. 5.29 ile üs merkezinden kalkan İHA sayısının kısıtlanması sağlanır. Eş. 5.30 ile, İHA'ların kullandığı sensör sayısının envanter miktarını aşması önlenir. Eş. 5.31 ile, İHA'lara sadece bir adet sensör yüklenmesi kısıtlanmaktadır. Eş. 5.32 ile, rotalanan İHA'ların toplam uçuş mesafesinin, maksimum İHA uçuş mesafesini aşmaması sağlanır. Rotalama problemleri NP-zor yapıda olduğundan, Eş. 5.33 ile alt turların önlenmesi sağlanır. Eş. 5.34 ile, " i " konumuna ait üç boyutlu koordinat verileri " (x_i, y_i, z_i) " olmak üzere, hedefler arasındaki uzaklık hesaplanır. Eş. 5.35, karar değişkeni ve pozitif değişken için tanımlayıcı kısıttır.

5.2.3. Sezgisel İHA rotalama algoritması ve karar destek sistemi: Model 6

Rota sürecinde kullanılan düğüm sayısı ve planlanan hava aracı sayısı büyük olduğunda, problemin karmaşık bir hal alması, çözüm süresinin uzaması veya hesaplanamaması beklenir. İHA'nın askeri içerikli kullanım alanları düşünüldüğünde, hedeflenen amaçlara uygun olarak kısa sürede bir rota planı belirlemenin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu noktada; rota sürecinde sezgisel algoritmaların kullanımı önem kazanmaktadır. Model 6'da; rota optimizasyonunun sensör yetenekleri doğrultusunda yürütüldüğü iki aşamalı bütünlük bir yaklaşım önerilmektedir.

Önerilen yaklaşımda görev noktalarının kümelenmesi için "Sensör Kaplama Algoritması", rotalama süreci için "Demon Algoritması" kullanılmıştır. Önerilen sezgisel rotalama yaklaşımı "Sensör Kaplama ve Demon Algoritmaları ile İki Aşamalı İHA Rotalama Algoritması (SDİRA)" olarak isimlendirilmiştir. Önerilen yaklaşımın adımları aşağıda sunulmuştur:

- Birinci aşama: Görev noktalarının İHA sensör yetenekleri doğrultusunda "Sensör Kaplama Algoritması" ile kümelenmesi.
- İkinci aşama: İHA'ların yeni görev merkezlerine "Demon Algoritması" ile rotalanması.

Birinci aşamada; gözlemlenmesi hedeflenen konumların, İHA üzerindeki sensör yetenekleri doğrultusunda gruplanması sağlanmaktadır. Böylelikle İHA'nın, herhangi bir konumu izlemek amacıyla doğrudan ilgili konum üzerinde uçuşması yerine bu konumları gözlemleyebileceği yeni uçuş noktaları oluşturularak toplam uçuş yolu kısaltılmaktadır. Bu problem türü, bir düzlemdeki noktaları kapsayan minimum daire yerleşiminin arandığı bir yer seçimi problemi olarak ifade edilebilir ve probleme kaplama algoritmaları ile çözüm bulmak mümkündür.

Gary ve Johnson'a (1978) göre; küme kaplama problemlerinin geometrik bir versiyonu olan bir diğer problem türü de Birim Disk Kaplama problemleridir. Disk kaplama problemleri, $P=\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ olmak üzere "n" adet noktanın, $D=\{d_1, d_2, d_3, \dots, d_m\}$ minimum sayıdaki diskleri ile " $D^* \subseteq D$ " ve " $P \subseteq \cup_{di \in D^*} di$ " şeklinde kaplanması olarak tanımlanmaktadır [9]. Disk alanları, sensör görüş alanı olarak düşünüldüğünde Disk Kaplama Algoritma yaklaşımlarının İHA rotalama sürecinde kullanılması mümkün gözükmektedir.

Klasik İHA rotalama sürecinde; izlenmesi istenen konumlar hem talep noktalarını hem de hizmet noktalarını ifade eder [114]. Önerilen yaklaşımda; talep noktalarının konumlarının bilindiği ve yeni hizmet merkezlerinin konumlarının arandığı iteratif bir arama süreci söz konusudur. İhtiyaç duyulan iteratif arama süreci için, Disk Kaplama problemlerinin mantıksal temeli kullanılarak sezgisel bir arama algoritması önerilmiştir. Aşağıda önerilen "Sensör Kaplama Algoritması"nın sezgisel yapısı verilmiştir.

Sensör Kaplama Algoritması

Adım 1: Tarama yapılacak bölgeyi, tarama genişliğine göre karesel alanlara böl.

Adım 2: Tüm karesel alan köşe noktalarına P_i noktalarını ata.

Adım 3: Tüm P_i noktalarına, sensör görüş alanını ifade eden S_i disklerini yerleştir.

Adım 4: S_i disklerinin kapsadığı G_i noktalarına göre eleman sayılarını belirle.

Adım 5: Maks. sayıda G_i noktasını kapsayan S_i diskini belirle.

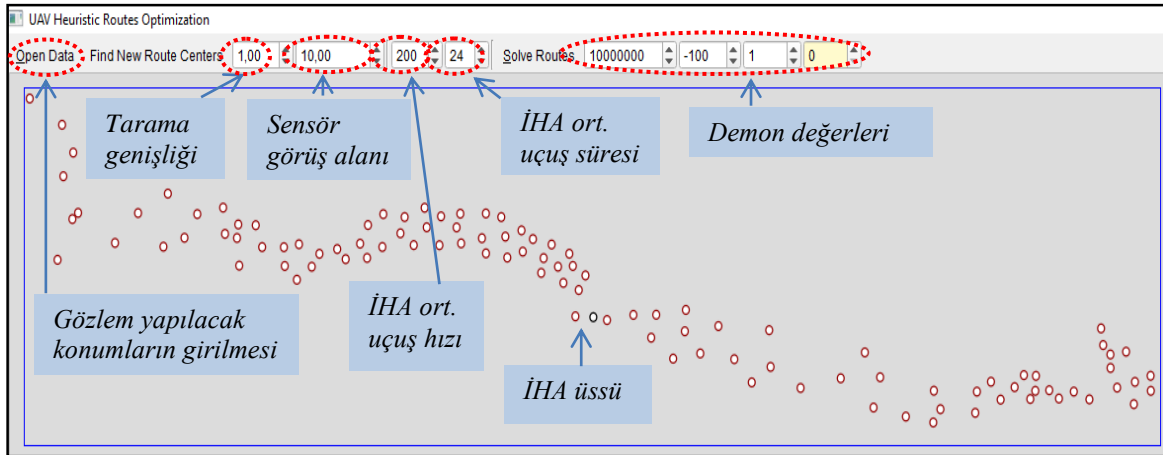
Adım 6: S_i diskini yeni rota merkezi olarak belirle, kapsadığı G_i noktalarını kapsanacak noktalar kümesinden çıkar.

Adım 7: Kapsanacak nokta kalmayana kadar algoritmayı tekrarla.

Sensör Kaplama Algoritmasında öncelikle; sorumluk sahası, tarama genişliğini ifade eden karesel alanlara bölünmekte ve ardından tüm köşegen noktaları " P_i " ile kodlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle; " P_i " notasyonu, sorumluluk sahasında tarama genişliğini ifade eden karesel alanın köşegen noktalarını simgelemektedir. " S_i " notasyonu, sensörün dairesel görüş alanını ifade etmektedir. " G_i " notasyonu ise sorumluluk sahası içerisinde gözlemlenmesi/kaplanması istenen noktaları ifade etmektedir.

Böylelikle birinci aşamada, gözlemlenmesi hedeflenen noktaları kapsayan minimum sayıdaki disk merkezleri bulunur. Diskler, İHA'lara entegre edilen kamera sensörlerinin gözlem yaptığı dairesel alanları ifade etmektedir.

Önerilen algoritma için, Qt programında C++ dilinde Karar Destek Sistemi (KDS) oluşturulmuştur. KDS'de içeriğinde bulunana Birim Sensör ve Demon Algoritmalarının açık kaynak kodu EK'ler bölümüne konulmamış, algoritma adımları verilmiştir. İHA rotalama süreci için literatürde bir çok KDS geliştirildiği görülmektedir [113, 115] ancak; bu KDS'lerde rota sürecine sensör yeteneklerinin entegre edilmediği dikkat çekmektedir. Tasarlanan KDS'nin ekran görüntüsü Şekil 5.3'de verilmiştir. Hazırlanan arayüzde, gözlem yapılacak konumların, tarama genişliğinin, sensör görüş alan genişliğinin ve Demon değerlerinin girişi sağlanmaktadır.



Şekil 5.3. Önerilen rota algoritması için hazırlanan KDS ekran görüntüsü

İkinci aşamada ise, birinci aşamanın çıktısı olan disk merkezlerine İHA'ların Demon Algoritması (DA) kullanılarak rotalanması sağlanmaktadır. Aşağıda, probleme ilişkin oluşturulan DA algoritması verilmiştir.

Demon Algoritması Sezgisel Yapısı

Input: / Başlangıç Demon (D) değerini gir./

$s = S_0$; /Başlangıç çözümü üret./

Repeat

s' ; / Rassal bir komşu çözüm üret./

$\Delta E = f(s') - f(s)$; /Amaç fonksiyonunda sağlanan iyileştirmeyi belirle./

If $\Delta E \leq D$ **Then** ;

$s = s'$; / Üretilen rassal komşu çözümü kabul et./

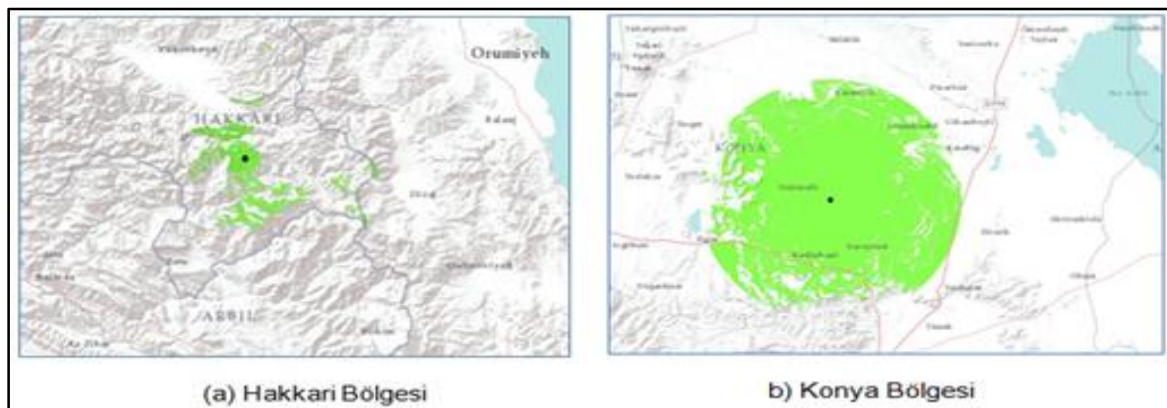
$D = D - \Delta E$; /Demon değerini revize et./

Until /İterasyon sayısı kısıtı sağlanıncaya kadar algoritmaya devam et./

Output: /Elde edilen en iyi çözümü ver./

5.3. Sınır Güvenliğinin Hibrit Sistemler İle Sağlanması: Model 7

Önerilen ilk üç modelde etkin keşif gözetleme için KGB'lerin nerelere konumlandırılması gerektiği araştırılmış, sonraki 3 modelde ise aynı görevin İHA'lar ile sağlanabilmesi için rota planı belirlemeye yönelik modeller sunulmuştur. Ancak; KGB'ler sabit konumları nedeniyle sürekli gözlem imkânı sağlarken, İHA'larda bu durum söz konusu değildir. İHA uçuş yeteneklerinden dolayı dinamik olarak alan taraması yapmaktadır. Bunun yanında, nihai amaç etkin keşif ve gözetleme sistemini teşkil edebilmek olduğunda keşfi yapılan alanın coğrafi yapısının da dikkate alınması önemli bir husustur. Şekil 5.4'de Hakkari ve Konya bölgesine yerleştirilen bir KGB'nin görüş alanı içerisinde olabilecek alan temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Temsili KGB görüş alanı görseli

Şekil 5.4 incelendiğinde; engebeli arazi özelliklerine sahip bölgelerde, KGB'lerin tüm alanın gözlemini yapamayabileceği görülmektedir. Bu durumda; gözlemlenebilen alanların KGB'ler ile, gözlemlenemeyen alanların ise İHA'lar ile taranması şeklinde hibrit bir keşif ve gözetleme sistemi yapısı öne çıkmaktadır. Bu bakımdan, Model 7'de KGB ve İHA'ların keşif ve gözetleme sürecinde birlikte kullanımını içeren hibrit bir sistem önerilmektedir.

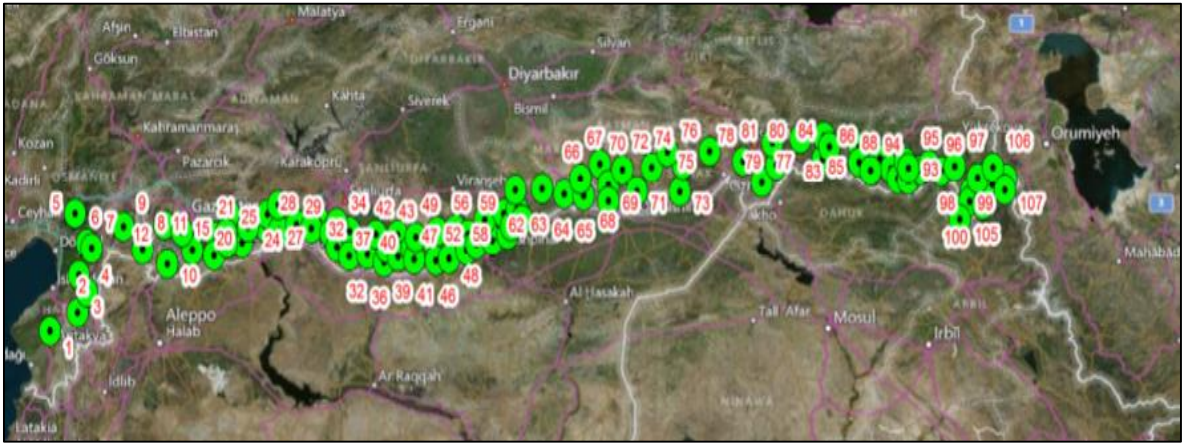
Hibrit sistemde, karar vericinin tercihinine bağlı olarak Model 1, 2 veya 3'den biri kullanılarak KGB'ler için yer seçimi çalışması yapılmalı ve uygun KGB yerleşim konumları belirlenmeli, ardından elde edilen KGB yerleşim planı CBS ile analiz edilerek görüş etkinliği tespit edilmelidir. Analiz sonucunda, görüş etkinliğinin yeterli görülmediği durumda, görüş alanı dışında kalan bölgeler için gözlemi yapılacak konum sayısı dikkate alınarak Model 4, 5 veya 6'dan biri kullanılarak İHA rotalama işlemi yapılmalıdır.

6. MODEL UYGULAMALARI

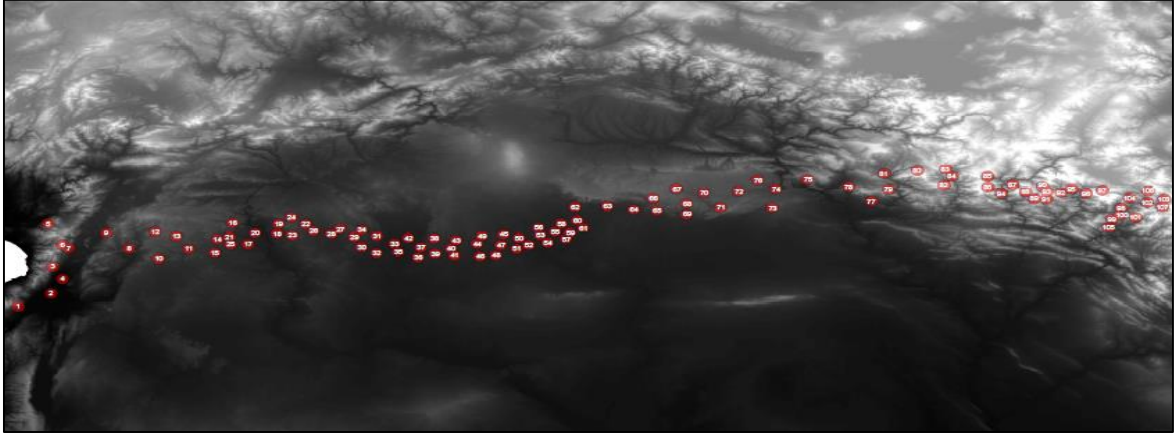
Önerilen modellerin uygulaması için, Türkiye Cumhuriyeti güney sınır hattı üzerinde çeşitli konumlar belirlenmiş ve etkin keşif gözetleme sisteminin teşkil edilmesi için hangi konumlara KGB yerleştirilmesi gerektiği, İHA'ların hangi konumları nasıl bir rota planı ile gözlemleyeceği belirlenmeye çalışılmıştır.

Türkiye Cumhuriyeti, iki Avrupa (Bulgaristan, Yunanistan) ve altı Asya ülkesi (Azerbaycan, Ermenistan, Gürcistan, Irak ve Suriye) ile komşu olmak üzere toplam 2573 km'lik sınıra sahiptir. Jeostratejik konumu nedeniyle özellikle Irak, İran ve en uzun sınır komşusu olan Suriye sınırlarında terör ve yasadışı göç vb. güvenlik problemleri yaşanmaktadır.

Ülkemizin sınır bölgesinin dağlık yapıda olmasından dolayı terör ve yasadışı göç amacıyla geçiş güzergâhı olarak kullanılan boğaz, tünel, akarsu yatağı benzeri arazi arızalarının olduğu farklı özelliklere sahip 107 adet gözlemlenmesi hedeflenen konum belirlenmiştir. Aday noktaların coğrafi harita üzerindeki görüntüsü Harita 6.1'de, yükselti haritası üzerindeki görüntüsü Harita 6.2'de gösterilmiştir. Aday konumların koordinat ve yükselti verileri EK-1'de verilmiştir. Bu konumların seçiminde, askeri uzmanların görüşleri ve bölgede yaşanan terör ve yasadışı göç olaylarına ilişkin Türk Silahlı Kuvvetleri tarafından açık kaynakta yayınlanmış veriler dikkate alınmıştır.



Harita 6.1. Aday noktaların siyasi harita üzerindeki görüntüsü



Harita 6.2. Aday noktaların yükselti haritası üzerindeki görüntüsü

6.1. KGB'lere İlişkin Model Uygulamaları

Uygulamada, rüzgârsız ve açık hava şartlarında aynı hacim ve yapıdaki KGB'ler kullanılmıştır. KGB'lerin yer ile bağlantısını sağlayan halatların uzunluğu 1000 m olarak belirlenmiştir. Ele alınan problemde kullanılan KGB'lerin üzerinde bulunan sensörlerin azami görüş menzili, KGB ve sensörlerin kurulum maliyetleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Söz konusu bilgiler [2] nolu kaynaktan temin edilmiştir. Probleme ilişkin GAMS kodu detayları EK-2'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. KGB'lere entegre edilen sensörlerin yetenek ve maliyet bilgileri

Sensör Tipi	Azami Görüş Menzili	Kurulum Maliyeti
s_1	20 km	\$ 100
s_2	40 km	\$ 200
s_3	60 km	\$ 300
s_4	80 km	\$ 400
KGB kurulum maliyeti \$ 10 000		

6.1.1. Model 1 uygulaması

Sınır hattındaki belirli konumları gözlemleyebilecek en az sayıdaki KGB için yerleşim yerlerini belirlemeyi hedefleyen Model 1'in çözüm detayları Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Model 1 çözüm sonuçları

KGB Yerleşim Yerleri ve Kullanılan Sernsör Tipleri " X_{iS_k} "						Z_{min} (Toplam Maliyet)
X_{1S_1}	X_{8S_4}	X_{30S_4}	X_{62S_4}	X_{75S_4}	X_{93S_4}	\$ 62 100

Çözüm sonuçlarına göre; bir adet 20 km'lik ve beş adet 80 km'lik sensörün kullanıldığı toplam 6 adet KGB'nin Harita 6.1'deki 1, 8, 30, 62, 75 ve 93 nolu konumlara yerleştirilmesi ile tüm noktaların gözlemlenmesi sağlanmaktadır.

6.1.2. Model 2 uygulaması

Aday noktaların coğrafi özelliklerini matematiksel modele yansıtılabilmek amacıyla uzman askeri personel tarafından sınıra uzaklık, bölgede yaşanan terör faaliyetleri, yasadışı göç faaliyetleri, ulaşım kolaylığı, bakım merkezine yakınlık kriterlerine göre aday konumların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Tez çalışmasının bu aşamasında bulanık mantık kullanılmasının nedeni, aday konumların belirlenen kriterler bazında değerlendirilmesi ile ulaşılan dilsel değişkenlerin matematiksel modele dahil edilmesidir. Alınan uzman görüşleri, yaygın olarak kullanılan bir ÇKKV metodu olan bulanık-TOPSIS yöntemi ile sayısallaştırılmıştır. Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, alternatiflerin kriterlere göre değerlendirdiği ve en iyi çözümün, ideal çözüme olan pozitif ve negatif uzaklıklara göre belirlendiği çok kriterli karar verme metodudur. Bulanık sayıların yer aldığı bulanık-TOPSIS metodu, ilk olarak Chen ve Hwang (1982) tarafından kullanılmıştır. Bu yöntemle, alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesinde karar vericiye yaklaşık değerlendirmeler yapma imkânı sağlanmıştır [159]. Triantaphyllou ve Lin (1996) söz konusu yöntemde görece yakınlıkları kullanarak, Chen (2000) üçgensel bulanık sayılar arasındaki mesafeyi Öklid uzaklığı ile hesaplayarak TOPSIS metodunu geliştirmiştir. Bunun yanında bulanık-TOPSIS literatürde çeşitli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Havayolu taşımacılığı sektöründe firma alternatiflerinin sıralanmasında [162], demiryolu bağlantı yollarına ilişkin yatırım kararı verilmesinde [163], firmaların finansal performanslarının değerlendirilmesinde [164,165], tesis yerinin belirlenmesinde [166], tedarikçi seçiminde [167], endüstriyel robotik sistem seçiminde [168], askeri birlik konuş yerinin belirlenmesinde [169] bulanık-TOPSIS yöntemi uygulamıştır. Bulanık-

TOPSIS yöntemine ilişkin detaylı literatür taraması çalışmaları da yapılmıştır [170]. Çalışmada, Chen and Hwang (1982) tarafından geliştirilen bulanık-TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Buna göre; karar vericilerin, kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanacağı dilsel değişkenler ve bunların bulanık karşılıkları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Bulanık değerlendirme değerleri

a. Kriterlerin Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler				b. Alternatiflerin Değerlendirilmesi İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler			
Çok Güçlü (ÇG)	0,8	1	1	Çok İyi (Çİ)	8	10	10
Güçlü (G)	0,7	0,8	0,9	İyi (İ)	7	8	9
Biraz Güçlü (BG)	0,5	0,65	0,8	Biraz İyi (Bİ)	5	6,5	8
Eşit (E)	0,4	0,5	0,6	Eşit (E)	4	5	6
Biraz Zayıf (BZ)	0,2	0,35	0,5	Biraz Kötü (BK)	2	3,5	5
Zayıf (Z)	0,1	0,2	0,3	Kötü (K)	1	2	3
Çok Zayıf (ÇZ)	0	0	0,2	Çok Kötü (ÇK)	0	0	2

Bulanık-TOPSIS yönteminde; karar vericiler, kriterlere göre alternatifleri değerlendirir. Ardından alternatiflerin üçgensel bulanık kriter değerleri " $x_{ij}^{\sim} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ " ve kriterlerin üçgensel bulanık ağırlıkları " $w_j^{\sim} = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ ", Eş. 6.1 ile hesaplanır:

$$\begin{aligned}
 x_{ij}^{\sim} &= (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \\
 a_{ij} &= \min_k \{a_{ijk}\} & \forall i \\
 b_{ij} &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N b_{ijk} & \forall i \\
 c_{ij} &= \max_k \{c_{ijk}\} & \forall i \\
 w_j^{\sim} &= (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) \\
 w_{j1} &= \min_k \{w_{k1}\} \\
 w_{j2} &= \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N w_{k2} \\
 w_{j3} &= \max_k \{w_{k3}\}
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Oluşturulan karar matrisi, fayda (B) ve maliyet (C) kriterleri ile normalize edilerek r_j^{\sim} normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar Eş. 6.2 ile belirlenir:

$$r_j^{\sim} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad c_j^* = \max_i c_{ij} \quad (\text{fayda kriteri üzerine}) \quad (6.2)$$

$$r_j^{\sim} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad a_j^- = \min_i a_{ij} \quad (\text{maliyet kriteri üzerine})$$

Normalize edilmiş ağırlıklı bulanık karar matrisi " $(V_j^{\sim} = r_j^{\sim} \cdot w_j^{\sim})$ " şeklinde hesaplandıktan sonra, bulanık pozitif ideal çözüm vektörü " $V_j^{\sim*} = \max \{ V_{j3} \}$; $A^* = (V_1^{\sim*}, V_2^{\sim*}, \dots, V_n^{\sim*})$ " ve negatif ideal çözüm vektörü " $V_j^{\sim-} = \min \{ V_{j1} \}$; $A^- = (V_1^{\sim-}, V_2^{\sim-}, \dots, V_n^{\sim-})$ " oluşturulur. Alternatiflerin, pozitif ve negatif ideal çözüm vektörlerine olan uzaklıkları ve her bir alternatif için yakınlık katsayısı " C_i " Eş. 6.3'de verildiği şekilde hesaplanır. Ele alınan problemde fayda (B) kriteri üzerine çözüm arandığından, en iyi çözümün " C_i " yakınlık değerinin yüksek olması beklenir.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(V_{ij}^{\sim}, V_j^{\sim*}), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(V_{ij}^{\sim}, V_j^{\sim-}), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6.3)$$

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^* + d_i^-)}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Model 2'de, gözlemi hedeflenen konumların coğrafi ve askeri özelliklerinin matematiksel modele dahil edilmesi için, 5 adet kriter belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; sınıra uzaklık (K1), terör faaliyetlerine yakınlık (K2), yasadışı göç faaliyetlerine yakınlık (K3), bakım merkezlerine yakınlık (K4) ve ulaşım kolaylığı (K5) şeklindedir.

Kriterleri ve aday noktaları değerlendirmek üzere 5 kişilik askeri uzman personelden oluşan gruptan anket yoluyla görüşler alınmıştır. Uzmanların, kriterlere ilişkin dilsel değerlendirmeleri Çizelge 6.4'de verilmiştir. Alınan uzman görüşleri Çizelge 6.3(a) kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş, Eş. 6.1 ile bu bulanık sayılar tek bir değere indirgenmiş ve kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre; elde edilen kriter ağırlıkları Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Kriterlerin uzmanlara göre değerlendirilmesi ve kriter ağırlıkları

Kriterler (K _i)	Uzmanlar (U _i)					Ağırlık Vektörü (w _j)
	U1	U2	U3	U4	U5	
K1: Sınıra Uzaklık	BG	BG	BG	ÇG	ÇG	(0,5 ; 0,8 ; 1)
K2: Terör Faaliyetlerine Yakınlık	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	(0,8 ; 1 ; 1)
K3: Yasadışı Göç Faaliyetlerine Yakınlık	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	ÇG	(0,8 ; 1 ; 1)
K4: Bakım Merkezlerine Yakınlık	G	BG	G	G	G	(0,5 ; 0,8 ; 0,9)
K5: Ulaşım Kolaylığı	BG	BG	G	G	BG	(0,5 ; 0,7 ; 0,9)

Alternatif noktaların kriterlere göre değerlendirilmesinde Çizelge 6.3(b) kullanılmış, uzmanların alternatiflere ilişkin değerlendirmeleri EK-3'de verilmiştir. Eş. 6.1 ile bu bulanık sayılar tek bir değere indirgenmiştir. Tek bir değere indirgenmiş bulanık karar matrisi EK-4'de verilmiştir.

Oluşturulan karar matrisi, Eş. 6.2 ile normalize edilerek " r_j^{\sim} " normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar elde edilmiştir. Normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar EK-5'de verilmiştir.

Bulanık karar matrisi Çizelge 6.4'de verilen vektör ağırlıkları ile " $(V_j^{\sim} = r_j^{\sim} \cdot w_j^{\sim})$ " şeklinde çarpılarak, ağırlıklı bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Ağırlıklı bulanık karar matrisi EK-6'dadır.

Pozitif ve negatif ideal çözüm vektörleri belirlendikten sonra, Eş. 6.3 kullanılarak alternatifler için yakınlık katsayısı " C_i " değerleri hesaplanmıştır. İdeal çözüme pozitif ve negatif uzaklıklar EK-7'de verilmiştir.

Probleme ilişkin GAMS modeli detayları EK-8'de verilmiş, çözüm sonuçları Çizelge 6.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.5. Model 2 çözüm sonuçları

	X _{1S₁}	X _{2S₃}	X _{3S₄}	X _{4S₃}	X _{5S₄}	X _{6S₄}	X _{7S₄}
	X _{8S₁}	X _{9S₁}	X _{10S₄}	X _{11S₁}	X _{12S₄}	X _{13S₁}	X _{14S₁}
	X _{15S₄}	X _{16S₄}	X _{17S₄}	X _{18S₃}	X _{19S₃}	X _{20S₄}	X _{21S₁}
	X _{22S₁}	X _{23S₁}	X _{24S₁}	X _{25S₁}	X _{26S₁}	X _{27S₁}	X _{28S₁}
	X _{29S₁}	X _{30S₁}	X _{31S₁}	X _{32S₁}	X _{33S₁}	X _{34S₁}	X _{35S₁}
KGB	X _{36S₁}	X _{37S₁}	X _{38S₁}	X _{39S₁}	X _{40S₁}	X _{41S₁}	X _{42S₁}
Yerleşim	X _{43S₁}	X _{44S₁}	X _{45S₁}	X _{46S₁}	X _{47S₁}	X _{48S₁}	X _{49S₁}
“Yerleri ve	X _{50S₁}	X _{51S₁}	X _{52S₁}	X _{53S₁}	X _{54S₁}	X _{55S₁}	X _{56S₁}
Kullanılan	X _{57S₁}	X _{58S₁}	X _{59S₄}	X _{60S₄}	X _{61S₄}	X _{62S₄}	X _{63S₄}
Sensör	X _{64S₄}	X _{65S₄}	X _{66S₄}	X _{67S₁}	X _{68S₁}	X _{69S₁}	X _{70S₁}
Tipleri	X _{71S₁}	X _{72S₁}	X _{73S₁}	X _{74S₄}	X _{75S₁}	X _{76S₁}	X _{77S₄}
"X _{is_k} "	X _{78S₁}	X _{79S₄}	X _{80S₄}	X _{81S₄}	X _{82S₄}	X _{83S₄}	X _{84S₄}
	X _{85S₄}	X _{86S₄}	X _{87S₄}	X _{88S₄}	X _{89S₁}	X _{90S₁}	X _{91S₁}
	X _{92S₁}	X _{93S₁}	X _{94S₄}	X _{95S₁}	X _{96S₁}	X _{97S₄}	X _{98S₁}
	X _{99S₂}	X _{100S₁}	X _{101S₂}	X _{102S₂}	X _{103S₂}	X _{104S₁}	X _{105S₁}
	X _{106S₄}	X _{107S₁}					
Z _{max}							
(Toplam							
Uygunluk					58,95		
Değeri)							
Toplam							
Maliyet					\$ 1 092 200		

Çizelge 6.5 incelendiğinde; 64 adet 20 km’lik, 4 adet 40 km’lik, 6 adet 60 km’lik ve 33 adet 80 km’lik sensörün kullanıldığı toplam 107 adet KGB’nin, tabloda verilen konumlara yerleştirilmesi ile maksimum uygunluk puanı elde edilerek tüm noktaların gözlemi sağlanabilmektedir.

6.1.3. Model 3 uygulaması

İlk modelde minimum maliyet ile KGB yerleşimi amaçlanmış, \$ 62 100 maliyetle tüm konumların gözleminin en az sayıda KGB ile sağlanabileceği belirlenmiştir. Dolayısıyla yerleşim konumlarının uygunluk değerleri dikkate alınmamıştır. Model 2’de ise, yerleşim konumlarının uygunluk değerleri dikkate alınmış ve en çok 58,95 değerinde uygunluk puanı ile tüm konumların gözleminin sağlanabileceği belirlenmiş; ancak maliyet unsuru göz ardı edilmiştir.

Model 3’de, Model 1 ve Model 2’de belirlenen amaçlar birleştirilmiş, minimum maliyet ve en yüksek uygunluk değerini sağlayacak konumlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Buna göre; Model 3’de hazırlanan çok amaçlı model aşağıdadır:

Parametreler:

$m_i = \text{sapma değişkenlerinin ağırlık değerleri. } i = 1,2.$

Model:

$$\text{Min } Z = (m_1 \cdot d_1^+) + (m_2 \cdot d_2^-) \quad (6.4)$$

st.

$$\sum_s^{s_4} \sum_i^{i_{107}} (x_{isk} \cdot (c_B + c_{s(i)})) - d_1^+ + d_1^- = 62\,100 \quad (6.5)$$

$$\sum_i^{i_{107}} \sum_{s_1}^{s_4} (x_{isk} \cdot p_i) - d_2^+ + d_2^- = 58,95 \quad (6.6)$$

$$d_i^- \cdot d_i^+ = 0 \quad \forall i \quad (6.7)$$

$$d_i^-, d_i^+ \geq 0 \quad \forall i \quad (6.8)$$

Eş. (5.2) – Eş. (5.4)

Eş. 6.4’de. verilen amaç fonksiyonu ile kısıtlardan sapmaların en küçüklenmesi sağlanır. Ele alınan problemde amaçların birbirine üstünlüğü veya önceliği bulunmamaktadır. Eş. 6.5’de, minimum maliyetin hedeflendiği 1’nci modelin amacı kısıtlanmaktadır. " d_1^- " değişkeni bütçe kısıtının kullanılmayan kısmını, " d_1^+ " değişkeni ise bütçe kısıtının fazla kullanılan kısmını ifade ettiğinden, amaç fonksiyonunda en küçüklenmeye çalışılan değişken " d_1^+ " olmaktadır.

Eş. 6.6'da, maksimum uygunluk değerinin arandığı 2'nci modelin amacı kısıtlanmaktadır. Burada; " d_2^- " değişkeni 2'nci modelde bulunan uygunluk değerine olan farkı, " d_2^+ " değişkeni ise uygunluk değerinden artışı ifade ettiğinden, Eş. 6.6'de en küçüklenmeye çalışılan değişken " d_2^- " olmaktadır.

Eş. 6.7 ve Eş. 6.8 sapma değişkenlerinden en az birinin "0" değerini almasını sağlar. Ek olarak, gözlemi hedeflenen her konumun en az bir KGB tarafından kaplanmasını sağlayan Eş. 5.2-Eş 5.5 arasındaki kısıtlar da bu model için geçerlidir.

Çözüm sonuçları Çizelge 6.6'da verilmiştir. Eş. 6.5 ve Eş. 6.6'da kısıta dönüştürülen amaçların birbirine karşı üstünlüğü bulunmadığı için amaç fonksiyonundaki " m_i " ağırlık değerlerine, herhangi bir değer atanmamıştır.

Çizelge 6.6. Model 3 çözüm sonuçları

KGB Yerleşim Yerleri ve Kullanılan Sernsör Tipleri " x_{isk} "	Z_{min}	Toplam Maliyet	Toplam Uygunluk Değeri
x_{4s_4} x_{10s_4} x_{33s_4} x_{42s_1}	$d_1^+ : 20\ 800$ $d_2^- : 54,41$ $Z_{min} : 20\ 854,41$	\$ 82 900	4,537
x_{63s_4} x_{71s_4} x_{84s_4} x_{93s_4}			

Çizelge 6.6 incelendiğinde; bir adet 20 km'lik ve 7 adet 80 km'lik sensörün kullanıldığı toplam 8 adet KGB'nin Harita 5.1'deki 4, 10, 33, 42, 63, 71, 84 ve 93 nolu konumlara yerleştirilmesi ile tüm noktaların gözlemi sağlanabilmektedir.

Amaçların ağırlıklarının çözüm sonucuna yapacağı etkinin izlenmesi amacıyla farklı " m_i " değerleri altında Model 3 yeniden çözülmüştür. Probleme ilişkin GAMS modeli detayları EK-9'da, " m_i " ağırlık değerleri ve çözüm sonuçları Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Farklı ağırlık değerleri altında Model 3 çözüm sonuçları

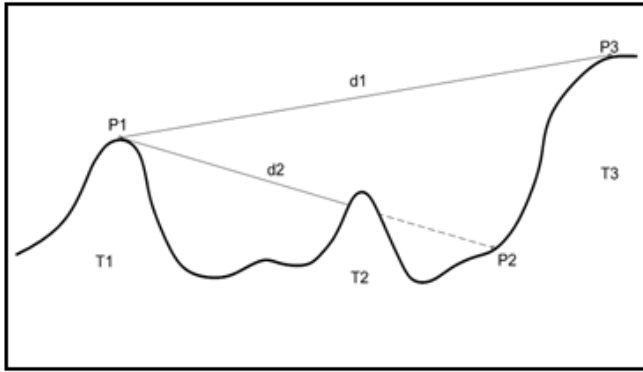
KGB Yerleşim Yerleri ve Kullanılan Sensör Tipleri							Ağırlık değerleri			
"X _{is_k} "							m _i [m ₁ ; m ₂]			
Model	Model	Model	Model	Model	Model	Model	Model	Model	Model	Model
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11
[0,05 ; 0,95]	[0,1 ; 0,9]	[0,15 ; 0,85]	[0,25 ; 0,75]	[0,35 ; 0,65]	[0,5 ; 0,5]	[0,65 ; 0,35]	[0,75 ; 0,25]	[0,85 ; 0,15]	[0,9 ; 0,1]	[0,95 ; 0,05]
X _{2s₁}	X _{4s₄(4)}	X _{4s₄}	X _{2s₁}	X _{4s₄}	X _{4s₄}	X _{6s₄}	X _{4s₄}	X _{4s₄}	X _{4s₄}	X _{2s₁}
X _{4s₄}	X _{10s₄}	X _{10s₄}	X _{4s₄}	X _{10s₄}	X _{10s₄}	X _{13s₄}	X _{10s₄}	X _{10s₄}	X _{10s₄}	X _{4s₄}
X _{23s₄}	X _{33s₄}	X _{33s₄}	X _{23s₄}	X _{33s₄}	X _{33s₄}	X _{37s₁}	X _{33s₄}	X _{33s₄}	X _{33s₄}	X _{23s₄}
X _{42s₄}	X _{42s₁}	X _{42s₁}	X _{42s₄}	X _{42s₁}	X _{42s₁}	X _{42s₄}	X _{42s₁}	X _{42s₁}	X _{37s₁}	X _{42s₄}
X _{64s₄}	X _{63s₄}	X _{63s₄}	X _{64s₄}	X _{63s₄}	X _{63s₄}	X _{64s₄}	X _{63s₄}	X _{63s₄}	X _{63s₄}	X _{64s₄}
X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{71s₄}	X _{70s₄}
X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}	X _{84s₄}
X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}	X _{93s₄}
Toplam Uygunluk Değeri										
4,518	4,537	4,537	4,518	4,537	4,537	4,518	4,537	4,537	4,517	4,5
Toplam Maliyet										
\$ 82 900										

Çizelge 6.7 incelendiğinde ele alınan 11 modelde de toplam maliyet değeri aynıdır. Bununla birlikte; Model 3, Model 3.2, Model 3.3, Model 3.5, Model 3.6, Model 3.8 ve Model 3.9'un toplam uygunluk ve KGB yerleşim planlarının; benzer şekilde Model 3.1, Model 3.4 ve Model 3.7'nin toplam uygunluk ve KGB yerleşim planlarının aynı olduğu görülmektedir. En düşük toplam uygunluk değeri Model 3.11'de elde edilirken; en yüksek toplam uygunluk değeri ise çözüm sonucu aynı olan Model 3, Model 3.2, Model 3.3, Model 3.5, Model 3.6, Model 3.8 ve Model 3.9'da elde edilmektedir.

Bu durum; çözüm sonuçları aynı olan modellerde, minimum toplam maliyet ve maksimum toplam uygunluk puanına yönelik kısıta dönüştürülen amaçların ağırlık değerlerinin çözüm üzerinde etkisi olmadığını göstermektedir.

6.2. KGB Model Çözümlerinin CBS İle Analizi

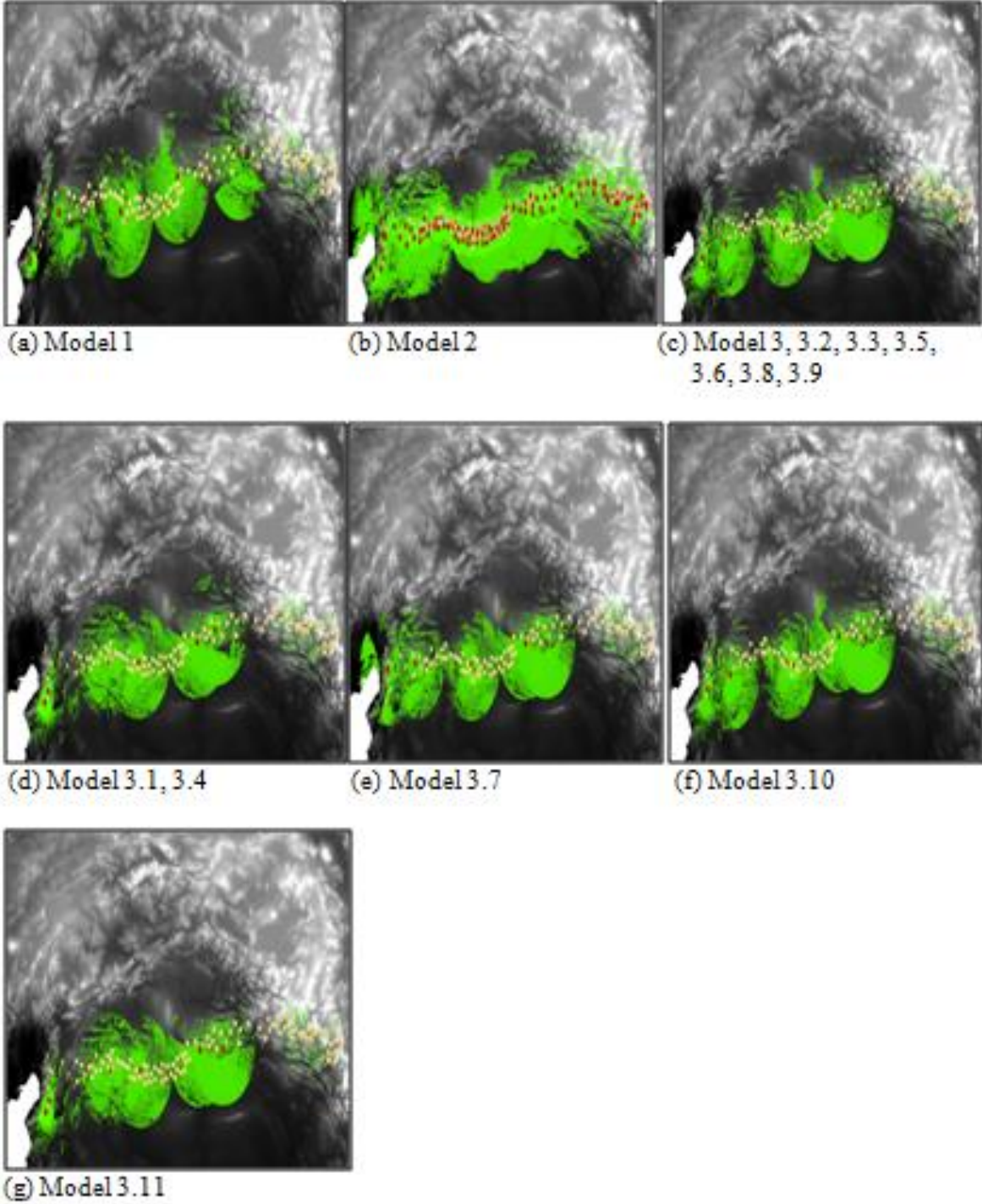
Test edilen modellerde çeşitli KGB yerleşim şekilleri elde edilmiş olsa da, söz konusu KGB yerleşimlerinin nasıl bir görüş imkanı sağlayacağı da incelenmelidir. Bu konudaki inceleme, Türkiye güney sınır hattının Dijital Yükseklik Modeli verileri (Digital Elevation Model, DEM) [171] kullanılarak CBS’de bulunan Görüş Alanı Analizi modülü ile yapılabilir. CBS, görüş analizi ve harita işleme konularında sıklıkla kullanılmaktadır. Doğal veya insan yapımı katmanlara ilişkin özellikler analiz sürecinin önemli girdilerini oluşturmaktadır. Görüş analizi temelde, gözlemciden çıkan görüş doğrusunun bir engel tarafından bloke edilip edilmediğini inceler [172]. Görüş Alanı Analizi, bir hücrenin bir veya daha fazla gözlemci tarafından görünüp görünmediği konusunda analiz imkânı sunmaktadır. Hedef niteliğindeki hücreler ile bakış noktası arasındaki tüm hücrelerin DEM verileri kullanılarak her iki hücre arasında hayali bir doğru oluşturulur [173]. Eğer, her iki hücre bu doğru üzerinde yer alıyorsa, görüş imkânının olduğu anlaşılır. Şekil 5.1’de, örnek bir görüş doğrusu verilmiştir. Buna göre; P_1 ve P_3 noktaları d_1 doğrusu üzerinde yer aldığından görüş imkânı bulunmaktadır. Ancak; d_2 doğrusu, T_2 tepesi ile bloke edildiğinden P_1 ve P_2 noktaları arasında görüş imkânı bulunmamaktadır.



Şekil 6.1. Görüş doğrusu

Görüş analizi, askeri harita işleme çalışmalarında görüntünün veya arazi özelliklerinin tahmin edilmesi, birliklerin hareketinin planlanması, harekât yönetimi sürecinde düşman tarafından görülen veya görülemeyen alanların tespitinde de yoğun olarak kullanılmaktadır [174, 175]. Analiz sürecinde öncelikle, gözlemcinin bulunduğu noktadan alanın bütünü oluşturulan hücrelere görüş doğruları gönderilir, gözlemci ve hücrelerin karşılıklı görüş durumu harita üzerine işlenir [176]. Burada gözlemcinin bulunduğu noktadan bakıldığında

görülebilir hücreler yeşil renk ile renklendirilir. Çalışmada ulaşılan çözümlerin yüzey görüntüleme analizi, ArcGIS CBS programının Görüş Alanı Analizi modülü kullanılarak yapılmıştır. Model 1'den, Model 3.11'e kadar elde edilen KGB yerleşimlerine ait görüş analizi görüntüleri sırasıyla Harita 6.3'de verilmiştir. Analiz sürecinde kullanılan yükselti katmanı verisi, [171] nolu kaynaktan temin edilmiştir.



Harita 6.3. Modellere göre çözüm sonuçlarının yüzey görüntüleme analizi

Harita 6.3’de verilen görüntülerdeki yeşil alanlar, üzerlerine entegre edilen sensörler ile KGB’lerin görebildiği alanları ifade etmektedir. Analiz görüntüleri, her bir modelde, KGB’lerin gözlemlenmesi beklenen tüm noktaları kapsadığını göstermektedir. En fazla görüş alanı sağlayan çözüme, tüm aday noktalara birer KGB yerleştirilmesini öneren Model 2’de ulaşılmaktadır. Ancak bu çözüm, yüksek maliyet değeri ile bütçe kısıtını aşmaktadır. Diğer modellerin görüş alanlarına bakıldığında ise, genel itibariyle Türkiye’nin güneydoğu bölgesinin engebeli arazi yapısı nedeniyle yeterli gözlemlenemediği dikkat çekmektedir.

6.3. İHA’lara İlişkin Model Uygulamaları

İHA’lar ile sınır güvenliğinin sağlanması önerisinde, en az sayıda İHA kullanılarak Harita 6.1’de verilen sınır hattındaki 107 konumun havadan uçuş yoluyla gözlemlenmesi hedeflenmektedir. Bu durum, İHA’ların belirlenen konumlara havadan rotalanmasını ifade etmektedir. İHA’ların rotalanması sürecini standart bir araç rotalama probleminden farklı kılan önemli özellikler mevcuttur. Bunları; İHA’ların yakıt kısıtları, uçuş mesafesi kısıtları, kontrol mesafesi kısıtları, konumların üç boyutlu uzaklıkları, İHA’ların üzerinde bulunan sensörlerin görüş yetenekleri vb. şeklinde sıralayabiliriz [113].

İHA’ların karasal zeminde izleme yapan sensörleri dikkate alınmadığı takdirde İHA rotalama problemi klasik bir araç rotalama problemine dönüşür [114]. Bu durumda; İHA’ların doğrudan gözlemlenmesi istenen konumların üzerine rotalanması sağlanır. Ancak; bir hava aracının karasal zeminde belirli bir konumu gözlemleyebilmesi için doğrudan üzerinde uçuş yapmasına gerek yoktur. İHA, sensör yeteneklerini kullanarak belirlenen konumu başka bir konumdan izleyerek sağlayabilir. İHA’ların rota problemlerine sensör yetenekleri dâhil edildiğinde, problem daha karmaşık bir yapı kazanmaktadır. Çözüm aranan problem, “hizmet merkezleri bilinen ancak hizmet merkezini kapsama alanı içerisine alan herhangi bir noktaya yakıt, uzaktan kontrol, uçuş mesafesi vb. kısıtlar altında minimum maliyet ile rotalanacak İHA sayısı ve rota yapısını belirlemek” olmaktadır.

Uygulama çalışmasında Batman bölgesinde konuşlu üs bölgesinde tek tip İHA filosu ve İHA’lara entegre edilmek üzere 3 tip sensör kullanılmıştır. İHA’lara ait teknik özellikler [3] nolu kaynaktan temin edilmiştir. Türkiye, milli olarak İHA üretim teknolojisine sahip

olduğu ve TSK envanterinde İHA sistemleri bulunduğundan, rota maliyeti hesaplamaları toplam uçuş süresi üzerinden yapılmıştır. Sensör kabiliyetleri Çizelge 6.8’de, İHA teknik özellikleri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.8. Sensör tiplerine göre azami görüş menzili

<i>Sensör Tipi</i>	<i>Maks. Görüş Menzili</i>	<i>Envanter Miktarı</i>
s_1	10 km	10 adet
s_2	15 km	10 adet
s_3	20 km	10 adet

Çizelge 6.9. İHA teknik özellikleri ve envanter miktarı bilgileri

<i>İHA Tipi</i>	<i>Maks. Uçuş Süresi (L)</i>	<i>Ortalama Uçuş Hızı (v)</i>	<i>Envanter Miktarı (K)</i>	<i>Saatlik Uçuş Maliyeti (c)</i>
<i>A model İHA</i>	24 sa	200 km/sa	10 adet	\$ 1 000

Bir İHA’nın uçuş rota maliyeti, rota uzunluğu ve uçuş süresi üzerinden Eş. 6.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sum_i^N \sum_j^N ((x_{i,j,u} \cdot d_{i,j}) / v) \cdot c \quad (6.9)$$

6.3.1. Model 4 uygulaması

Model 4’de, Harita 6.1’de verilen sınır hattındaki 107 konumun en küçük rota uzunluğu ile havadan uçuş yoluyla gözlemlenmesi hedeflenmektedir. Model 4’de verilen Kapasiteli İHA rotalama modeli ile problemin çözümüne yönelik hazırlanan matematiksel modelin GAMS kodu EK-10’da verilmiştir. Rotalama problemleri genel olarak NP-zor yapıdadır. Bu noktada, doğrusal modeller düğüm sayısı fazla olduğunda çözüm vermeyebilir. Bu amaçla; KİRM modeli, Harita 6.1’de verilen sırasıyla ilk 10, 20, 30, 40, 50 ve 107 konumları için test edilmiştir. Elde edilen çözümler Çizelge 6.10’da sunulmuştur.

Çizelge 6.10. Model 4 çözüm sonuçları

Gözlemi Hedeflenen Konum Sayısı	Planlanan İHA Sayısı	İHA Rota Planı	Rota Uzunluğu (km)	Rota Maliyeti (\$)
$x_1 - x_{10}$ arası	1 adet	$x_0 - x_{10} - x_8 - x_4 - x_2 - x_1$ $-x_3 - x_7 - x_6 - x_5 - x_9 - x_0$	877,162	4 385,81
$x_1 - x_{20}$ arası	1 adet	$x_0 - x_{19} - x_{18} - x_{20} - x_{17}$ $-x_{15} - x_{11} - x_{10} - x_8 - x_4$ $-x_2 - x_1 - x_3 - x_7 - x_6 - x_5$ $-x_9 - x_{12} - x_{13} - x_{14} - x_{16}$ $-x_0$	904,015	4 520,08
$x_1 - x_{30}$ arası	1 adet	$x_0 - x_{27} - x_{23} - x_{20} - x_{17}$ $-x_{25} - x_{21} - x_{16} - x_{14} - x_{15}$ $-x_{11} - x_{10} - x_8 - x_3 - x_1 - x_2$ $-x_4 - x_7 - x_6 - x_5 - x_9 - x_{12}$ $-x_{13} - x_{18} - x_{19} - x_{24} - x_{22}$ $-x_{26} - x_{28} - x_{29} - x_{30} - x_0$	970,962	4 854,81
$x_1 - x_{40}$ arası	1 adet	$x_0 - x_{40} - x_{39} - x_{36} - x_{35}$ $-x_{32} - x_{30} - x_{26} - x_{22} - x_{24}$ $-x_{19} - x_{23} - x_{18} - x_{20} - x_{17}$ $-x_{25} - x_{15} - x_{11} - x_{10} - x_8$ $-x_7 - x_3 - x_1 - x_2 - x_4 - x_6$ $-x_5 - x_9 - x_{12} - x_{13} - x_{14}$ $-x_{21} - x_{16} - x_{34} - x_{27} - x_{28}$ $-x_{29} - x_{31} - x_{33} - x_{37} - x_{38}$ $-x_0$	1 022,378	5 111,89
$x_1 - x_{50}$ arası	1 adet	$x_0 - x_{45} - x_{47} - x_{48} - x_{46}$ $-x_{44} - x_{49} - x_{43} - x_{40} - x_{41}$ $-x_{39} - x_{36} - x_{42} - x_{33} - x_{35}$ $-x_{32} - x_{30} - x_{31} - x_{34} - x_{29}$ $-x_{27} - x_{28} - x_{26} - x_{22} - x_{24}$ $-x_{19} - x_{18} - x_{20} - x_{17} - x_{16}$ $-x_{21} - x_{11} - x_{13} - x_{12} - x_9$ $-x_5 - x_6 - x_7 - x_3 - x_1 - x_2$ $-x_4 - x_8 - x_{10} - x_{25} - x_{15}$ $-x_{14} - x_{23} - x_{37} - x_{38} - x_{50}$ $-x_0$	1 117,861	5 589,31
$x_1 - x_{107}$ arası	<i>İterasyon kısıtı nedeniyle çözüm elde edilememiştir.</i>			

Çizelge 6.10'da farklı konum sayıları için KİRM modeli ile elde edilen rota planı çözümleri verilmiştir. Gözlemlenmesi istenen 107 konumun tamamı için, NP-zor yapıdaki

KİRM modeli GAMS programında doğrusal modeller için belirlenen iterasyon sayısı kısıtı altında çözüm veremediğinden herhangi bir rota planı sunulamamaktadır.

6.3.2. Model 5 uygulaması

Model 5’de, İHA rota planının belirlenmesinde sensör görüş kabiliyetleri de dikkate alınmıştır. Probleme ilişkin GAMS modeli EK-11’de verilmiştir. Geliştirilen ISS&ROM modeli, Harita 6.1’de verilen sırasıyla ilk 10, 20, 30, 40, 50 ve 107 konum için test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 6.11’de sunulmuştur. Rota maliyetleri Eş. 6.9 ile hesaplanmıştır.

Çizelge 6.11. Model 5 çözüm sonuçları

Gözlemi Hedeflenen Konum Sayısı	Planlanan İHA ve Sensör Tipi	İHA Rota Planı	Rota Uzunluğu (km)	Rota Maliyeti (\$)
$x_1 - x_{10}$ arası	$u_1 - s_3$	$x_0 - x_{10} - x_2 - x_1 - x_3 - x_6$ $-x_5 - x_9 - x_8 - x_0$	869,683	4 348,42
$x_1 - x_{20}$ arası	$u_1 - s_2$	$x_0 - x_{19} - x_{16} - x_{13} - x_8$ $-x_9 - x_5 - x_6 - x_3 - x_2$ $-x_1 - x_{10} - x_{11} - x_{14} - x_{20}$ $-x_0$	880,265	4 401,33
$x_1 - x_{30}$ arası	$u_1 - s_3$	$x_0 - x_{29} - x_{23} - x_{13} - x_8$ $-x_9 - x_5 - x_6 - x_3 - x_1$ $-x_2 - x_{10} - x_{11} - x_{21} - x_0$	874,148	4 370,74
$x_1 - x_{40}$ arası	$u_1 - s_3$	$x_0 - x_{40} - x_{37} - x_{31} - x_{26}$ $-x_{19} - x_{21} - x_{11} - x_{10} - x_9$ $-x_5 - x_6 - x_3 - x_1 - x_4 - x_8$ $-x_{13} - x_{14}$	898,695	4 493,48
$x_1 - x_{50}$ arası	$u_1 - s_3$	$x_0 - x_{42} - x_1 - x_4 - x_6 - x_5$ $-x_9 - x_8 - x_{10} - x_{13} - x_{21}$ $-x_{23} - x_{28} - x_{31} - x_{37} - x_{44}$ $-x_{50} - x_0$	899,750	4 498,75
$x_1 - x_{107}$ arası	<i>İterasyon sayısı kısıtı nedeniyle çözüm elde edilememiştir.</i>			

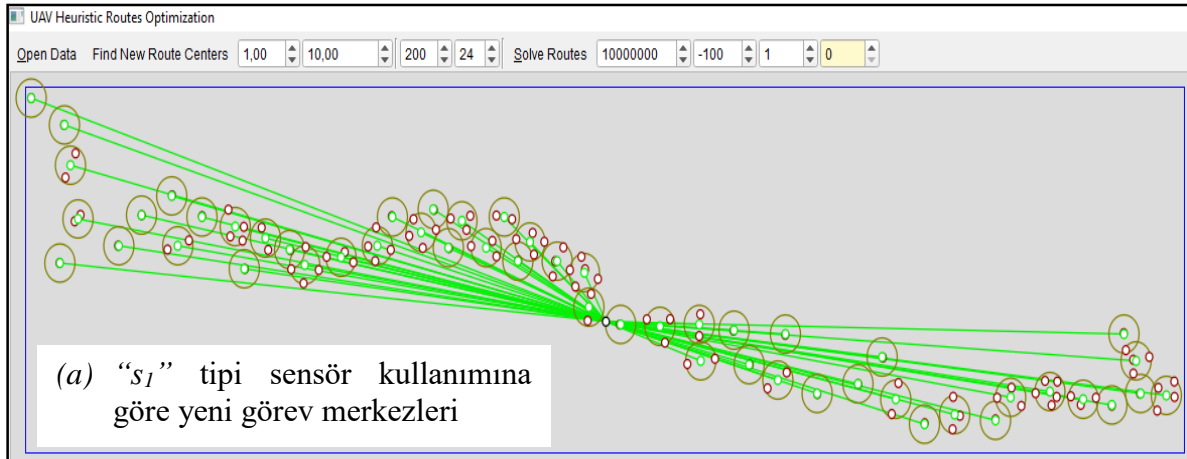
Çizelge 6.11’de; Model 5’de önerilen ISS&ROM modeli kullanılarak farklı konum sayıları için elde edilen rota planı çözümleri verilmiştir. Buna göre; gözlemlenmesi hedeflenen 107 konum için ISS&ROM modeli de KİRM modeli gibi iterasyon sayısı kısıtı nedeniyle çözüm sunamamaktadır. İterasyon sayısı kısıtına ilişkin bilgiler EK-10 ve EK-11’deki GAMS kodlarında verilmiştir. Çözüm elde edilememesinin nedeni İHA rotalama probleminin NP-zor yapıda olmasıdır.

Ancak; farklı konum sayıları için elde edilen rota uzunlukları KİRM modeli ile karşılaştırıldığında; $x_1 - x_{10}$ arasındaki konumlar için % 0,8 ; $x_1 - x_{20}$ arasındaki konumlar için % 2,62 ; $x_1 - x_{30}$ arasındaki konumlar için % 9,9 ; $x_1 - x_{40}$ arasındaki konumlar için % 12,1 ; $x_1 - x_{50}$ arasındaki konumlar için ise % 19,5 oranında iyileştirme yapıldığı görülmektedir.

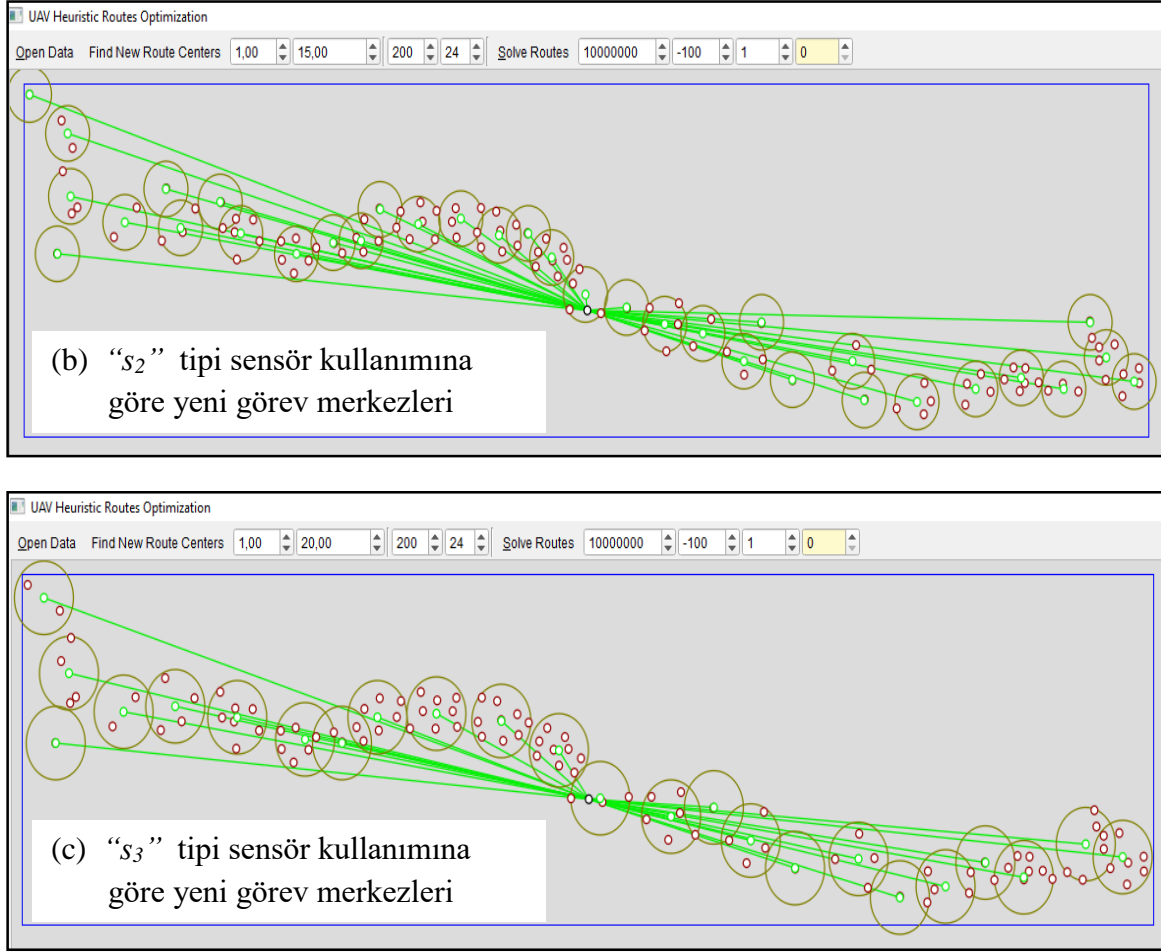
6.3.3. Model 6 uygulaması

Sınır hattında belirlenen 107 konumun tamamı için rota planı, Model 4’de önerilen KİRM modeliyle ve Model 5’de önerilen ISS&ROM modeliyle elde edilememiştir. Bu amaçla; Model 6’da sezgisel bir rota algoritması kullanılan KDS önerilmiştir.

KDS’nin birinci aşamasında, sınır hattında gözlemi hedeflenen 107 konum için Sensör Kaplama Algoritması kullanılarak farklı sensör tiplerine göre yeni görev merkezleri belirlendiğinde, Şekil 6.2’de verilen yeni rota merkezleri elde edilir.



Şekil 6.2. Gözlem yapılacak konumların sensör tiplerine göre gruplandırılması



Şekil 6.2. (devam) Gözlem yapılacak konumların sensör tiplerine göre gruplandırılması

Şekil 6.2’de görülen yeni rota merkezlerinin sayısal verileri Çizelge 6.12’de verilmiştir. Çizelge 6.12 incelendiğinde; İHA’lara “ s_1 ” tipi sensör entegre edildiğinde Harita 5.1’de verilen 107 adet konumun gözlemlenebilmesi için İHA’ların Şekil 6.2 (a)’da verilen 52 adet yeni rota merkezi üzerinde uçuş yapması gerekmektedir.

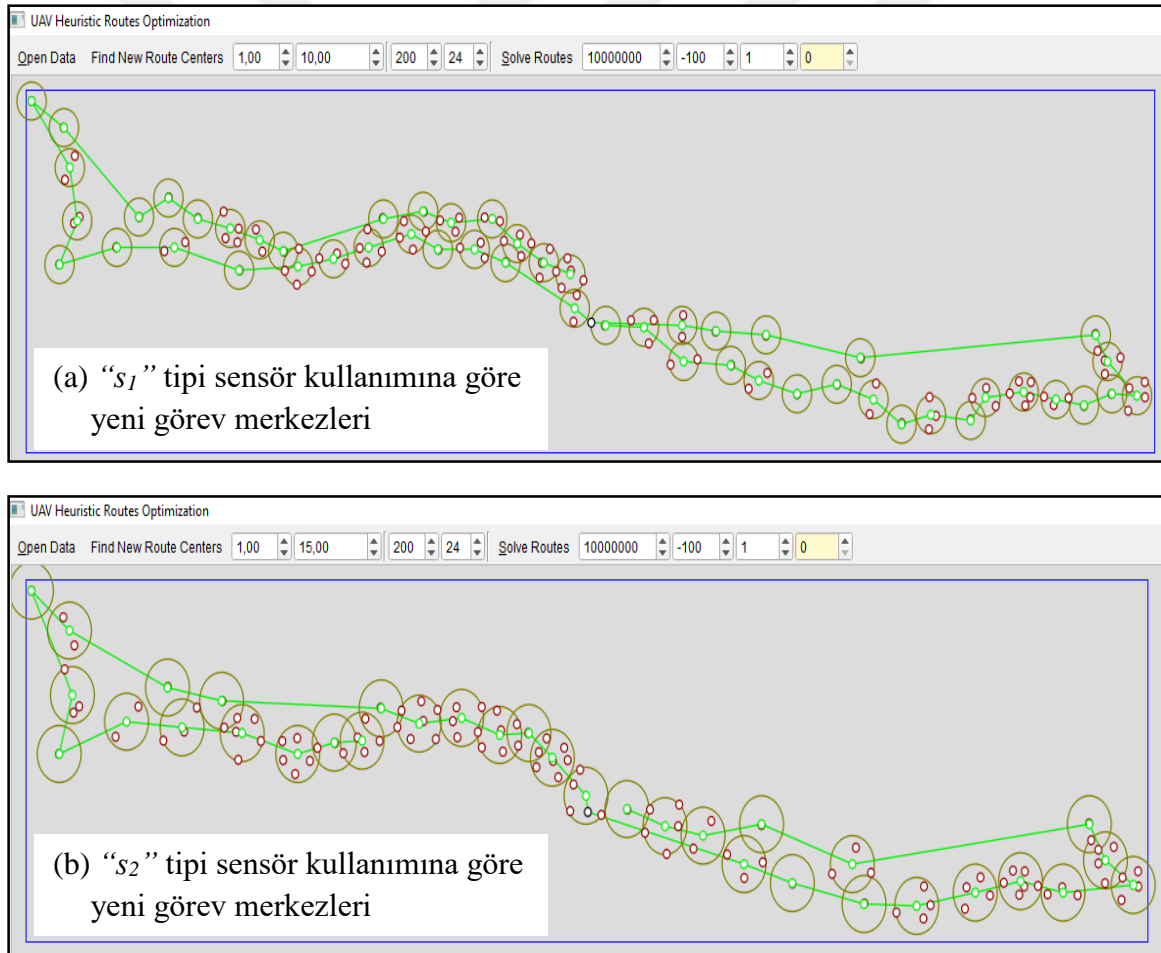
Bunun yanında; İHA’lara “ s_2 ” tipi sensör entegre edildiğinde, tüm konumların gözlemlenebilmesi için İHA’ların Şekil 6.2 (b)’de verilen 34 adet yeni rota merkezi üzerinde uçuş yapması gerekmektedir.

İHA’lara “ s_3 ” tipi sensör entegre edildiğinde, tüm konumların gözlemlenebilmesi için İHA’ların Şekil 6.2 (c)’de verilen 24 adet yeni rota merkezi üzerinde uçuş yapması gerekmektedir.

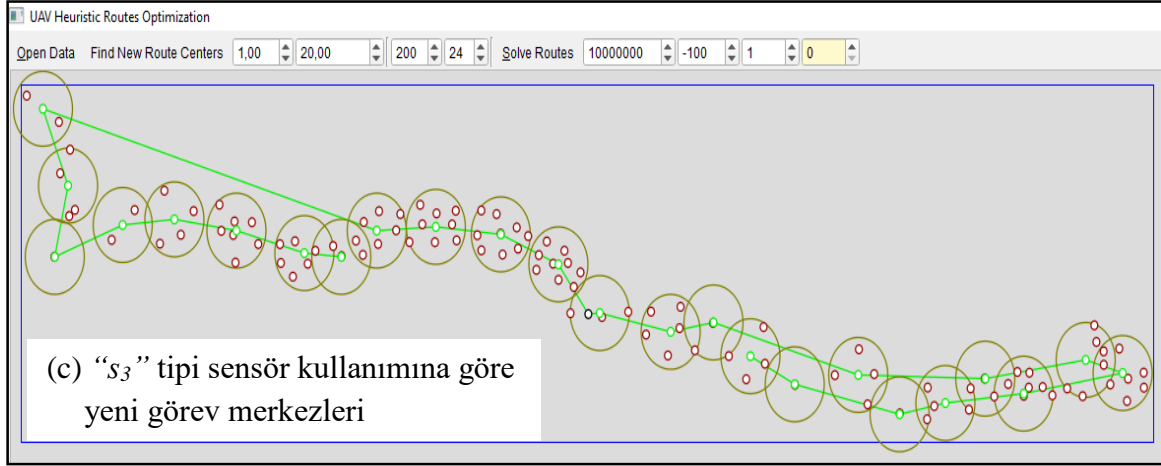
Çizelge 6.12. Sensör tiplerine göre yeni rota merkezlerinin verileri

İHA Tipi	Sensör Tipi	Yeni Rota Merkezlerinin Sayısı
A model İHA	s_1 (10 km görüş menzilli)	52
	s_2 (15 km görüş menzilli)	34
	s_3 (20 km görüş menzilli)	24

Yeni rota merkezleri tespit edildikten sonra, önerilen yaklaşımın ikinci aşamasına geçilir. Sırasıyla “ s_1 ”, “ s_2 ” ve “ s_3 ” tip sensörlerin entegre edildiği İHA’lar için, uygulama sonuçlarında elde edilen rota planları Şekil 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.3. Demon algoritması ile oluşturulan rota planları



Şekil 6.3. (devam) Demon algoritması ile oluşturulan rota planları

Şekil 6.3’de görülen rota planlarına göre, kullanılan İHA sayısı, toplam uçuş mesafesi ve rota maliyetleri Çizelge 6.13’de verilmiştir. Rota maliyetleri Eş. 6.9 kullanılarak ortalama uçuş süresi ve rota uzunluğu üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 6.13. İHA’ların yeni görev merkezlerine göre rota planı detayları

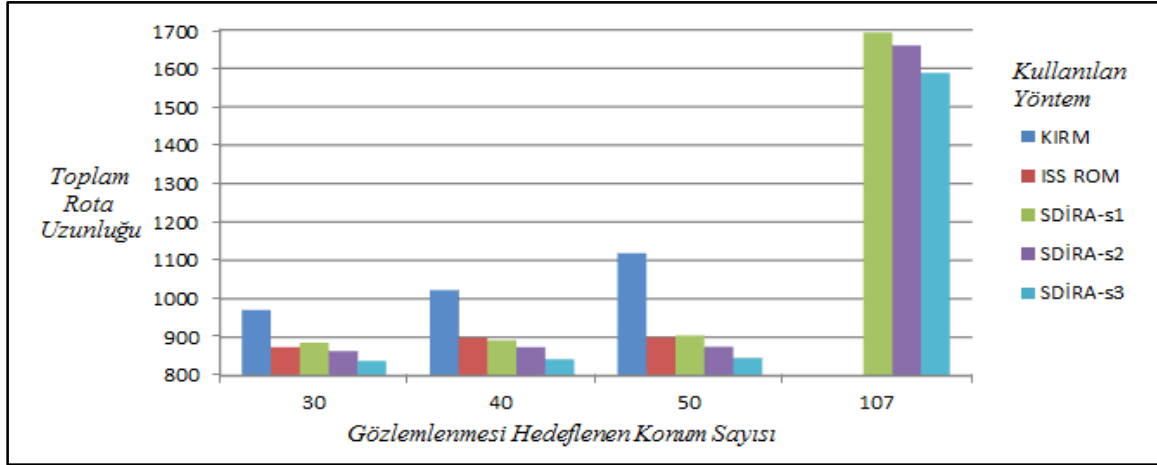
İHA Tipi	Sensör Tipi	Planlanan İHA Sayısı	Toplam Rota Mesafesi (km)	Toplam Rota Maliyeti (\$)
A	s_1 (10 km görüş menzilli)	2	1 693,083	8 465,42
model	s_2 (15 km görüş menzilli)	2	1 658,886	8 294,43
İHA	s_3 (20 km görüş menzilli)	2	1 587,787	7 938,94

Çizelge 6.13 incelendiğinde, Harita 6.1’de verilen 107 adet konumun gözlemlenmesi için; “ s_1 ” tip sensörlerin entegre edildiği 2 adet İHA ile 1 693,083 km’lik uçuş rota uzunluğunun; “ s_2 ” tip sensörlerin entegre edildiği 2 adet İHA ile 1 658,886 km’lik uçuş rota uzunluğunun; “ s_3 ” tip sensörlerin kullanım durumunda ise 2 adet İHA ile 1 587,787 km’lik uçuş rota uzunluğunun ortaya çıktığı görülmektedir.

Buna göre; Model 6’da önerilen SDİRA yaklaşımı kullanılarak, 20 km.lik sensörün entegre edildiği iki adet İHA ile en küçük rota uzunluğu ve rota maliyeti elde edilerek tüm konumların havadan gözlemlenmesi sağlanabilmektedir.

Diğer taraftan; Model 6’da önerilen SDİRA yaklaşımının, toplam uçuş yolu uzunluğu açısından KİRM ve ISS&ROM çözümlerine nazaran sağladığı iyileştirme dikkat

çekmektedir. Her üç modelin, farklı hedef sayılarına göre toplam rota uzunluğu açısından karşılaştırma detayları Şekil 6.4’de verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Toplam rota uzunluklarının karşılaştırılması

Şekil 6.4 incelendiğinde; gözlemlenmesi hedeflenen tüm konum sayılarında “SDİRA-s₃” algoritmasının daha iyi çözüm sunduğu görülmektedir.

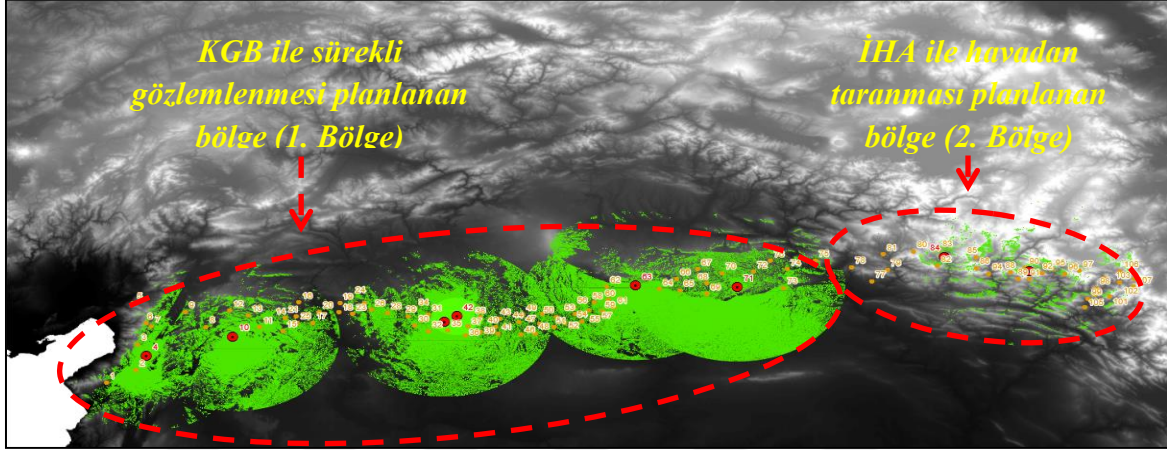
6.4. Model 7 Uygulaması

Harita 6.3’de, KGB’lerin yerleşim durumlarının görüş analizi görüntüsü verilmiştir. Görüş analizi görüntüleri incelendiğinde, KGB’lerin sınır hattında belirlenen konumları gözlemleyebildikleri ancak tüm sınır hattı söz konusu olduğunda yetersiz kaldıkları gözükmektedir. Özellikle Türkiye’nin güneydoğu sınır hattı bölgesinin aşırı engebeli yapısından dolayı KGB’ler ile etkin keşif gözetleme yapılamadığı dikkat çekmektedir. Söz konusu konumların İHA’lar ile havadan taranması planlandığında ise Şekil 6.3’de verilen rotalar ile planlanan görevin tamamlanabileceği gözükmektedir.

Türkiye’nin güneydoğu sınır hattının dağlık yapısı nedeniyle, KGB’lerin bu bölgelerde etkin keşif ve gözetleme yapamadığı dikkate alındığında, bu durum; gözlemlenebilen alanların KGB’ler ile, gözlemlenemeyen alanların ise İHA’lar ile taranması şeklinde hibrit bir keşif ve gözetleme sistemini öne çıkarmaktadır.

Bu amaçla; Model 7’de, Harita 6.3’de görüş analizi görüntüleri verilen Model 3’e ait KGB yerleşimindeki gözlemlenemeyen alanların İHA’lar ile havadan taranarak keşif ve gözleminin yapılması şeklinde hibrit keşif gözetleme sistemi ele alınmıştır. Hibrit keşif ve

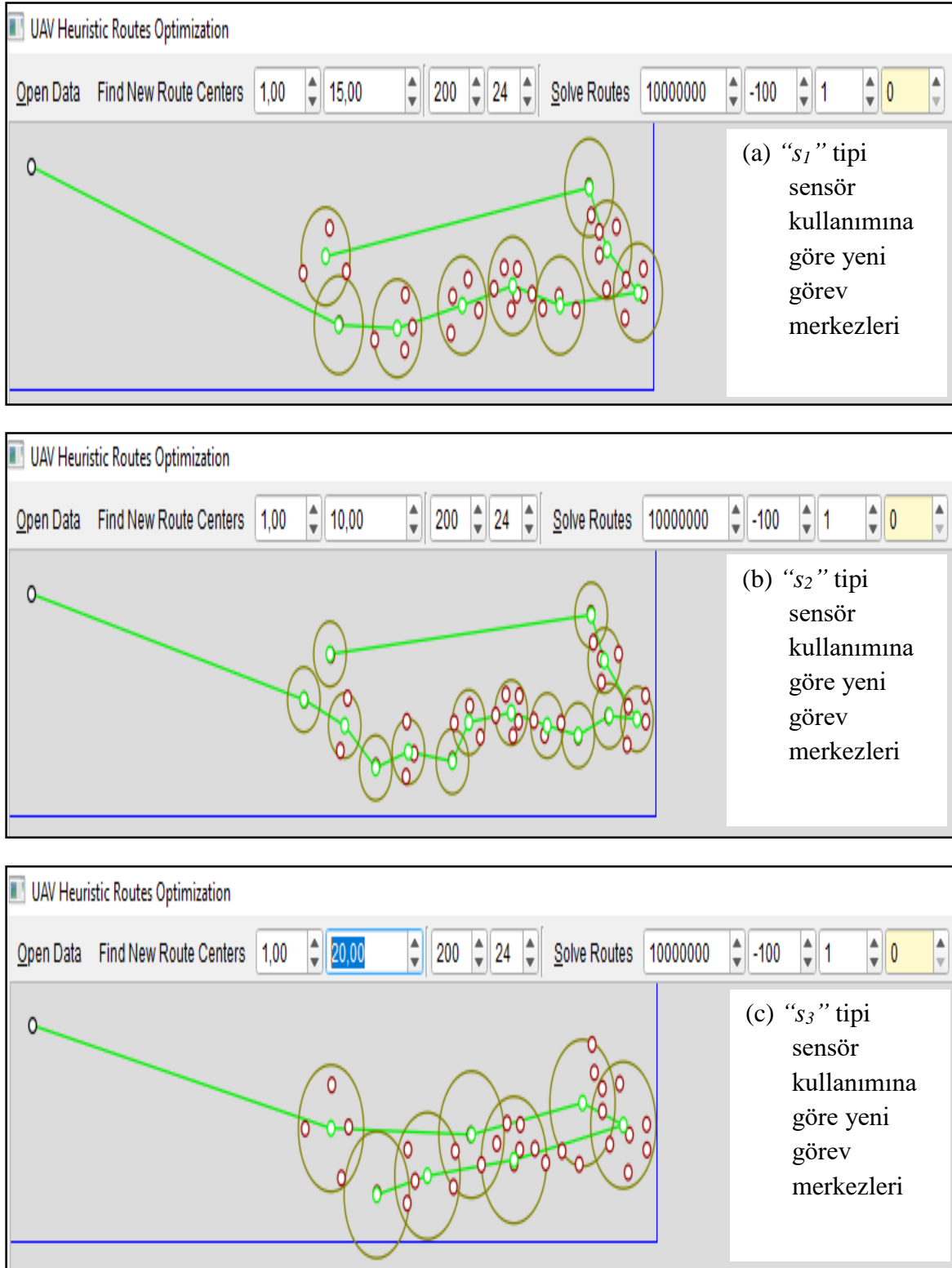
gözetleme sistem önerisinde Model 3'ün kullanılma sebebi, söz konusu modelde en düşük KGB yerleşim maliyetinin ve en yüksek uygunluk değerinin elde edilmiş olmasıdır. Önerilen hibrit keşif ve gözetleme sisteminin yapısı Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5. Önerilen hibrit keşif ve gözetleme sisteminin yapısı

Şekil 6.5'de görüldüğü üzere, KGB ile gözlemlenmesi hedeflenen 1. Bölge için KGB yerleşim konumları Model 3 çözümünde verilmiştir. Çizelge 6.6'da verilen Model 3 çözüm detayları incelendiğinde; KGB yerleşim konumlarının sırasıyla x_4 , x_{10} , x_{33} , x_{42} , x_{63} , x_{71} , x_{84} , x_{93} olduğu ve kurulum maliyetinin \$ 82 900 olduğu görülmektedir.

Diğer taraftan, Şekil 6.5'de İHA ile taranması planlanan 2. Bölge incelendiğinde, gözlem yapılması planlanan konumların $x_{77} - x_{107}$ arasındaki toplam 31 adet noktadan oluştuğu görülmektedir. SDİRA yaklaşımının ilk aşamasında, Sensör Kaplama Algoritması ile yeni görev merkezleri belirlenmekte, ikinci aşamasında ise bir önceki aşamada belirlenen yeni görev merkezlerine Demon Algoritması ile rotalama işlemi yapılmaktadır. Buna göre; 2. Bölgeyi ifade eden, $x_{77} - x_{107}$ arasındaki toplam 31 adet konum için SDİRA yaklaşımına göre elde edilen rota planları Şekil 6.6'da, özet tablo ise Çizelge 6.14'de verilmiştir.



Şekil 6.6. Önerilen hibrit keşif gözetleme sisteminde 2. bölge için SDİRA yaklaşımı ile elde edilmiş İHA rota planları

Çizelge 6.14. Önerilen hibrit sistemde 2. bölge için SDİRA yaklaşımı çözüm sonuçları

Kullanılan Yöntem	Hibrit Sistem Önerisinde Gözlemlenmesi Hedeflenen Konumlar	Kullanılan Sensör Tipleri	Planlanan İHA Sayısı	Toplam Rota Uzunluğu (km)	Toplam Rota Maliyeti (\$)
Sensör Kaplama ve Demon Algoritması ile Oluşturulan İki aşamalı İHA rotalama algoritması (SDİRA)	$x_{77} - x_{107}$ arası	s ₁ tip (10 km görüş menzilli)	1	774,531	3 872,66
		s ₂ tip (15 km görüş menzilli)	1	772,013	3 860,07
		s ₃ tip (20 km görüş menzilli)	1	736,451	3 682,26

Çizelge 6.14 incelendiğinde sınır hattındaki $x_{77} - x_{107}$ arası konumların gözlemlenmesi için; “s₁” tip sensörün entegre edildiği 1 adet İHA ile 774,531 km’lik rota uzunluğunun; “s₂” tip sensörün entegre edildiği 1 adet İHA ile 772,013 km’lik rota uzunluğunun; “s₃” tip sensörün entegre edildiği 1 adet İHA ile 736,451 km’lik rota uzunluğunun ortaya çıktığı görülmektedir. Model 7’de önerilen Hibrit Sisteme ilişkin maliyet verileri Çizelge 6.15’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.15. Hibrit sistem kurulum maliyetleri

KGB Yerleşim Maliyeti (Model 3)		İHA Rota Maliyeti (Model 6)			Hibrit Sistem (Model 7)
Gözlemlenmesi Hedeflenen Konumlar	KGB Kurulum Maliyeti (\$)	Gözlemlenmesi Hedeflenen Konumlar	Sensör Tipleri	İHA Rota Maliyeti (\$)	Toplam Hibrit Sistem Maliyeti (\$)
$x_1 - x_{107}$ arası	82 900	$x_{77} - x_{107}$ arası	s ₁	3 872,66	86 772,65
			s ₂	3 860,07	86 760,06
			s ₃	3 682,26	86 582,25

Çizelge 6.15 incelendiğinde, sırasıyla x_4 , x_{10} , x_{33} , x_{42} , x_{63} , x_{71} , x_{84} , x_{93} konumlarına KGB yerleştirilmesi ve $x_{77} - x_{107}$ arasındaki konumların 20 km.lik görüş menziline sahip (s_3 tip) sensörün entegre edildiği bir adet İHA sistemi ile havadan keşfinin yapılması şeklinde icra edilecek Hibrit Keşif Gözetleme Sistemi'nin en düşük maliyet değeri ile gerçekleştirilebileceği görülmektedir.





7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yasadışı göç ve terör faaliyetleri sınır bölgelerinin güvenliğine dikkat çekmektedir. Sınır güvenliğini sağlamada en önemli uygulama, yasadışı göç ve terör faaliyetlerinin ortaya çıkmadan önlenmesini sağlayan keşif ve gözetleme faaliyetleridir. Ancak; çeşitli fiziki ve coğrafi engeller bu bölgelerde izleme ve takip işlemlerini zorlaştırmaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte, gözetleme ve izleme işlemlerinde insansız ve yoğun teknoloji kullanan sistemlerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Günümüzde ülkeler sınır güvenliğini sağlamak amacıyla yeni teknolojiler aramaktadırlar. İHA, Sensörler, Kablo Gülümlü Balonlar, Radar Sistemleri, Uydu Tabanlı Gözlem Sistemleri birçok ülke tarafından sınır güvenliği ve çeşitli askeri operasyonlar için kullanılmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti, iki Avrupa (Bulgaristan, Yunanistan) ve altı Asya ülkesi (Azerbaycan, Ermenistan, Gürcistan, Irak ve Suriye) ile komşu olmak üzere toplam 2573 km'lik sınıra sahiptir. Jeostratejik konumu nedeniyle özellikle Irak, İran ve en uzun sınır komşusu olan Suriye sınırlarında uzun yıllardır terör, yasadışı göç vb. güvenlik problemleri yaşanmaktadır. Coğrafi ve stratejik olarak riskli bir bölgede bulunan ülkemizde keşif ve gözetleme faaliyetlerinin bu insansız gözlem sistemleri ile yürütülmesi çağımızın bir gereğidir.

Mevcut yapıda, ülkemiz sınır güvenliğini sağlamada kendi milli imkânları ile ürettiği İHA'ları kullanmaktadır ve bu sistemler nöbet kuleleri, çeşitli mobil/sabit radarlar ile desteklenmektedir. Ancak; ülkemizin savunma sanayisi ve güvenlik politikalarına ilişkin yön verici kararların alındığı Milli Güvenlik Kurulu'nun 2016-2017 dönemi gündem maddelerinde, sınır hattında alternatif keşif ve gözetleme sistemlerinin kullanımına yönelik çeşitli kararlar alındığı görülmektedir. Kurul tarafından önerilen yapıların başında Kablo Gülümlü Balon sistemleri gelmektedir. Ülkemizde savunma sanayisinin uygulayıcı makamı olan Savunma Sanayii Müsteşarlığı güdümlü balon sistemi alımına yönelik Eylül 2017 döneminde ihale ilanı duyurusu yapmıştır. Teknolojik olarak gelişmiş olan bu sistemlerin kullanımı öncesinde önemli bir planlama sürecine ihtiyaç vardır. Öyleki; bu teknoloji yoğun sistemleri üretme veya temin etme imkân ve kabiliyetlerine sahip olmak kadar etkin ve verimli kullanabilmek de önemlidir.

Tez çalışması, sınır hattında etkin keşif ve gözetleme sisteminin nasıl teşkil edilmesi gerektiği üzerine odaklanmaktadır. Bu noktada, Milli Güvenlik Kurulu ve Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından alınan kararlar dikkate alınarak KGB'ler ve İHA'lar üzerine odaklanılmıştır. Bu amaçla; sınır güvenliğinde KGB'lerin ve İHA'ların kullanım durumları için modeller önerilmiştir.

7.1. KGB, İHA Ve Hibrit Keşif Gözetleme Sistemine İlişkin Değerlendirmeler

Ele alınan ilk inceleme sahası, sınır güvenliğinin KGB'ler ile sağlanmasının planlandığı durumda KGB'lerin nerelere konuşlandırılacağı ve üzerlerine hangi yeteneklere sahip kamera sensörlerinin entegre edileceği problemine yöneliktir. KGB'lerin ne kadar alanı gözlemleyebildikleri, üzerlerine entegre edilen kamera sensörlerinin özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Diğer taraftan; herhangi bir konuma yerleştirilen KGB'nin gözlem alanı, diğer KGB'lerin konuş yerlerini belirlemede önemli bir etkidir. Bu noktada; sınır bölgesinin coğrafi yapısı ve kamera sensör yeteneklerinin birlikte ele alınması sağlanmıştır.

Ele alınan diğer inceleme sahası ise, sınır güvenliğinin İHA'lar ile sağlanmasının planlandığı durumda sınır hattı üzerinde belirlenen konumları havadan gözlemleyecek İHA'ların rota planının oluşturulması problemine yöneliktir. İHA'ların rota planlaması sürecinde; İHA üzerine entegre edilen kamera sensörünün görüş yetenekleri, karasal zemine emniyetli yaklaşma mesafesi ve maksimum uçuş süresi kriterleri dikkate alınmıştır.

Tez çalışmasında KGB'lerin ve İHA'ların kullanım durumlarına yönelik çeşitli modeller önerilmiştir. Model 1, 2 ve 3'de keşif ve gözetleme sürecinde KGB kullanımı ele alınmıştır. Model 1'de sınır hattının coğrafi özellikleri de dikkate alınarak minimum sayıda KGB ile sınır hattında belirlenecek tüm konumların gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

Model 2'de, aday noktaların coğrafi özelliklerine ilişkin uzman görüşleri ÇKKV kullanılarak matematiksel modele yansıtılmaya çalışılmıştır. Model 3'de, maksimum uygunluk değerini minimum maliyet ile sağlayan KGB yerleşim yerlerinin belirlenmesi problemine amaç programlama yaklaşımı ile çözüm aranmıştır. Model 1, 2 ve 3'de elde edilen KGB yerleşim planlarının, sınır hattının gerçek coğrafi özellikleri üzerinde nasıl bir

görüş imkânı sağlayacağını test etmek amacıyla CBS'nin Görüş Analizi modülü kullanılmıştır.

Model 4, 5 ve 6'da keşif ve gözetleme sürecinde İHA kullanımını ele alınmıştır. Model 4'de, minimum rota uzunluğu ile sınır hattındaki tüm konumların gözlemlenmesi; Model 5'de minimum rota ile birlikte sensör seçimi; Model 6'da ise sezgisel bir rota algoritması sunulmuştur.

Arazinin coğrafi yapısı elverişli olmaması nedeniyle karar verici tarafından, KGB'lerin tek başına yetersiz kaldıkları değerlendirilebilir. Örneğin: Türkiye'nin güneydoğu sınır hattı bölgesi gibi aşırı engebeli coğrafi bölgelerde KGB'ler ile etkin keşif ve gözetleme yapılamaz. Bu amaçla; Model 7'de KGB ve İHA'ların birlikte kullanımını içeren bir Hibrit Keşif Gözetleme Sistemi önerilmiştir.

Tez çalışmasında önerilen modellerin uygulaması; Türkiye güney sınır hattında, TSK tarafından yayınlanmış Tasnif Dışı veriler ve uzman askeri personelin görüşleri dikkate alınarak belirlenmiş 107 adet konumun keşif ve gözleminin yapılmasında incelenmiştir. Uygulama sonuçlarına bakıldığında; Model 1'de bir adet 20 km'lik ve beş adet 80 km'lik sensörün kullanıldığı toplam 6 adet KGB'nin 1, 8, 30, 62, 75 ve 93 nolu konumlara yerleştirilmesi ile tüm noktaların gözlemlenmesinin sağlandığı görülmektedir.

Model 2'ye ilişkin uygulamada, aday noktaların coğrafi özelliklerini matematiksel modele yansıtılabilmek amacıyla uzman askeri personel tarafından sınıra uzaklık, bölgede yaşanan terör faaliyetleri, yasadışı göç faaliyetleri, ulaşım kolaylığı, bakım merkezine yakınlık kriterlerine göre konumların değerlendirilmesi sağlanmıştır. Alınan uzman görüşleri, bulanık-TOPSIS yöntemi ile sayısallaştırılarak matematiksel modele dâhil edilmiştir. Çözüm sonuçlarına bakıldığında; 64 adet 20 km'lik, 4 adet 40 km'lik, 6 adet 60 km'lik ve 33 adet 80 km'lik sensörün kullanıldığı toplam 107 adet KGB'nin yerleştirilmesi ile maksimum uygunluk puanı elde edilerek tüm noktaların gözlemlenmesi sağlanmaktadır.

Model 3'e ilişkin çözüm sonuçlarına bakıldığında; bir adet 20 km'lik ve 7 adet 80 km'lik sensörün kullanıldığı toplam 8 adet KGB'nin 4, 10, 33, 42, 63, 71, 84 ve 93 nolu konumlara yerleştirilmesi ile tüm noktaların gözlemi sağlanmaktadır. Model 3.1'den, Model 3.11'e kadar geliştirilen modellerde ise amaçların ağırlıklarının çözüm sonucuna

yapacağı etkinin izlenmesi amacıyla farklı ağırlık değerleri altında problem yeniden çözülmüştür.

Çözüm sonuçlarında elde edilen yerleşim planlarının sunacağı görüş imkanını belirlemek amacıyla CBS’de Görüş Analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçları, her bir modelde KGB’lerin gözlemlenmesi beklenen noktaları kapsadığını göstermektedir. En fazla görüş alanı sağlayan çözüme, tüm aday noktalara birer KGB yerleştirilmesini öneren Model 2’de ulaşılmaktadır. Ancak bu çözüm, yüksek maliyet değeri ile bütçe kısıtını aşmaktadır. En az maliyetle, en yüksek uygunluk puanı veren yerleşim şekline ise Model 3’de ulaşılmıştır. Ancak; Türkiye’nin güneydoğu bölgesinin, engebeli arazi yapısı nedeniyle yeterli seviyede gözlemlenemediği tüm model çözümlerinde dikkat çekmektedir. Bu durum; KGB’lerin Türkiye güney sınır hattında etkin keşif ve gözetleme sistemi teşkil edilmesi için tek başına yeterli olmayacağını göstermektedir.

Model 4’de, İHA’ların uçuş mesafesi kısıtı dikkate alınarak geliştirilen KİRM modeli ile probleme çözüm aranmış; ancak; düğüm sayısının fazla olması nedeniyle 107 konumun tamamı için bir rota planı bulunamamıştır.

Model 5’de, İHA sensör yeteneklerinin rota sürecine dâhil edilmesini sağlamak amacıyla geliştirilen ISS&ROM modeli kullanılmış, ancak düğüm sayısının fazla olması nedeniyle 107 konumun tamamı için bir rota planı elde edilememiştir. Farklı konum sayıları için Model 5 ile elde edilen rota uzunlukları Model 4 sonuçları ile karşılaştırıldığında; $x_1 - x_{10}$ arasındaki konumlar için % 0,8 ; $x_1 - x_{20}$ arasındaki konumlar için % 2,62 ; $x_1 - x_{30}$ arasındaki konumlar için % 9,9 ; $x_1 - x_{40}$ arasındaki konumlar için % 12,1 ; $x_1 - x_{50}$ arasındaki konumlar için ise % 19,5 oranında iyileştirme yapıldığı görülmektedir.

Model 6’da, “Sensör Kaplama ve Demon Algoritması ile İki Aşamalı İHA Rotalama Algoritması (SDİRA)” kullanılmıştır. Uygulama sonuçları; 20 km.lik sensörün entegre edildiği bir adet İHA’nın yapacağı 1 573,39 km.lik uçuş uzunluğu ile sınır hattındaki 107 konumun gözlemlenebileceğini göstermektedir. Aynı görev, 15 km.lik sensörün entegre edildiği iki adet İHA tarafından toplam 1 648,281 km.lik uçuş uzunluğu ile sağlanabilmektedir. 10 km.lik sensörler kullanıldığında ise, iki adet İHA toplamda 1 700,514 km.lik uçuş uzunluğu ile sınır hattında belirlenen 107 konumu gözlemleyebilmektedir.

Model 7’de önerilen Hibrit Keşif ve Gözetleme Sistemi’nde, KGB yerleşim yerlerini belirlemek için geliştirilen Model 3 ve İHA rota planını belirlemek için geliştirilen Model 6 birlikte kullanılmıştır. Buna göre; x_4 , x_{10} , x_{33} , x_{42} , x_{63} , x_{71} , x_{84} , x_{93} konumlarına KGB yerleştirilmiş ve engebeli arazi yapısı nedeniyle KGB’lerin etkin görüş elde edemediği $x_{77} - x_{107}$ arasındaki konumlar için Model 6’da önerilen sezgisel rotalama algoritması kullanılarak İHA rota planı belirlenmiştir.

Tez çalışmasının motivasyonunu, etkin keşif ve gözetleme sistemlerinin teşkil edilmesi öncesinde yapılması gereken bilimsel araştırma ve inceleme süreci oluşturmaktadır. Ele alınan konu, sınır hattında KGB’lerin yer seçimine yönelik yerli literatürde yapılmış ilk uygulamaları içermektedir. Keşif ve gözetleme sürecinde KGB ve İHA’ların birlikte kullanımını içeren Hibrit Sistem, çalışma sonucunda ortaya konulan önemli bir öneridir. Diğer taraftan çalışmada önerilen ISS&ROM modeli, sensör yeteneklerinin İHA rota sürecine dâhil edildiği ilk bütünlük doğrusal modeldir. Bunun yanında, geliştirilen iki aşamalı İHA rotalama sezgisel algoritması (SDİRA), literatürde Demon Algoritmasının İHA rota sürecinde kullanıldığı ilk uygulamadır. SDİRA algoritmasının ilk aşamasını oluşturan ve konumların kümelenmesi işleminde kullanılan Sensör Kaplama Algoritması, sensör yeteneklerinin İHA rota sürecine dâhil edilmesi için ilk kez bu çalışmada önerilmektedir.

7.2. İleriki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu tez çalışmasında, etkin keşif ve gözetleme sisteminin teşkil edilebilmesi için KGB konuş yerlerinin seçimini hedefleyen yer seçimi modelleri ve İHA’lar için en küçük rota uzunluğunun belirlenmesini hedefleyen rotalama algoritmaları ele alınmıştır.

KGB’ler görüş alanları çerçevesinde sürekli gözlem imkânı sağlarken, İHA’lar dinamik yapıları gereği anlık görüş imkânı sunmaktadırlar. İHA ile dinamik alan taraması konusu, hibrit keşif ve gözetleme modeline yönelik ileriki çalışmalarda detaylıca ele alınabilir. Belirli bir alanda, hedef niteliğindeki bir objenin İHA ile aranması şeklinde bir problem, “Arama Optimizasyonu” konusu içerisinde yer almaktadır. İHA ile hedef niteliğindeki objenin aranması sürecinde, rota optimizasyonunun yanında İHA’nın dinamik ve kinematik özelliklerinin de dikkate alınması sağlanabilir. Öyleki; İHA’nın zamana bağlı olarak değişen konumunun ifade edilmesi sürecinde, İHA’nın dinamik ve kinematik

özelliklerini ifade eden kontrol girdilerinin belirlenmesi gerekebilir. Diğer taraftan; İHA rota planı, hedef niteliğindeki objenin en kısa zamanda bulunmasını hedefleyecek şekilde Model 4, Model 5 ve Model 6'dan biri kullanılarak düzenlenebilir.

Aranan hedef niteliğindeki objenin anlık konumu, İHA'nın karasal zemindeki görüş alanı içerisinde ise hedefin tespit edildiği kabul edilebilir. Bu durumda; hedef niteliğindeki objenin ve arama işlemini gerçekleştiren İHA'nın zamana bağlı olarak değişen konumlarının belirli bir olasılık dağılımı ile ifade edilmesi gerekebilir. İHA'nın yakıt kısıtı, uçuş mesafe kısıtı, sensör özellikleri ile birlikte tarama yapılan alanın coğrafi özellikleri de dâhil edilebilir ve geliştirilecek sezgisel arama stratejileri ile çözümler elde edilebilir.



KAYNAKLAR

1. Department of the Army USA. (2004). *FM 7-15 Conduct Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*. Washington: Department of the Army USA, 78-95.
2. İnternet: TCOM. Case Study: Border Patrol. TCOM. 2018-05-06.URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tcomlp.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F10%2FTCO_Case_Study_Border-Patrol-V5.pdf&date=2018-05-06, Son Erişim Tarihi: 07.05.2018.
3. İnternet: Bayraktar. Bayraktar Taktik İHA Sistemi Teknik Broşür.URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fbaykarmakina.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F07%2FTaktik_brosur_TR_2017_05_04.pdf&date=2017-05-07, Son Erişim Tarihi: 07.05.2018.
4. Kurtuluş, D.F., Tekinalp, O. (2010). İnsansız hava araçlarına bir bakış. *Savunma Sanayii Müsteşarlığı Gündemi Dergisi*, 2, 12, 53-58.
5. Savunma Sanayii Müsteşarlığı. (2011). *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)*. Ankara: Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 39-41
6. Hakimi, S.L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operations Research*, 12(3), 450-459.
7. Church, R., Reville, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers, Regional Science Association*, 32, 101-118.
8. White, J., Case, K. (1974). On covering problems and the central facilities location problem. *Geographical Analysis*, 6, 281-293.
9. Gary, M.R., Johnson, D.S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP Completeness*. New York: W.F.Freeman and Co.
10. Schilling, D.A. (1980). Dynamic location modeling for multisector facilities: a multi criteria approach. *Decision Sciences*, 4, 714-724.
11. Boeffey, B., Narula, S.C. (1997). *Multiobjective covering and routing problems, essays in decision making: A volume in honor of stanley zions*. Berlin: Springer.
12. Megiddo, N., Zemel, E. and Hakimi, S.L. (1983). The maximum coverage location problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Algebraic Discrete Methods*, 4(2), 253-261.
13. Mehrez, A., Stulman, A. (1982). The maximal covering location problem with facility placement on the entire plane. *Journal of Regional Science*, 22(3), 361-365.
14. Schilling, D.A., Jayaraman, V. and Barkhi, R. (1993). A review of covering problem in facility location. *Location Science*, 1(1), 25-55.
15. Sherali, H.D, Kim, S. and Parrish, E.L. (1991), Probabilistic partial set covering problem. *Naval Research Logistics*, 38, 41-51.

16. Pirkul, H., Schilling, D.A. (1991). The maximal covering location problem with capacities on total workload. *Management Science*, 37(2), 233-48.
17. Church, R.L., Current, J. and Storbeck, J. (1991). A bicriterion maximal covering location formulation which considers the satisfaction of uncovered demand. *Decision Sciences*, 22, 38-52.
18. Current, J., Storbeck, J. (1988). Capacitated covering models. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 15(2), 153-163.
19. Kolen, A., Tamir, A. (1990). *Discrete Location Theory*. New York: John Wiley and Sons, 263-304.
20. Galvao, R.D, Revelle, C. (1996). A lagrangean heuristic for the maximal covering location problem. *European Journal of Operational Research*, 88, 114-123.
21. Gendreau, M. (1997). Solving an ambulance location model by Tabu Search. *Location Science*, 5(2), 75-88.
22. Karasakal, O., Karasakal, E.K. (2004). A maximal covering location model in the presence. *Computers and Operations Research*, 31, 1515-1526.
23. Revelle, C., Scholssberg, M. and Williams, J. (2008). Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration. *Computers and Operations Research*, 35, 427-435.
24. Paolo, D.O., Nicolette, R. and Antonino, S. (2014). A multiperiod maximal covering location model for the optimal location of intersection safety cameras on an urban traffic network. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 108, 106-117.
25. Halpern, J. (1978). Finding minimal center median convex combination of a graph. *Management Science*, 24, 535-544.
26. Chazelle B., Lee D.T. (1986). On a circle placement problem. *Computing*, 36, 1-16.
27. Feder, T., Greene, D. (1988). Optimal algorithms for approximate clustering. *Proceedings of the Twentieth Annual Association for Computing Machinery Symposium on Theory of Computing*, 120-135.
28. Gonzalez, T. (1991). Covering a set of points in multi-dimensional space. *Information Processing Letters*, 40, 181-188.
29. Hwang, R., Lee, R. and Chang, R. (1993). The generalized searching over separators strategy to solve some NP-Hard problems in subexponential time. *Algorithmica*, 9(4), 398-423.
30. Agarwal, P.K., Sharir, M. (1994). Planar geometric location problems. *Algorithmica*, 11, 185-195.
31. Efrat, A., Sharir, M. and Ziv, A. (1994). Computing the smallest k-enclosing circle and related problems. *Computational Geometry*, 4(3), 119-136.

32. Bronnimann, H., Goodrich, M. (1995). Almost optimal set covers in finite vc-dimension. *Discrete Computational Geometry*, 14, 463-479.
33. Katz, M.J., Sharir, M. (1997). An expander-based approach to geometric optimization. *Society for Industrial and Applied Mathematics Journal On Computational Geometry*, 26, 1384-1408.
34. Franceschetti, M., Cook, M. and Bruck, J. (2001). A geometric theorem for approximate disk covering algorithms, Technical Report ETR035, *Caltech*, 1-20.
35. Agarwal, P.K., Procopiuc, C.M. (2002). Exact and approximation algorithms for clustering. *Algorithmica*, 33(2), 201-226.
36. Xiao, B., Cao, J., Zhuge, Q., He, Y. and Sha, E. (2004). *Approximation algorithms design for disk partial covering problem*. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks, Hong Kong, China.
37. Cabello, S., Giannopoulos, P. and Rote, G. (2008). *Geometric clustering: fixed parameter tractability and lower bounds with respect to the dimension*, Paper presented at the Proceedings of the the 19th Annual ACM SIAM Symposium on Discrete Algorithms, San Francisco, CA, USA.
38. Sun, M.T., Yi, C.W., Yang, C.K. and Lai, T.H. (2008). An optimal algorithm for the minimum disk cover problem. *Algorithmica*, 50, 58-71.
39. Mustafa, N., Ray, S. (2010). Improved results on geometric hitting set problems. *Discrete and Computational Geometry*, 44, 883-895.
40. Das, G.K., Fraser, R., Lopez-Ortiz, A. and Nickerson, B. (2011). On the discrete unit disk cover problem. *Algorithms and Computation*, 6552, 146-157.
41. Claude F., Dorigiv, R., Durocher, S., Fraser, R., Lopez-Ortiz, A. and Salinger, A. (2010). An improved line-separable algorithm for discrete unit disk cover. *Discrete Mathematics, Algorithms and Applications*, 2, 77-87.
42. Chen, D.Z., Li, J. and Wang, H. (2015). Efficient algorithms for the one-dimensional k-center problem. *Theoretical Computer Science*, 592, 135-142.
43. Basappa, M., Acharyya, R. and Das, G.K. (2015). Unit disk cover problem in 2D. *Journal of Discrete Algorithms*, 33, 193-201.
44. Brandeau, M.L, Chui, S.S. (1989). An overview of representative problems in location research. *Management Science*, 35 (6): 645-674.
45. Owen, S.H., Daskin, M.S. (1998). Strategic facility location: a review. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 423-447.
46. Klose, A., Drexler, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4-29.

47. Şahin, G., Süral, H. (2007). A review of hierarchical facility location models. *Computers and Operations Research*, 34, 2310-2331.
48. Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M. and Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. *Computers and Industrial Engineering*, 62(1), 368-407.
49. Fowler, R.J., Paterson, M.S. and Tanimoto, S.L. (1991). Optimal packing and covering in the plane are NP-Complete. *Information Processing Letters*, 12(3), 133-137.
50. Hochbaum, D.S., Pathria, A. (1998). Analysis of the greedy approach in problems of maximum k-coverage. *Naval Research Logistics*, 45(6), 615-627.
51. Farahani, R.Z., Hekmatfar, M. (2009). *Facility location: Concepts, models, algorithms and case studies*. New York: Springer, 1-64.
52. Sarıkaya, H.A. (2003). *Turizm Bölgelerindeki Jandarma Karakollarının Konuş Yerlerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu, Ankara.
53. Tanergüçlü, T. (2004). *Selection of 35 mm. Oerlikon Batterys' Optimum Positions at Air Defence of Fixed Points*, Msc.Thesis, National Defense University Turkish Military Academy, Ankara.
54. Gencer, C., Açıkgöz, A. (2006). Reorganizing the location of Turkish Army Force SAR stations. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(1), 87-105.
55. Ayöperken, E., Ermiş, M. (2010). Modeling and optimizing the bases of unmanned aerial vehicles as a set-coverage problem. *Journal of Aeronautics And Space Technologies*, 5(1) 61-71.
56. Carlıoğlu, S. (2005). *Relocation of the Turkish Naval Forces Shore Surveillance Radars in Aegean Sea*. Msc. Thesis, Gazi University, Ankara.
57. Aydoğan, E.M. (2008). Stratejik bir bölgede deniz gücüne ait sahil gözetleme radarlarının yeniden yerleştirilmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 7(1), 1-20.
58. Aygüneş, H. (2008). Kırsal bölgelerde askeri birliklerin konuşlandırılmasında yer seçimi modellerinin kullanılması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 7(1), 93-112.
59. Kress, M., Johannes, O.R. (2007). *Aerial Search Optimization Model (ASOM) for UAVs in Special Operation.*, Msc. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey.
60. Kurban, Ö.F., Can, T. (2015). Acil istihbarat, gözetleme ve keşif ihtiyaçları için mini insansız hava araçlarının yer kontrol istasyonlarının seçimi. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*, 12 (45), 35-39.
61. Toth, P., Vigo, D. (2002). An overview of vehicle routing problems. *The Vehicle Routing Problem*, Philadelphia, 17-64.

62. Dantzig, G.B., Ramser J.B. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6, 80-91.
63. Clarke G., Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.
64. Wilson, Colvin. (1977). *Computer control of the rochester dial-ride system*. Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, CTS Report, Massachusetts, 20-31.
65. Psaraftis, H.N. (1980). A dynamic programming approach for solving sequencing groups of identical jobs. *Operations Research*, 28(6), 1347-1359.
66. Chen, Z.L., Xu, H. (2006). Dynamic column generation for dynamic vehicle routing with time Windows. *Transportation Science*, 40(1), 74-88.
67. Gendreau, M., Glover, F. and Kochenberger, G.A. (2003). *An introduction to tabu search in handbook of metaheuristics*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 37-55.
68. Benyahia, I., Potvin, J.Y. (1998). Genetic programming for vehicle dispatching. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, 28(3), 307-314.
69. Montemanni, R., Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E. and Donati, A.V. (2005). Ant colony system for dynamic vehicle routing problem. *Journal of Combinatorial Optimization*, 10(4), 327-343.
70. Machado, P., Tauares, J., Pereira, F. and Costa, E. (2002). *Vehicle routing problem: doing it the evolutionary way*. Paper presented at the Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, Newyork, United States.
71. Eryavuz, M., Gencer, C. (2001). *Araç Rotalama Problemine Ait Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
72. Lenstra, J.K., Kan, A.H.G.R. (1981). Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, 11, 221-227.
73. Erol, V. (2006). *Araç Rotalama Problemleri İçin Popülasyon ve Komşuluk Tabanlı Metasezgisel Bir Algoritmanın Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
74. Psaraftis, H.N. (1988). Dynamic vehicle routing problems, *Vehicle Routing: Methods and Studies*, 223-248.
75. Tüfekçier, H. (2008). *İki Amaçlı Açık Araç Rotalama Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
76. Wang, C.H., Lu, J.Z. (2009). A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 2921–2936.

77. Barnhart, C., Laporte, G. (2006). *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 22-76.
78. Lin, S.W., Lee, Z.J., Ying, K.C. and Lee, C.Y. (2009). Applying hybrid meta-heuristic for capacitated vehicle routing problem. *Expert Systems With Applications*, 36(2:1), 1505-1512.
79. Toth, P., Vigo, D. (2002b). Branch and bound algorithms for the capacitated VRP. *Society for Industrial and Applied Mathematics Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, 29–51.
80. Çetin, S., Gencer, C. (2010). Kesin zaman pencereli-eş zamanlı dağıtım toplamalı araç rotalama problemi: matematiksel model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 579-585.
81. Yılmaz, Ş. (2008). *Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
82. Christofides, N., Mingozzi, A. and Toth, P. (1981). *Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 255-282.
83. Naddef, D., Rinaldi, G. (2002). The vehicle routing problem. *Society for Industrial and Applied Mathematics Monographs on Discrete Mathematics and Applications*, 9, 53-84.
84. Simchi-Levi D., Bramel J. (1997). *Logic of Logistics: Theory, Algorithms & Applications for Logistics Management*. New York: Springer-Verlag, 71-86.
85. Laporte, G. (2007). What you should know about the vehicle routing problem. *Naval Research Logistics*, 54(8), 811-819.
86. Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408-416.
87. Gendreau, M., Laporte, G. And Semet, J.Y. (2002). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1-26.
88. Gendreau, M., Potvin, J.Y., Braysy, O., Hasle, G. and Lokketangen, A. (2008). *Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and Its Extensions: A Categorized Bibliography*. New York: Springer, 143-169.
89. Şeker, Ş. (2007). *Araç Rotalama Problemleri ve Zaman Pencereli Stokastik Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
90. Hachtel, G.D., Somenzi, F. (1996). *Logic Synthesis and Verification Algorithms*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1-38.
91. Haupt, R.L., Haupt, S.E. (2004). *Practical Genetic Algorithms* (Second Edition). New York: Wiley and Sons Inc, 35-54.

92. Smith, V.J.R., Osman, I.H., Reeves, C.R. and Smith, G.D. (1996). *Modern heuristic search method*. New York: John Wiley and Sons, 24-86.
93. Garic, T., Gold, H. (2008). *Vehicle routing problem*. Croatia: In-Teh, 17-41.
94. Osman I.H., Kelly, J.P. (1996). *Meta-heuristics: Theory and applications*. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1-22.
95. Vob, S., Martello, S., Osman, I.H. and Roucairol C. (1999). *Meta-Heuristics: Advances and Trends in Local Search Paradigms for Optimization*. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1-47.
96. Eiben, A.E., Smith, J.E. (2003). *Introduction to evolutionary computing*. Berlin: Springer Verlag, 24-58.
97. Rothlauf, F. (2002). *Representations for genetic and evolutionary algorithm.*, Berlin: Springer Verlag, 16-41.
98. Nabiyevev, V.V. (2003). *Yapay zeka problemler yöntemler algoritmalar*. Ankara: Seçkin Yayınevi, 54-59.
99. Ho, W., Ho, G.T.S., Ji, P. and Lau, H.C.W. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(4), 548-557.
100. Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence, *Computers and Operations Research*, 13, 533-549.
101. Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H. and Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.
102. Reeves, C.R. (1995). *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. UK: McGraw-Hill International Limited, 120-146.
103. Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671-680.
104. Breedam, A.V. (2001). Comparing descent heuristics and metaheuristics for the vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 28(4), 289-315.
105. Oliveira, H.C.B., Vasconcelos, G.C. and Bastos, G. (2006). A multi-start simulated annealing algorithm for the vehicle routing problem with time Windows. *Proceedings of the 9th Brazilian Symposium on Neural Networks*, 137-142.
106. Creutz, M. (1983). Microcanonical monte carlo simulation. *Physical Review Letters*, 50, 1411-1414.
107. White, D.J. (1982). The set of efficient solutions for multiple-objectives shortest path problems. *Computers and Operations Research*, 9, 101-107.

108. Pepper, J.W., Golden, B.L. and Wasil, E.A. (2002). Solving the traveling salesman problem with annealing-based heuristics: A computational study. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 32(1), 72–77.
109. Karakaya, M. (2014). UAV route planning for maximum target coverage. *Computer Science and Engineering: An International Journal*, 4(1), 27-34.
110. Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209-219.
111. Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operation Research*, 59(3), 345-358.
112. O'Rourke, K.P, Bailey, T.G, Hill, R.R and Carlton, W.B. (1999). *Dynamic routing of unmanned aerial vehicles using reactive tabu search*, 67th MORSS. New York: US West Point Military Academy.
113. Ercan, C., Gencer, C. (2013). Dinamik insansız hava sistemleri rota planlaması literatür araştırması ve insansız hava sistemleri çalışma alanları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 104-111.
114. Ercan C., Gencer C. (2013). An integer programming model for the heterogeneous UAV fleet routing problems. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 12(2), 119-144.
115. Kocabaş, S. (2003). *İnsansız Hava Araçlarının Rota Planlaması için bir Karar Destek Sistemi*, Yüksek Lisans Tezi, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
116. Murray, C.C., Karwan, H.M. (2010). An extensible modeling framework for dynamic reassignment and rerouting in cooperative airborne operations. *Naval Research Logistics*, 57(7), 634-652.
117. Enright J.J., Frazzoli E. (2005). *On multiple UAV routing with stochastic targets: performance bounds and algorithms*. Paper presented at the Proceedings of the The American Institute of Aeronautics and Astronautics Conference on Guidance, Navigation and Control, Maryland, United States.
118. Collins G.E., Riehl J.R. and Vegdahl P.S. (2007). A UAV routing and sensor control optimization algorithm for target search, *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics*, 6561, 6561.
119. Pakkan, B., Ermiş, M. (2010). Assignment of a fleet of unmanned aerial vehicles to multi targets using genetic algorithms. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 4(3), 77-84.
120. Sun, T.S., Chin-Li H., Shang-Yeng T., Yu-Hsiang Y. and Chan-Cheng L. (2011). Intelligent flight task algorithm for unmanned aerial vehicle. *Expert Systems with Applications*, (38), 10036-10048.
121. Seylan, Ç., Semiz, F. and Bican, Ö.S. (2012). İnsansız araçlarla düzlemsel olmayan alanların taranması. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 11 (1), 107-117.

122. Sundar, K., Rathinam, S. (2012). *Route planning algorithms for UAVs with refueling constraints*. Paper presented at the Proceedings of the 2012 American Control Conference, Montreal, Canada, 3266-3271.
123. Mufalli, F., Batta, R. and Nagi, R. (2012). Simultaneous sensor selection and routing of UAVS for complex mission plans. *Computers and Operation Research*, 32, 2787-2799.
124. Chen Y., Han J. and Zhao X. (2012). Three-Dimensional path planning for UAV based on linear programming. *Robotica*, 30, 773-781.
125. Sun, C, Duan H. (2012). A restricted-direction target search approach based on coupled routing and optical sensor tasking optimization. *Optik*, 123, 2226-2229.
126. Pehlivanoglu, Y.V. (2012). A new vibrational genetic algorithm enhanced with a Voronoi Diagram for path planning of autonomous UAV. *Aerospace Science and Technology*, 16, 47-55.
127. Zheng W., Qiaoqiao L., Hongtao T. and Jianxun L. (2014). *Multiple task planning based on TS algorithm for multiple heterogeneous UAVS*. Paper presented at the Proceedings of 2014 the Institute of Electrical and Electronics Engineers Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, China.
128. Babel, L. (2014). Flight path planning for unmanned aerial vehicles with landmark-based visual navigation. *Robotics And Autonomous Systems*, 62, 142-150.
129. Guerriero, F., Surace, R., Loscrí, V. and Natalizio, E. (2014). A multi-objective approach for unmanned aerial vehicle routing problem with soft time windows constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 839–852.
130. Sarıçiçek, İ., Akkuş, Y. (2015). UAV hub-location and routing for monitoring geographic borders. *Applied Mathematical Modelling*, 39(14), 3939-3953.
131. Avellar, G.S.C., Pereira, G.A.S., Pimenta, L.C.A. and Iscold, P. (2015). Multi-UAV routing for aera coverage and remote sensing with minimum time. *Sensors*, 15(11), 27783-27803.
132. Tezcaner, D., Köksalan, M. (2009). *Multi objective route planning for unmanned air vehicles*, Paper presented at the Proceedings of the 20th International Conference on Multiple-Criteria Decision Analysis, China.
133. Arıca N., Cicibaş H. and Demir K.A. (2012). İnsansız hava araçları için çok kriterli güzergah planlama modeli. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 11(1), 251-270.
134. Charnes, A., Cooper, W.W. (1961). *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*. New York: Wiley, 1-59.
135. Jiiri, Y. (1965). *Management Goals and Accounting of Control*. Chicago: Rand McNally, 1-45.
136. Lee, S.M. (1972). *Goal Programming for Decision Analysis*. Philadelphia: Auerbach Publishers, 17-29.

137. Ignizio, J.P. (1976). *Goal Programming and Extensions*. Lanham, MD: Lexington Books, 71-79.
138. Gass, S.I. (1986). A process for determining priorities and weights for large-scale linear goal programmes. *Journal of the Operational Research Society*, 37, 779-785.
139. Romero, C. (1991). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. New York: Pergamon Press, 41-64.
140. Jones, D., Tamiz, M. (2010). *Practical Goal Programming*. New York: Springer, 1-37.
141. Schniederjans, M.J. (1985). *Goal Programming Methodology and Applications*. Boston: Kluwer Publishers, 24-39.
142. Özcan, E.C., Erol S. (2014). A multi-objective mixed integer linear programming model for energy resource allocation problem: the case of Turkey. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(4), 1157-1168.
143. Dean, B.V., Schniederjans, M.J. (1991). A multiple objective selection methodology for strategic industry selection analysis. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Engineering Management*, 38(1), 53-62.
144. Golany, B., Yadin, M. and Learner, D. (1991). A goal programming inventory control model applied at a large chemical plant, *Production and Inventory Management Journal*, 32(1), 16-23.
145. Mukherjee, K., Bera, A. (1995). Application of goal programming in project selection: a case study from Indian coal mining industry. *European Journal of Operational Research*, 82(1), 18-25.
146. Leung, S.C.H., Chan, S.S.W. (2009). A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers and Industrial Engineering*, 56(3), 1053-1064.
147. Sarma, G.V. (1995). Application of lexicographical goal programming to solve a product mix problem in a large steel manufacturing unit: a case study. *Opsearch*, 32, 55-78.
148. Ghiani, G., Grieco, A., Guerriero, E. and Musmanno, R. (2003). Allocating production batches to subcontractors by fuzzy goal programming. *International Transactions In Operational Research*, 10(3), 295-306.
149. Lee, J.W., Kim, S.H. (2000). Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. *Computers and Operations Research*, 27(4), 367-382.
150. Belmokaddem, M., Mekidiche, M. and Sahad, A. (2009). Application of a fuzzy goal programming approach with different importance and priorities to aggregate production planning. *Journal of Applied Quantitative Methods*, 4(3), 317-332.

151. Sharma, S., Balan, S. (2013). An integrative supplier selection model using Taguchi loss function, TOPSIS and multi criteria goal programming. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24, 1123-1130.
152. Karaman, B., Çerçioğlu, H. (2015). 0-1 Goal programming aided AHP–VIKOR integrated method: an application of hospital investment project selection. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(4), 567-576.
153. Bakırlı, B.B., Gencer, C. and Aydoğan, E.K. (2014). A combined approach for fuzzy multi-objective multiple knapsack problems for defence project selection. *Journal of Operation Research Society*, 65(7), 1001-1016.
154. Chen, L.H., Ko, W.C. and Yeh, F.T. (2017). Approach based on fuzzy goal programming and quality function deployment for new product planning. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 654-663.
155. Jadidi, O., Cavalieri, S. and Zolfaghari, S. (2015). An improved multi-choice goal programming approach for supplier selection problems. *Applied Mathematical Modelling*, 39(14), 4213-4222.
156. Cristobal, J.R.S. (2012). A Goal programming model for the optimal mix and location of renewable energy plants in the north of Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4461–4466.
157. De, P.K., Yadav, B. (2011). An algorithm to solve multi-objective assignment problem using interactive fuzzy goal programming approach. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, 6(34), 1651-1662.
158. Hwang C.L., Yoon K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making*. Berlin: Springer Verlag, 1-41.
159. Chen, S.J., Hwang, C.L. (1982). *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin: Springer Verlag, 1-54.
160. Triantaphyllou, E., Lin, C.L. (1996). Development and evaluation of five fuzzy multi-attribute decision making methods. *International Journal of Approximate Reasoning*, 14, 281-310.
161. Chen, C. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.
162. Delice, E.K. (2016). Havayolu firmalari seçimi için bulanik çok kriterli bir model. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 263-276.
163. Kılıç, O., Çerçioğlu, H. (2016). TCDD iltisak hatlari projelerinin değerlendirilmesinde uzlaşık çok ölçütlü karar verme yöntemleri uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 211-220.
164. İç, Y.T., Tekin, M., Pamukoğlu, F.Z. and Yıldırım, S.E. (2014). Kurumsal firmalar için bir finansal performans karşılaştırma modelinin geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 71-85.

165. Yurdakul, M., İç, Y.T. (2003). Türk otomotiv firmalarının performans ölçümü ve analizine yönelik TOPSIS yöntemini kullanan bir örnek çalışma. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1), 1-18.
166. Yong, D. (2006). Plant location selection based on fuzzy TOPSIS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 28, 839-844.
167. Chena, C.T., Lin, C.T. and Huangb, S.F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.
168. Kahraman, C., Çevik, S., Ates, N.Y. and Gülbay, M. (2007). Fuzzy multi-criteria evaluation of industrial robotic systems. *Computers and Industrial Engineering*, 52, 414-433.
169. Stimers, M., Lenagala, S. (2017). The Analytic Hierarchy Process in GIS driven military operation base selection: a case study in Sri Lanka. *Journal of Defense Management*, 7(1), 2-11.
170. Nadaban, S., Dzitac, S. and Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: a general view. *Information Technology and Quantitative Management*, 91, 823-831.
171. İnternet: NASA. Turkey Digital Elevation Model. NASA. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fphotojournal.jpl.nasa.gov%2Fjpeg%2FP1A03349.jpg&date=2018-05-06>, Son Erişim Tarihi: 07.05.2018.
172. Bruzese, V.M. (1989). *Terrain Analysis and Geographic Information Systems*, Msc. Thesis, Oregon State University, Corvallis, United Kingdom.
173. Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, 37,1187-1192.
174. Hussein, M., Schwartz, F.W. (1997). Application of terrain analysis and gis to the construction of hydrologic databases: a case study. *Environmental and Engineering Geoscience*, 3(4), 549-562.
175. Glade, D. (2000). *Unmanned Aerial Vehicles: Implications for Military Operations*. United States: Air University Press, 121-139.
176. Young-Hoon, K., Sanjay, R. and Steve, W. (2004). Exploring multiple viewshed analysis using terrain features and optimization techniques. *Computer and Geosciences*, 30, 1019-1032.



EKLER

EK-1. Koordinat ve yükselti verileri

Çizelge 1.1. Sınır bölgesinde gözlemlenmesi istenen nokta koordinatları

	x	y	z		x	y	z
N0	1482524,36147	4451346,46894	504	N25	1242979,63024	4401922,99225	596
N1	1102265,35033	4334806,40478	531	N26	1297736,04415	4417566,53399	520
N2	1124096,95415	4348810,09626	80	N27	1315428,25549	4420420,93866	582
N3	1124955,49109	4376218,16222	1040	N28	1309734,05157	4415039,24105	487
N4	1131636,70509	4363615,32011	109	N29	1325168,68479	4412155,10979	584
N5	1121036,44703	4420768,68350	791	N30	1330474,25238	4402242,73467	529
N6	1131058,27641	4399042,72933	1421	N31	1340185,67036	4413940,55583	453
N7	1134911,93374	4395732,34347	613	N32	1340831,42368	4396429,44365	430
N8	1175358,47335	4395842,36047	523	N33	1352399,07786	4406651,96849	370
N9	1159804,36910	4411756,38447	669	N34	1329880,82222	4419761,40046	566
N10	1195477,35489	4385486,38009	797	N35	1355234,41212	4397977,76136	355
N11	1215320,69766	4396388,72818	683	N36	1368701,15156	4393025,00786	370
N12	1192474,04639	4413769,87605	908	N37	1370121,51939	4403438,34746	394
N13	1206649,35546	4409018,76334	811	N38	1378674,75696	4412995,04581	585
N14	1234027,80385	4406930,68573	689	N39	1379774,96995	4397604,06526	492
N15	1232747,57245	4392963,82131	579	N40	1390274,32938	4403510,04686	481
N16	1243626,79368	4423868,31078	581	N41	1392778,33240	4396181,94351	442
N17	1254766,53681	4402339,41052	461	N42	1361378,05086	4412936,56790	374
N18	1273759,35876	4414056,42659	467	N43	1393340,16716	4412012,00152	526
N19	1274338,46383	4424051,90301	575	N44	1407378,68400	4409268,72085	484
N20	1259075,61946	4413982,50515	419	N45	1424479,92606	4419574,17190	469
N21	1242126,46508	4409127,90923	578	N46	1410059,55779	4396067,18933	427
N22	1292561,92280	4424458,43555	697	N47	1423171,62119	4408387,13421	453
N23	1283918,69721	4412476,36203	661	N48	1420423,03050	4397989,36306	438
N24	1282516,17605	4431387,81956	714	N49	1410107,89584	4417339,69907	496

EK-1. (devam) Koordinat ve yükselti verileri

Çizelge 1.1. (devam) Sınır bölgesinde gözlemlenmesi istenen nokta koordinatları

	x	y	z		x	y	z
N50	1434928,18117	4416410,18052	451	N75	1622366,64133	4489080,55607	1111
N51	1434061,33266	4405103,01967	408	N76	1589423,23114	4486115,75007	828
N52	1441785,46742	4409712,06033	406	N77	1665720,33157	4470128,36666	722
N53	1448993,73153	4419861,17106	412	N78	1649455,56118	4483930,43969	1052
N54	1454393,74216	4412620,13249	369	N79	1676044,38166	4483377,78887	1527
N55	1458712,40400	4424448,60650	439	N80	1693411,55048	4504319,24445	1847
N56	1447377,76274	4427745,21748	435	N81	1671600,22343	4499517,28670	1084
N57	1466341,82507	4417527,64042	391	N82	1712295,82105	4490547,62693	2773
N58	1462336,33067	4433069,44926	453	N83	1711894,82889	4507473,42402	2661
N59	1468726,35850	4424050,42675	428	N84	1716726,31937	4500412,21054	1187
N60	1472714,60512	4436879,96231	474	N85	1740232,97873	4502331,95487	1729
N61	1477223,54369	4429094,38250	420	N86	1741353,24255	4491023,77765	2498
N62	1470449,78455	4450886,26632	488	N87	1757341,56617	4495297,58733	2072
N63	1491766,59267	4452894,63491	522	N88	1766764,83216	4488649,51954	2754
N64	1509564,49837	4450132,67230	543	N89	1773034,55776	4482236,51426	2133
N65	1524979,31587	4450057,57783	722	N90	1777354,65804	4494956,34974	2827
N66	1521592,11197	4462280,36791	1009	N91	1781169,61226	4482627,33809	2326
N67	1536393,55549	4473442,61020	1016	N92	1790141,07060	4490282,18902	2458
N68	1544264,98814	4458854,08001	993	N93	1780741,07040	4490595,68059	2560
N69	1544960,43814	4447480,23906	590	N94	1750837,85175	4485767,02624	1549
N70	1554689,64180	4470690,62946	945	N95	1796693,62190	4494705,07030	1524
N71	1566930,80033	4456088,40719	908	N96	1806732,65701	4491012,99669	2673
N72	1577657,56711	4473748,89097	849	N97	1817231,32005	4495160,81929	2733
N73	1601194,81909	4458272,10806	762	N98	1831491,74722	4478413,88196	1875
N74	1602121,05230	4477848,43041	603	N99	1826516,85147	4466226,46238	1101

EK-1. (devam) Koordinat ve yükselti verileri

Çizelge 1.1. (devam) Sınır bölgesinde gözlemlenmesi istenen nokta koordinatları

	x	y	z		x	y	z
N100	1831409,77938	4471230,29791	1834	N104	1835941,32982	4488896,64168	1279
N101	1841995,83845	4469746,17944	2130	N105	1825110,95087	4457336,72263	1175
N102	1847980,33446	4485849,51555	1907	N106	1847245,80265	4497711,82090	2000
N103	1858698,73251	4490611,74992	2088	N107	1858540,37549	4482591,85438	1987

EK-2. Model 1'e ait GAMS kodu

Çizelge 2.1. Model 1'e ait GAMS kodu

Sets
i muhtemel yerleşim yerleri /N1*N107/ j muhtemel yerleşim yerleri /N1*N107/ s sensorler /1*4/ scalar cb balon kurulum maliyeti /10000/;
Parameter
v(i,s,j) i noktasına yerleştirilen balonun s sensörü ile j noktasını görme durumu \$include "F:\v.txt"
Parameter
c(s) s sensorunun entegrasyon maliyeti \$include "F:\c.txt"
variables z; binary variable x(i,s) i noktasına yerleştirilen balonun s sensörünü alma durumu;
Equations amac, k1(j), k2(i); amac..z=e=sum((i,s), x(i,s)*cb + x(i,s)*c(s)); k1(j)..sum((i,s),x(i,s)*v(i,s,j))=g=1; k2(i)..sum(s, x(i,s))=l=1;
model KGB_yersecimi_1/all/; solve KGB_yersecimi_1 using mip minimizing z; display amac.l;

EK-3. Alternatiflere İlişkin Değerlendirmeler

Çizelge 3.1. Uzmanların alternatiflere ilişkin dilsel değerlendirmeleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	CCn
N1	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	0,571
N2	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	0,552
N3	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	İ	İ	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	0,561
N4	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	0,567
N5	Bi	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	İ	Bi	İ	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	0,538
N6	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	0,548
N7	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	0,554
N8	Çl	İ	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	İ	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Çl	0,564
N9	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Çl	0,552
N10	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Çl	İ	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Çl	0,562
N11	Çl	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	0,542
N12	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	İ	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	0,528
N13	Çl	İ	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	0,550
N14	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Çl	0,571
N15	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	0,527
N16	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	0,533
N17	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	İ	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	0,550
N18	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	0,544
N19	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	İ	İ	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	0,538
N20	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	0,528
N21	Çl	İ	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Çl	İ	Bi	Çl	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	0,552
N22	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	İ	Çl	İ	Çl	Bi	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	0,554
N23	Çl	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	İ	Çl	İ	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	0,539
N24	Çl	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	İ	Bi	Çl	Çl	İ	Çl	İ	Çl	Çl	İ	Bi	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	0,559
N25	İ	İ	Bi	İ	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	0,532
N26	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	İ	Çl	İ	Çl	Bi	İ	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	0,558
N27	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	0,528
N28	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	0,528
N29	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	0,528
N30	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	İ	İ	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,561
N31	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	İ	İ	Çl	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Çl	Çl	0,553
N32	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	İ	Çl	Çl	Bi	İ	İ	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Çl	Çl	Çl	0,553
N33	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,560
N34	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	İ	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,559
N35	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	İ	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,562
N36	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,582
N37	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	İ	Çl	İ	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	0,560
N38	İ	İ	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	İ	İ	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	0,557
N39	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,568
N40	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,590
N41	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	Çl	İ	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,593
N42	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,580
N43	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	İ	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	0,569
N44	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,570
N45	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Çl	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,549
N46	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,568
N47	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Bi	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,571
N48	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,551
N49	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	İ	İ	Çl	Bi	Çl	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	0,590
N50	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	İ	Çl	Çl	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Çl	0,589
N51	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	İ	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,543
N52	Çl	İ	Çl	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Bi	Çl	İ	Bi	Çl	İ	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	Çl	Çl	Bi	0,565
N53	İ	İ	Çl	Çl	Çl	Bi	Bi	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	İ	Bi	İ	İ	Çl	Bi	Bi	Bi	Bi	Çl	Çl	Bi	0,555

EK-3. (devam) Alternatiflere İlişkin Değerlendirmeler

Çizelge 3.1. (devam) Uzmanların alternatiflere ilişkin dilsel değerlendirmeleri

	U1					U2					U3					U4					U5					
	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5	CCn
N54	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	İ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	0,594	
N55	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Bi	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	0,594	
N56	Çİ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	İ	Bi	Çİ	İ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	0,594	
N57	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	0,625	
N58	İ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Bi	İ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	0,585	
N59	İ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	İ	İ	Çİ	İ	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Bi	0,573	
N60	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	0,603	
N61	Çİ	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Bi	Çİ	İ	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	0,572	
N62	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	0,596	
N63	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ	İ	Bi	İ	Çİ	Bi	Çİ	İ	İ	0,572	
N64	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Bi	Çİ	Çİ	İ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	0,584	
N65	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Bi	Çİ	Çİ	İ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,582	
N66	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Bi	Çİ	Çİ	İ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,582	
N67	Bi	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Bi	İ	Bi	Bi	İ	İ	Bi	İ	Bi	Bi	Çİ	İ	Bi	0,540	
N68	İ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Bi	Çİ	İ	İ	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	İ	İ	0,537	
N69	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Bi	İ	İ	Bi	Çİ	İ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	İ	0,568	
N70	İ	Bi	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	İ	İ	Çİ	Bi	İ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	İ	0,559	
N71	Çİ	Bi	Bi	İ	Bi	Çİ	Çİ	İ	Bi	Bi	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	0,577	
N72	İ	Bi	Bi	İ	Çİ	Bi	Çİ	Bi	Bi	Bi	Bi	Çİ	İ	İ	Bi	İ	Çİ	Bi	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	İ	0,546	
N73	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	İ	Bi	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Çİ	İ	0,575	
N74	İ	Çİ	Bi	Bi	Çİ	Bi	Çİ	Bi	İ	Bi	Bi	Çİ	İ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	Bi	Çİ	0,577	
N75	Bi	Çİ	Bi	Bi	BK	Bi	Çİ	Bi	İ	BK	Çİ	Çİ	İ	Bi	K	İ	Çİ	Bi	İ	K	Bi	Çİ	Çİ	Bi	0,538	
N76	Bi	Bi	İ	Bi	BK	Bi	Çİ	Bi	İ	K	Çİ	Çİ	Bi	Bi	Bi	İ	Çİ	İ	İ	K	Bi	Çİ	İ	Bi	0,521	
N77	Çİ	Çİ	İ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Bi	İ	İ	Çİ	Çİ	İ	Bi	İ	Bi	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,577	
N78	İ	Çİ	İ	Bi	İ	Bi	Çİ	Bi	İ	K	Bi	Bi	İ	Bi	K	Bi	Çİ	İ	İ	BK	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,520	
N79	İ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Bi	Bi	K	Çİ	Bi	İ	K	K	Bi	Çİ	İ	Bi	BK	Çİ	Çİ	İ	İ	0,506	
N80	Çİ	Çİ	Bi	İ	İ	Çİ	Çİ	Bi	Bi	K	Çİ	Bi	İ	K	K	Çİ	Çİ	İ	Bi	K	Çİ	Çİ	İ	İ	0,522	
N81	Bi	Çİ	Bi	İ	K	Bi	Çİ	Bi	İ	Çİ	Bi	İ	İ	İ	İ	Çİ	İ	İ	K	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	0,524	
N82	Çİ	Çİ	Bi	Bi	İ	Çİ	Çİ	Bi	İ	BK	Çİ	Bi	İ	K	BK	Çİ	Çİ	İ	BK	BK	Çİ	Çİ	Bi	Bi	0,519	
N83	Bi	Çİ	Bi	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	BK	Çİ	Bi	Bi	K	K	İ	Çİ	İ	BK	BK	Bi	Çİ	Bi	Bi	0,504	
N84	İ	Çİ	Bi	Bi	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Bi	Bi	Bi	K	İ	Çİ	İ	İ	K	Bi	Çİ	Bi	Bi	0,536	
N85	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Bi	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Bi	Bi	Bi	K	Bi	Çİ	İ	İ	K	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,539	
N86	İ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	K	K	Çİ	Bi	Bi	K	K	Bi	Çİ	İ	BK	BK	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,506	
N87	Bi	Çİ	İ	İ	İ	Bi	Çİ	Bi	BK	K	Çİ	Bi	Bi	K	K	İ	Çİ	İ	İ	BK	Bi	Çİ	İ	Bi	0,495	
N88	İ	Çİ	İ	Bi	İ	Bi	Çİ	Bi	İ	K	Bi	Bi	Bi	İ	K	Bi	Çİ	İ	İ	K	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,522	
N89	İ	Çİ	Bi	Bi	Bi	Bi	Çİ	Bi	K	İ	Bi	Bi	İ	K	K	Bi	Çİ	İ	BK	K	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,488	
N90	Çİ	Çİ	Bi	Bi	BK	Bi	Çİ	Bi	K	BK	Çİ	Çİ	İ	K	K	Bi	Çİ	İ	BK	K	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,475	
N91	Çİ	Çİ	Bi	Bi	BK	Bi	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	Çİ	K	İ	Bi	Çİ	İ	BK	BK	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,516	
N92	Çİ	Çİ	Bi	Bi	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	İ	Çİ	Çİ	Çİ	K	Bi	Çİ	Çİ	İ	BK	Bi	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,565	
N93	Bi	Çİ	Bi	Bi	Bi	Çİ	Çİ	Bi	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	İ	İ	Bi	Çİ	Çİ	Bi	Bi	0,583	
N94	İ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	BK	Çİ	Çİ	Çİ	K	BK	Bi	Çİ	İ	K	BK	Çİ	Çİ	Bi	İ	0,531	
N95	Bi	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	BK	Çİ	Çİ	Bi	K	K	İ	Çİ	İ	BK	BK	Bi	Çİ	Bi	BK	0,510	
N96	İ	Çİ	İ	K	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	İ	Bi	Çİ	İ	BK	Bi	Bi	Çİ	İ	BK	Bi	Çİ	Çİ	Bi	K	0,508	
N97	Bi	Çİ	İ	K	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	İ	BK	K	İ	Çİ	İ	K	K	Bi	Çİ	Bi	İ	0,513	
N98	Bi	Çİ	İ	K	İ	Çİ	Çİ	Bi	İ	K	Çİ	Çİ	İ	K	K	İ	Çİ	İ	İ	BK	Bi	Çİ	Bi	İ	0,520	
N99	Çİ	Çİ	İ	İ	K	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	İ	K	BK	Çİ	Çİ	İ	BK	BK	Çİ	Çİ	Bi	BK	0,495	
N100	Çİ	Çİ	İ	İ	K	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	Bi	K	BK	Çİ	Çİ	İ	BK	K	Çİ	Çİ	Bi	K	0,525	
N101	Çİ	Çİ	İ	İ	K	Çİ	Çİ	Bi	BK	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	İ	İ	0,548	
N102	İ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	K	Bi	Çİ	Bi	İ	K	Bi	Çİ	İ	İ	BK	Çİ	Çİ	İ	İ	0,565	
N103	İ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	K	K	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Bi	Çİ	İ	BK	BK	Çİ	Çİ	İ	BK	0,523	
N104	İ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	K	BK	Bi	Çİ	Bi	K	K	Bi	Çİ	Çİ	BK	Bi	Çİ	Çİ	İ	K	0,529	
N105	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Çİ	K	İ	Çİ	Çİ	Bi	BK	İ	Çİ	Çİ	Çİ	İ	İ	Çİ	Çİ	İ	Bi	0,584	
N106	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	Bi	BK	K	Çİ	Çİ	Çİ	BK	BK	Çİ	Çİ	İ	K	0,537	
N107	Çİ	Çİ	İ	İ	İ	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	Bi	K	K	Çİ	Çİ	Çİ	BK	BK	Çİ	Çİ	İ	K	0,534	

EK-4. Bulanık karar matrisi

Çizelge 4.1. Tek bir değere indirgenmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N1	8	10	10	5	8,6	10	5	7,5	10	5	7,8	10	5	8,6	10
N2	5	9,3	10	5	8,6	10	5	7,5	10	5	7,1	9	5	9,3	10
N3	8	10	10	5	8,6	10	5	7,5	10	5	7,4	9	5	7,9	10
N4	8	10	10	5	8,6	10	5	7,9	10	5	7,4	9	5	8,6	10
N5	5	7,5	10	5	8,6	10	5	7,9	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N6	5	8,2	10	5	8,6	10	5	7,9	10	5	7,4	9	5	8,6	10
N7	5	9,3	10	5	8,6	10	5	7,9	10	5	7,1	9	5	9,3	10
N8	8	10	10	5	7,8	10	5	8,2	10	5	7,4	9	5	8,6	10
N9	5	7,1	9	5	7,8	10	5	8,2	10	5	7,4	9	8	10	10
N10	8	10	10	5	7,5	10	5	8,2	10	5	7,4	9	5	8,6	10
N11	5	7,9	10	5	7,8	10	5	7,9	10	5	7,8	10	5	7,2	10
N12	5	7,1	9	5	7,5	10	5	8,6	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N13	8	10	10	5	7,1	9	5	8,6	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N14	8	10	10	5	7,1	9	5	7,9	10	5	7,4	9	8	10	10
N15	5	7,5	10	5	7,1	9	5	7,9	10	5	7,4	9	5	7,9	10
N16	5	7,5	10	5	7,1	9	5	8,2	10	5	7,8	10	5	7,2	10
N17	5	8,6	10	5	7,1	9	5	8,9	10	5	7,8	10	5	9,3	10
N18	5	7,5	10	5	7,1	9	5	8,9	10	5	7,5	10	5	9,3	10
N19	5	7,8	10	5	7,4	9	5	8,6	10	5	7,8	10	5	7,2	10
N20	5	7,5	10	5	7,4	9	5	8,6	10	5	7,1	9	5	7,2	10
N21	8	10	10	5	7,4	9	5	8,6	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N22	5	7,5	10	5	7,4	9	5	8,6	10	5	7,4	9	8	10	10
N23	5	8,6	10	5	7,4	9	5	8,2	10	5	7,4	9	5	8,6	10
N24	8	10	10	5	7,4	9	5	8,2	10	5	7,4	9	5	9,3	10
N25	5	7,5	10	5	7,4	9	5	8,2	10	5	7,1	9	5	8,6	10
N26	5	8,6	10	5	7,4	9	5	8,6	10	5	7,1	9	8	10	10
N27	5	7,8	10	5	7,1	9	5	8,6	10	5	7,1	9	5	7,2	10
N28	5	7,5	10	5	7,1	9	5	8,6	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N29	5	7,5	10	5	7,1	9	5	8,6	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N30	8	10	10	5	7,1	9	5	8,2	10	5	7,8	10	5	8,6	10
N31	5	8,2	10	5	7,5	10	5	8,2	10	5	7,8	10	5	9,3	10
N32	5	8,6	10	5	7,2	10	5	8,2	10	5	7,8	10	5	9,3	10
N33	8	10	10	5	6,8	9	5	8,6	10	5	7,5	10	5	8,6	10
N34	5	7,8	10	5	7,1	9	5	8,6	10	5	7,5	10	8	10	10
N35	5	8,2	10	5	7,1	9	8	10	10	5	7,5	10	5	7,2	10

EK-4. (devam) Bulanık karar matrisi

Çizelge 4.1. (devam) Tek bir değere indirgenmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N36	8	10	10	5	7,1	9	8	10	10	5	7,5	10	5	7,2	10
N37	5	8,2	10	5	7,1	9	8	10	10	5	7,4	9	5	7,9	10
N38	5	7,1	9	5	7,1	9	8	10	10	5	7,7	9	5	9,3	10
N39	5	7,5	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,2	10	5	8,6	10
N40	5	8,2	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,2	10	8	10	10
N41	8	10	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,6	10	5	8,6	10
N42	5	8,9	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,6	10	5	9,3	10
N43	5	7,8	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,6	10	5	7,9	10
N44	5	7,5	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,6	10	5	8,6	10
N45	5	8,2	10	5	7,1	9	5	9,3	10	5	8,2	10	5	8,6	10
N46	8	10	10	5	7,1	9	5	9,3	10	5	8,2	10	5	8,6	10
N47	8	10	10	5	7,1	9	5	9,3	10	5	8,2	10	5	9,3	10
N48	5	7,5	10	5	7,1	9	5	9,3	10	5	8,6	10	5	9,3	10
N49	5	7,8	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,6	10	8	10	10
N50	8	10	10	5	7,1	9	5	9,3	10	8	10	10	5	8,6	10
N51	5	7,5	10	5	7,1	9	5	9,3	10	5	8,2	10	5	7,9	10
N52	8	10	10	5	7,1	9	5	9,3	10	5	8,2	10	5	7,9	10
N53	5	7,1	9	5	7,1	9	8	10	10	5	8,2	10	5	7,2	10
N54	5	8,6	10	5	7,1	9	8	10	10	8	10	10	5	8,6	10
N55	8	10	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,2	10	5	9,3	10
N56	8	10	10	5	7,1	9	8	10	10	5	8,2	10	5	9,3	10
N57	8	10	10	5	8,9	10	8	10	10	5	8,2	10	8	10	10
N58	5	7,5	10	5	8,9	10	8	10	10	5	8,6	10	5	8,6	10
N59	5	7,1	9	5	8,9	10	8	10	10	5	8,2	10	5	7,9	10
N60	8	10	10	5	8,9	10	8	10	10	5	8,2	10	5	7,9	10
N61	8	10	10	5	8,9	10	5	7,9	10	5	8,6	10	5	7,2	10
N62	5	8,2	10	5	8,9	10	5	7,9	10	8	10	10	8	10	10
N63	5	8,9	10	5	8,9	10	5	7,1	9	5	7,7	9	8	10	10
N64	8	10	10	5	8,2	10	5	7,1	9	5	7,4	9	8	10	10
N65	8	10	10	5	8,2	10	5	7,1	9	5	7,1	9	8	10	10
N66	8	10	10	5	8,2	10	5	7,1	9	5	7,1	9	8	10	10
N67	5	8,2	10	5	8,2	10	5	7,4	9	5	7,1	9	5	7,2	10
N68	5	7,5	10	5	8,2	10	5	7,4	9	5	7,1	9	5	7,2	10
N69	8	10	10	5	8,2	10	5	7,8	10	5	7,4	9	5	7,2	10
N70	5	8,9	10	5	8,2	10	5	7,8	10	5	7,4	9	5	8,6	10

EK-4. (devam) Bulanık karar matrisi

Çizelge 4.1. (devam) Tek bir değere indirgenmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N71	8	10	10	5	9,3	10	5	7,8	10	5	7,4	9	5	7,9	10
N72	5	7,1	9	5	9,3	10	5	7,5	10	5	7,4	9	5	7,9	10
N73	8	10	10	5	9,3	10	5	7,5	10	5	7,4	9	5	7,9	10
N74	5	7,5	10	8	10	10	5	7,5	10	5	7,1	9	5	8,6	10
N75	5	7,5	10	8	10	10	5	7,5	10	5	7,1	9	1	3,5	8
N76	5	7,5	10	5	9,3	10	5	7,4	9	5	7,1	9	1	4,4	9
N77	5	8,6	10	8	10	10	5	7,7	9	5	7,1	9	5	7,1	9
N78	5	7,5	10	5	9,3	10	5	7,7	9	5	7,1	9	1	3,8	9
N79	5	8,9	10	5	9,3	10	5	7,7	9	1	6,2	9	1	3,5	9
N80	8	10	10	5	9,3	10	5	7,4	9	1	6,2	9	1	4,4	9
N81	5	7,5	10	5	9,3	10	5	7,1	9	5	7,4	9	1	5,3	9
N82	8	10	10	5	9,3	10	5	7,1	9	1	5,3	9	2	4,4	9
N83	5	8,2	10	5	9,3	10	5	7,5	10	1	5,3	9	1	3,8	9
N84	5	8,5	10	5	9,3	10	5	7,5	10	5	7,1	9	1	5,6	9
N85	5	8,6	10	5	9,3	10	5	8,1	10	5	7,4	9	1	5	9
N86	5	8,9	10	5	9,3	10	5	8,1	10	1	4,4	9	1	3,8	9
N87	5	7,5	10	5	9,3	10	5	7,4	9	1	5,6	9	1	3,5	9
N88	5	7,5	10	5	9,3	10	5	7,4	9	5	7,4	9	1	4,4	9
N89	5	7,5	10	5	9,3	10	5	7,4	9	1	4,1	8	1	5	9
N90	5	8,6	10	8	10	10	5	7,4	9	1	4,1	8	1	2,9	5
N91	5	8,6	10	8	10	10	5	7,8	10	1	4,1	8	1	3,8	9
N92	8	10	10	8	10	10	5	7,8	10	1	4,1	8	5	7,4	9
N93	5	8,6	10	8	10	10	5	7,5	10	5	7,4	9	5	7,1	9
N94	5	8,9	10	8	10	10	5	7,8	10	1	4,4	9	2	4,4	9
N95	5	8,2	10	8	10	10	5	7,1	9	1	3,8	9	1	3,8	9
N96	5	8,2	10	8	10	10	5	7,4	9	1	2,6	5	5	7,4	9
N97	5	8,2	10	8	10	10	5	7,4	9	1	3,5	9	1	4,4	9
N98	5	8,2	10	8	10	10	5	7,4	9	1	5,6	9	1	3,8	9
N99	8	10	10	8	10	10	5	7,4	9	1	3,8	9	1	2,6	5
N100	8	10	10	8	10	10	5	7,1	9	1	3,5	9	1	3,5	9
N101	8	10	10	8	10	10	5	7,4	9	1	5,9	9	1	5,6	9
N102	5	8,2	10	8	10	10	5	8,1	10	7	8	9	1	3,8	9
N103	5	8,9	10	8	10	10	5	8,1	10	1	3,8	9	1	3,5	9
N104	5	8,2	10	8	10	10	5	8,5	10	1	3,5	9	1	5,6	9
N105	8	10	10	8	10	10	5	8,5	10	1	5,9	9	5	7,7	9
N106	8	10	10	8	10	10	5	7,8	10	1	3,8	9	1	3,8	9
N107	8	10	10	8	10	10	5	7,8	10	1	3,5	9	1	3,5	9

EK-5. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Çizelge 5.1. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N1	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,75	1	0,5	0,78	1	0,5	0,86	1
N2	0,5	0,93	1	0,5	0,86	1	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1
N3	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,75	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,79	1
N4	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,79	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1
N5	0,5	0,75	1	0,5	0,86	1	0,5	0,79	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,72	1
N6	0,5	0,82	1	0,5	0,86	1	0,5	0,79	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1
N7	0,5	0,93	1	0,5	0,86	1	0,5	0,79	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1
N8	0,8	1	1	0,5	0,78	1	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1
N9	0,5	0,71	0,9	0,5	0,78	1	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,8	1	1
N10	0,8	1	1	0,5	0,75	1	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1
N11	0,5	0,79	1	0,5	0,78	1	0,5	0,79	1	0,5	0,78	1	0,5	0,72	1
N12	0,5	0,71	0,9	0,5	0,75	1	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,72	1
N13	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,72	1
N14	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,79	1	0,5	0,74	0,9	0,8	1	1
N15	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,79	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,79	1
N16	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,82	1	0,5	0,78	1	0,5	0,72	1
N17	0,5	0,86	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,89	1	0,5	0,78	1	0,5	0,93	1
N18	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,89	1	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1
N19	0,5	0,78	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,78	1	0,5	0,72	1
N20	0,5	0,75	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,72	1
N21	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,72	1
N22	0,5	0,75	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,8	1	1
N23	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1
N24	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,93	1
N25	0,5	0,75	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,86	1
N26	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1
N27	0,5	0,78	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,72	1
N28	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,72	1
N29	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,72	1
N30	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,82	1	0,5	0,78	1	0,5	0,86	1
N31	0,5	0,82	1	0,5	0,75	1	0,5	0,82	1	0,5	0,78	1	0,5	0,93	1
N32	0,5	0,86	1	0,5	0,72	1	0,5	0,82	1	0,5	0,78	1	0,5	0,93	1
N33	0,8	1	1	0,5	0,68	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,75	1	0,5	0,86	1
N34	0,5	0,78	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,86	1	0,5	0,75	1	0,8	1	1
N35	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,75	1	0,5	0,72	1

EK-5. (devam) Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Çizelge 5.1. (devam) Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N36	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,75	1	0,5	0,72	1
N37	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,5	0,79	1
N38	0,5	0,71	0,9	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,77	0,9	0,5	0,93	1
N39	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,86	1
N40	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,8	1	1
N41	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,86	1
N42	0,5	0,89	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,93	1
N43	0,5	0,78	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,79	1
N44	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,86	1
N45	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,82	1	0,5	0,86	1
N46	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,82	1	0,5	0,86	1
N47	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,82	1	0,5	0,93	1
N48	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,86	1	0,5	0,93	1
N49	0,5	0,78	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,8	1	1
N50	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,8	1	1	0,5	0,86	1
N51	0,5	0,75	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,82	1	0,5	0,79	1
N52	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,82	1	0,5	0,79	1
N53	0,5	0,71	0,9	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,72	1
N54	0,5	0,86	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,86	1
N55	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,93	1
N56	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,93	1
N57	0,8	1	1	0,5	0,89	1	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,8	1	1
N58	0,5	0,75	1	0,5	0,89	1	0,8	1	1	0,5	0,86	1	0,5	0,86	1
N59	0,5	0,71	0,9	0,5	0,89	1	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,79	1
N60	0,8	1	1	0,5	0,89	1	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,79	1
N61	0,8	1	1	0,5	0,89	1	0,5	0,79	1	0,5	0,86	1	0,5	0,72	1
N62	0,5	0,82	1	0,5	0,89	1	0,5	0,79	1	0,8	1	1	0,8	1	1
N63	0,5	0,89	1	0,5	0,89	1	0,5	0,71	0,9	0,6	0,86	1	0,8	1	1
N64	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,6	0,82	1	0,8	1	1
N65	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,6	0,79	1	0,8	1	1
N66	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,71	0,9	0,6	0,79	1	0,8	1	1
N67	0,5	0,82	1	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,6	0,79	1	0,5	0,72	1
N68	0,5	0,75	1	0,5	0,82	1	0,5	0,74	0,9	0,6	0,79	1	0,5	0,72	1
N69	0,8	1	1	0,5	0,82	1	0,5	0,78	1	0,6	0,82	1	0,5	0,72	1
N70	0,5	0,89	1	0,5	0,82	1	0,5	0,78	1	0,6	0,82	1	0,5	0,86	1

EK-5. (devam) Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Çizelge 5.1. (devam) Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N71	0,8	1	1	0,5	0,93	1	0,5	0,78	1	0,6	0,82	1	0,5	0,79	1
N72	0,5	0,71	0,9	0,5	0,93	1	0,5	0,75	1	0,6	0,82	1	0,5	0,79	1
N73	0,8	1	1	0,5	0,93	1	0,5	0,75	1	0,6	0,82	1	0,5	0,79	1
N74	0,5	0,75	1	0,8	1	1	0,5	0,75	1	0,6	0,79	1	0,5	0,86	1
N75	0,5	0,75	1	0,8	1	1	0,5	0,75	1	0,6	0,79	1	0,11	0,389	0,9
N76	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1	0,5	0,74	0,9	0,6	0,79	1	0,11	0,489	1
N77	0,5	0,86	1	0,8	1	1	0,5	0,77	0,9	0,6	0,79	1	0,56	0,789	1
N78	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1	0,5	0,77	0,9	0,6	0,79	1	0,11	0,422	1
N79	0,5	0,89	1	0,5	0,93	1	0,5	0,77	0,9	0,1	0,69	1	0,11	0,389	1
N80	0,8	1	1	0,5	0,93	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,69	1	0,11	0,489	1
N81	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1	0,5	0,71	0,9	0,6	0,82	1	0,11	0,589	1
N82	0,8	1	1	0,5	0,93	1	0,5	0,71	0,9	0,1	0,59	1	0,22	0,489	1
N83	0,5	0,82	1	0,5	0,93	1	0,5	0,75	1	0,1	0,59	1	0,11	0,422	1
N84	0,5	0,85	1	0,5	0,93	1	0,5	0,75	1	0,6	0,79	1	0,11	0,622	1
N85	0,5	0,86	1	0,5	0,93	1	0,5	0,81	1	0,6	0,82	1	0,11	0,556	1
N86	0,5	0,89	1	0,5	0,93	1	0,5	0,81	1	0,1	0,49	1	0,11	0,422	1
N87	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,62	1	0,11	0,389	1
N88	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1	0,5	0,74	0,9	0,6	0,82	1	0,11	0,489	1
N89	0,5	0,75	1	0,5	0,93	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,46	0,89	0,11	0,556	1
N90	0,5	0,86	1	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,46	0,89	0,11	0,322	0,6
N91	0,5	0,86	1	0,8	1	1	0,5	0,78	1	0,1	0,46	0,89	0,11	0,422	1
N92	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,78	1	0,1	0,46	0,89	0,56	0,822	1
N93	0,5	0,86	1	0,8	1	1	0,5	0,75	1	0,6	0,82	1	0,56	0,789	1
N94	0,5	0,89	1	0,8	1	1	0,5	0,78	1	0,1	0,49	1	0,22	0,489	1
N95	0,5	0,82	1	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,1	0,42	1	0,11	0,422	1
N96	0,5	0,82	1	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,29	0,56	0,56	0,822	1
N97	0,5	0,82	1	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,39	1	0,11	0,489	1
N98	0,5	0,82	1	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,62	1	0,11	0,422	1
N99	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,42	1	0,11	0,289	0,6
N100	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,71	0,9	0,1	0,39	1	0,11	0,389	1
N101	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,74	0,9	0,1	0,66	1	0,11	0,622	1
N102	0,5	0,82	1	0,8	1	1	0,5	0,81	1	0,8	0,89	1	0,11	0,422	1
N103	0,5	0,89	1	0,8	1	1	0,5	0,81	1	0,1	0,42	1	0,11	0,389	1
N104	0,5	0,82	1	0,8	1	1	0,5	0,85	1	0,1	0,39	1	0,11	0,622	1
N105	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,85	1	0,1	0,66	1	0,56	0,856	1
N106	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,78	1	0,1	0,42	1	0,11	0,422	1
N107	0,8	1	1	0,8	1	1	0,5	0,78	1	0,1	0,39	1	0,11	0,389	1

EK-6. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Çizelge 6.1. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N1	0,4	0,79	1	0,4	0,86	1	0,4	0,75	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,61	0,9
N2	0,25	0,73	1	0,4	0,86	1	0,4	0,75	1	0,25	0,55	0,81	0,25	0,66	0,9
N3	0,4	0,79	1	0,4	0,86	1	0,4	0,75	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,56	0,9
N4	0,4	0,79	1	0,4	0,86	1	0,4	0,79	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,61	0,9
N5	0,25	0,59	1	0,4	0,86	1	0,4	0,79	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,51	0,9
N6	0,25	0,65	1	0,4	0,86	1	0,4	0,79	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,61	0,9
N7	0,25	0,73	1	0,4	0,86	1	0,4	0,79	1	0,25	0,55	0,81	0,25	0,66	0,9
N8	0,4	0,79	1	0,4	0,78	1	0,4	0,82	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,61	0,9
N9	0,25	0,56	0,9	0,4	0,78	1	0,4	0,82	1	0,25	0,57	0,81	0,4	0,71	0,9
N10	0,4	0,79	1	0,4	0,75	1	0,4	0,82	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,61	0,9
N11	0,25	0,62	1	0,4	0,78	1	0,4	0,79	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,51	0,9
N12	0,25	0,56	0,9	0,4	0,75	1	0,4	0,86	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,51	0,9
N13	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,51	0,9
N14	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,79	1	0,25	0,57	0,81	0,4	0,71	0,9
N15	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,79	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,56	0,9
N16	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,82	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,51	0,9
N17	0,25	0,68	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,89	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,66	0,9
N18	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,89	1	0,25	0,58	0,9	0,25	0,66	0,9
N19	0,25	0,62	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,51	0,9
N20	0,25	0,59	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,55	0,81	0,25	0,51	0,9
N21	0,4	0,79	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,51	0,9
N22	0,25	0,59	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,57	0,81	0,4	0,71	0,9
N23	0,25	0,68	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,82	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,61	0,9
N24	0,4	0,79	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,82	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,66	0,9
N25	0,25	0,59	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,82	1	0,25	0,55	0,81	0,25	0,61	0,9
N26	0,25	0,68	1	0,4	0,74	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,55	0,81	0,4	0,71	0,9
N27	0,25	0,62	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,55	0,81	0,25	0,51	0,9
N28	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,51	0,9
N29	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,51	0,9
N30	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,82	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,61	0,9
N31	0,25	0,65	1	0,4	0,75	1	0,4	0,82	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,66	0,9
N32	0,25	0,68	1	0,4	0,72	1	0,4	0,82	1	0,25	0,6	0,9	0,25	0,66	0,9
N33	0,4	0,79	1	0,4	0,68	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,58	0,9	0,25	0,61	0,9
N34	0,25	0,62	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,86	1	0,25	0,58	0,9	0,4	0,71	0,9
N35	0,25	0,65	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,58	0,9	0,25	0,51	0,9

EK-6. (devam) Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Çizelge 6.1. (devam) Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N36	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,58	0,9	0,25	0,51	0,9
N37	0,25	0,65	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,57	0,81	0,25	0,56	0,9
N38	0,25	0,56	0,9	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,59	0,81	0,25	0,66	0,9
N39	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,61	0,9
N40	0,25	0,65	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,4	0,71	0,9
N41	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,61	0,9
N42	0,25	0,7	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,66	0,9
N43	0,25	0,62	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,56	0,9
N44	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,61	0,9
N45	0,25	0,65	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,61	0,9
N46	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,61	0,9
N47	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,66	0,9
N48	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,66	0,9
N49	0,25	0,62	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,66	0,9	0,4	0,71	0,9
N50	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,4	0,77	0,9	0,25	0,61	0,9
N51	0,25	0,59	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N52	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,4	0,93	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N53	0,25	0,56	0,9	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,51	0,9
N54	0,25	0,68	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,4	0,77	0,9	0,25	0,61	0,9
N55	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,66	0,9
N56	0,4	0,79	1	0,4	0,71	0,9	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,66	0,9
N57	0,4	0,79	1	0,4	0,89	1	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,4	0,71	0,9
N58	0,25	0,59	1	0,4	0,89	1	0,64	1	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,61	0,9
N59	0,25	0,56	0,9	0,4	0,89	1	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N60	0,4	0,79	1	0,4	0,89	1	0,64	1	1	0,25	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N61	0,4	0,79	1	0,4	0,89	1	0,4	0,79	1	0,25	0,66	0,9	0,25	0,51	0,9
N62	0,25	0,65	1	0,4	0,89	1	0,4	0,79	1	0,4	0,77	0,9	0,4	0,71	0,9
N63	0,25	0,7	1	0,4	0,89	1	0,4	0,71	0,9	0,28	0,66	0,9	0,4	0,71	0,9
N64	0,4	0,79	1	0,4	0,82	1	0,4	0,71	0,9	0,28	0,63	0,9	0,4	0,71	0,9
N65	0,4	0,79	1	0,4	0,82	1	0,4	0,71	0,9	0,28	0,61	0,9	0,4	0,71	0,9
N66	0,4	0,79	1	0,4	0,82	1	0,4	0,71	0,9	0,28	0,61	0,9	0,4	0,71	0,9
N67	0,25	0,65	1	0,4	0,82	1	0,4	0,74	0,9	0,28	0,61	0,9	0,25	0,51	0,9
N68	0,25	0,59	1	0,4	0,82	1	0,4	0,74	0,9	0,28	0,61	0,9	0,25	0,51	0,9
N69	0,4	0,79	1	0,4	0,82	1	0,4	0,78	1	0,28	0,63	0,9	0,25	0,51	0,9
N70	0,25	0,7	1	0,4	0,82	1	0,4	0,78	1	0,28	0,63	0,9	0,25	0,61	0,9

EK-6. (devam) Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Çizelge 6.1. (devam) Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

	K1			K2			K3			K4			K5		
N71	0,4	0,79	1	0,4	0,93	1	0,4	0,78	1	0,28	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N72	0,25	0,56	0,9	0,4	0,93	1	0,4	0,75	1	0,28	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N73	0,4	0,79	1	0,4	0,93	1	0,4	0,75	1	0,28	0,63	0,9	0,25	0,56	0,9
N74	0,25	0,59	1	0,64	1	1	0,4	0,75	1	0,28	0,61	0,9	0,25	0,61	0,9
N75	0,25	0,59	1	0,64	1	1	0,4	0,75	1	0,28	0,61	0,9	0,06	0,28	0,8
N76	0,25	0,59	1	0,4	0,93	1	0,4	0,74	0,9	0,28	0,61	0,9	0,06	0,35	0,9
N77	0,25	0,68	1	0,64	1	1	0,4	0,77	0,9	0,28	0,61	0,9	0,28	0,56	0,9
N78	0,25	0,59	1	0,4	0,93	1	0,4	0,77	0,9	0,28	0,61	0,9	0,06	0,3	0,9
N79	0,25	0,7	1	0,4	0,93	1	0,4	0,77	0,9	0,06	0,53	0,9	0,06	0,28	0,9
N80	0,4	0,79	1	0,4	0,93	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,53	0,9	0,06	0,35	0,9
N81	0,25	0,59	1	0,4	0,93	1	0,4	0,71	0,9	0,28	0,63	0,9	0,06	0,42	0,9
N82	0,4	0,79	1	0,4	0,93	1	0,4	0,71	0,9	0,06	0,45	0,9	0,11	0,35	0,9
N83	0,25	0,65	1	0,4	0,93	1	0,4	0,75	1	0,06	0,45	0,9	0,06	0,3	0,9
N84	0,25	0,67	1	0,4	0,93	1	0,4	0,75	1	0,28	0,61	0,9	0,06	0,44	0,9
N85	0,25	0,68	1	0,4	0,93	1	0,4	0,81	1	0,28	0,63	0,9	0,06	0,39	0,9
N86	0,25	0,7	1	0,4	0,93	1	0,4	0,81	1	0,06	0,38	0,9	0,06	0,3	0,9
N87	0,25	0,59	1	0,4	0,93	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,48	0,9	0,06	0,28	0,9
N88	0,25	0,59	1	0,4	0,93	1	0,4	0,74	0,9	0,28	0,63	0,9	0,06	0,35	0,9
N89	0,25	0,59	1	0,4	0,93	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,35	0,8	0,06	0,39	0,9
N90	0,25	0,68	1	0,64	1	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,35	0,8	0,06	0,23	0,5
N91	0,25	0,68	1	0,64	1	1	0,4	0,78	1	0,06	0,35	0,8	0,06	0,3	0,9
N92	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,78	1	0,06	0,35	0,8	0,28	0,58	0,9
N93	0,25	0,68	1	0,64	1	1	0,4	0,75	1	0,28	0,63	0,9	0,28	0,56	0,9
N94	0,25	0,7	1	0,64	1	1	0,4	0,78	1	0,06	0,38	0,9	0,11	0,35	0,9
N95	0,25	0,65	1	0,64	1	1	0,4	0,71	0,9	0,06	0,33	0,9	0,06	0,3	0,9
N96	0,25	0,65	1	0,64	1	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,22	0,5	0,28	0,58	0,9
N97	0,25	0,65	1	0,64	1	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,3	0,9	0,06	0,35	0,9
N98	0,25	0,65	1	0,64	1	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,48	0,9	0,06	0,3	0,9
N99	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,33	0,9	0,06	0,21	0,5
N100	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,71	0,9	0,06	0,3	0,9	0,06	0,28	0,9
N101	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,74	0,9	0,06	0,5	0,9	0,06	0,44	0,9
N102	0,25	0,65	1	0,64	1	1	0,4	0,81	1	0,39	0,68	0,9	0,06	0,3	0,9
N103	0,25	0,7	1	0,64	1	1	0,4	0,81	1	0,06	0,33	0,9	0,06	0,28	0,9
N104	0,25	0,65	1	0,64	1	1	0,4	0,85	1	0,06	0,3	0,9	0,06	0,44	0,9
N105	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,85	1	0,06	0,5	0,9	0,28	0,61	0,9
N106	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,78	1	0,06	0,33	0,9	0,06	0,3	0,9
N107	0,4	0,79	1	0,64	1	1	0,4	0,78	1	0,06	0,3	0,9	0,06	0,28	0,9

EK-7. Pozitif ve negatif yakınlık katsayıları

Çizelge 7.1. İdeal çözüme pozitif ve negatif yakınlık katsayıları

	di ⁺	di ⁻	Ci		di ⁺	di ⁻	Ci		di ⁺	di ⁻	Ci
N1	1,92	2,56	0,571	N37	1,92	2,45	0,56	N73	1,91	2,58	0,575
N2	2,02	2,49	0,552	N38	1,92	2,41	0,557	N74	1,88	2,57	0,577
N3	1,95	2,49	0,561	N39	1,91	2,51	0,568	N75	2,08	2,42	0,538
N4	1,92	2,52	0,567	N40	1,79	2,58	0,59	N76	2,2	2,39	0,521
N5	2,08	2,42	0,538	N41	1,77	2,59	0,593	N77	1,86	2,54	0,577
N6	2,04	2,46	0,548	N42	1,86	2,57	0,58	N78	2,21	2,39	0,52
N7	2,01	2,5	0,554	N43	1,91	2,51	0,569	N79	2,33	2,38	0,506
N8	1,93	2,5	0,564	N44	1,9	2,52	0,57	N80	2,21	2,42	0,522
N9	1,97	2,43	0,552	N45	2,03	2,48	0,549	N81	2,18	2,41	0,524
N10	1,94	2,49	0,562	N46	1,92	2,53	0,568	N82	2,21	2,39	0,519
N11	2,07	2,46	0,542	N47	1,91	2,55	0,571	N83	2,35	2,39	0,504
N12	2,1	2,35	0,528	N48	2,03	2,49	0,551	N84	2,15	2,49	0,536
N13	1,97	2,41	0,55	N49	1,79	2,58	0,59	N85	2,14	2,5	0,539
N14	1,86	2,47	0,571	N50	1,81	2,6	0,589	N86	2,35	2,41	0,506
N15	2,1	2,34	0,527	N51	2,06	2,45	0,543	N87	2,37	2,33	0,495
N16	2,09	2,39	0,533	N52	1,93	2,51	0,565	N88	2,2	2,4	0,522
N17	2,03	2,48	0,55	N53	1,95	2,42	0,555	N89	2,38	2,27	0,488
N18	2,05	2,45	0,544	N54	1,78	2,6	0,594	N90	2,31	2,09	0,475
N19	2,07	2,42	0,538	N55	1,77	2,59	0,594	N91	2,23	2,38	0,516
N20	2,1	2,35	0,528	N56	1,77	2,59	0,594	N92	1,93	2,5	0,565
N21	1,97	2,42	0,552	N57	1,64	2,74	0,625	N93	1,85	2,59	0,583
N22	1,96	2,44	0,554	N58	1,86	2,63	0,585	N94	2,17	2,46	0,531
N23	2,05	2,4	0,539	N59	1,89	2,54	0,573	N95	2,26	2,35	0,51
N24	1,93	2,45	0,559	N60	1,76	2,67	0,603	N96	2,14	2,2	0,508
N25	2,08	2,37	0,532	N61	1,92	2,57	0,572	N97	2,25	2,37	0,513
N26	1,95	2,46	0,558	N62	1,8	2,66	0,596	N98	2,21	2,39	0,52
N27	2,1	2,35	0,528	N63	1,9	2,55	0,572	N99	2,22	2,17	0,495
N28	2,1	2,35	0,528	N64	1,82	2,55	0,584	N100	2,17	2,39	0,525
N29	2,1	2,35	0,528	N65	1,82	2,54	0,582	N101	2,05	2,48	0,548
N30	1,94	2,48	0,561	N66	1,82	2,54	0,582	N102	1,97	2,56	0,565
N31	2,03	2,51	0,553	N67	2,06	2,42	0,54	N103	2,23	2,44	0,523
N32	2,03	2,51	0,553	N68	2,07	2,4	0,537	N104	2,2	2,47	0,529
N33	1,95	2,48	0,56	N69	1,93	2,54	0,568	N105	1,87	2,62	0,584
N34	1,96	2,48	0,559	N70	2	2,53	0,559	N106	2,13	2,47	0,537
N35	1,93	2,48	0,562	N71	1,9	2,59	0,577	N107	2,15	2,46	0,534
N36	1,82	2,53	0,582	N72	2,04	2,45	0,546				

EK-8. Model 2'ye ait GAMS kodu

Çizelge 8.1. Model 2'ye ait GAMS kodu

Sets
i muhtemel yerleşim yerleri /N1*N107/ s sensorler /1*4/ Alias (i,j);
Parameter
v(i,s,j) i noktasına yerleştirilen balonun s sensörü ile j noktasını görme durumu \$include "F:\v.txt"
Parameter
p(i) i noktalarının uygunluk değeri \$include "F:\p.txt"
variables z; binary variable x(i,s) i noktasına yerleştirilen balonun s sensörünü alma durumu;
Equations amac, k1(j), k2(i), k3(i); amac..z=e=sum((i,s), x(i,s)*p(i)); k1(j)..sum((i,s)\$ (ord(i) ne ord(j)),x(i,s)*v(i,s,j))=g=1; k2(i)..sum((j,s)\$ (ord(i) ne ord(j)),x(j,s)*v(i,s,j))=g=1; k3(i)..sum(s, x(i,s))=e=1;
model KGB_yersecimi_2/all/; solve KGB_yersecimi_2 using mip maximizing z; display amac.l;

EK-9. Model 3'e ait GAMS kodu

Çizelge 9.1. Model 3'e ait GAMS kodu

<p>Sets</p> <p>i muhtemel yerleşim yerleri /N1*N107/ s sensorler /1*4/ Alias (i,j);</p> <p>scalar cb balon kurulum maliyeti /10000/; scalar w1 /0,5/; scalar w2 /0,5/;</p>
<p>Parameter</p> <p>v(i,s,j) i noktasına yerleştirilen balonun s sensörü ile j noktasını görme durumu \$include "F:\v.txt"</p> <p>c(s) s sensorunun entegrasyon maliyeti \$include "F:\c.txt"</p> <p>p(i) i noktalarının uygunluk değeri \$include "F:\p.txt"</p>
<p>variables z; positive variables d1min, d1plus, d2min, d2plus; binary variable x(i,s);</p>
<p>Equations amac_0,amac_1, amac_2, k1(j), k2(i), k3(i); amac_0..z=e=(w1*(d1plus+d1min)) + (w2*(d2plus+d2min)); amac_1..sum((i,s), x(i,s)*cb + x(i,s)*c(s))- d1plus + d1min =e=62100; amac_2..sum((i,s), x(i,s)*p(i))- d2plus + d2min =e=58.95; k1(j)..sum((i,s)\$ (ord(i) ne ord(j)),x(i,s)*v(i,s,j))=g=1; k2(i)..sum((j,s)\$ (ord(i) ne ord(j)),x(j,s)*v(i,s,j))=g=1; k3(i)..sum(s, x(i,s))=1=1;</p>
<p>model KGB_yersecimi_3/all/; solve KGB_yersecimi_3 using mip minimizing z; display amac_0.l ;</p>

EK-10. Model 4'e ait GAMS Kodu

Çizelge 10.1. Model 4'e ait GAMS kodu

<p>Sets</p> <p>i hedefler /0*107/ u IHA /1*10/ Alias (i,j,ij); scalar v IHA ortalama hızı /200000/; scalar L IHA maks ucus suresi /24/;</p>
<p>Parameter</p> <p>d (i,j) emniyetli ucus uzaklığı \$include "F:\d (i,j).txt"</p>
<p>variables z; binary variables x(i,j,u); positive variables y(i);</p>
<p>Equations amac, k1, k2, k3(i), k4(ij,u), k5(u), k6(u), k7(u), k8(i,j); amac..z=e=sum((i,j,u), d(i,j)*x(i,j,u)); k1..sum((u,j) \$ (ord(j) ge 0 and (ord(j) le 108)), x('0',j,u)) =l= 10; k2..sum((u,i) \$ (ord(i) ge 0 and (ord(i) le 108)), x(i,'0',u)) =l= 10; k3(i) \$ (ord(i) ge 1 and (ord(i) le 108))..sum((u,j) \$ (ord(j) ne ord(i) and (ord(i) ge 0) and (ord(j) le 108)), x(i,j,u)) =e= 1; k4(ij,u) \$ (ord(ij) ge 1 and (ord(ij) le 108))..sum((i) \$ (ord(i) ne ord(ij)), x(i,ij,u)) =e= sum((j) \$ (ord(j) ne ord(ij)), x(ij,j,u)); k5(u)..sum((i) \$ (ord(i) ge 0 and (ord(i) le 108)), x(i,'0',u)) =e= 1; k6(u)..sum((j) \$ (ord(j) ge 0 and (ord(j) le 108)), x('0',j,u)) =e= 1; k7(u)..sum((i,j), x(i,j,u)*d(i,j)) =l= L*v; k8(i,j) \$ (ord(i) ne ord(j) and (ord(i) gt 1) and (ord(i) le 108) and (ord(j) ge 1) and (ord(j) le 108))..y(i)- y(j)+d(i,j) =l= (L*v*(1-sum(u,x(i,j,u))));</p>
<p>model KIRM/all/; KIRM.limcol=10000; KIRM.limrow=10000; KIRM.reslim=500000; KIRM.iterlim=1e9; KIRM.optfile=1; KIRM.optcr=0; solve KIRM using MIP minimizing z; display x.l, z.l;</p>

EK-11. Model 5'e ait GAMS Kodu

Çizelge 11.1. Model 5'e ait GAMS kodu

<pre>sets i hedefler /0*107/ u IHA /1*10/ s sensörler /s1, s2, s3/ Alias (i,j,p,l);</pre>
<pre>scalar W IHA ortalama hızı /200000/; Parameter Q(s) sensör miktarı /s1 10, s2 10, s3 10/ G(s) sensör görüş mesafesi /s1 10000, s2 15000, s3 20000/ d107(i,j) emniyetli ucus uzaklığı \$include "F:\d (i,j).txt" v(i,s,j) i noktasına yerleştirilen balonun s sensörü ile j noktasını görme durumu \$include "F:\v.txt"</pre>
<pre>variables z; binary variables x(u,s,i,j); positive variable Y(i); Equations amac, k1(u), k2(u), k3, k4(u,s,p), k5(i), k6(j), k7(s), k8(u,i,j), k9(u), k10(i,j); amac..z=e=sum((u,s,i,j), x(u,s,i,j)*d107(i,j)); k1(u)..sum((s,j), x(u,s,'0',j)) =e= 1; k2(u)..sum((s,i), x(u,s,i,'0')) =e= 1; k3..sum((u,s,j), x(u,s,'0',j)) =l= 10; k4(u,s,p)\$ (ord(p) gt 1)..sum((i)\$ (ord(i) ne ord(p)), x(u,s,i,p)*(1-v(s,i,p))) =e= sum((j)\$ (ord(j) ne ord(p)), x(u,s,p,j)*(1-v(s,p,j))); k5(i)\$ (ord(i) gt 1)..sum((u,s,j)\$ (ord(j) ne ord(i)), (x(u,s,i,j)+x(u,s,j,i))*(1-v(s,i,j))) + sum((u,s,p,l)\$ ((ord(p) and ord(l) ne ord(i)) and (ord(p) ne ord(l))), x(u,s,p,l)*(v(s,p,i)+v(s,l,i))) =g= 1; k6(j)\$ (ord(j) gt 1)..sum((u,s,i)\$ (ord(i) ne ord(j)), x(u,s,i,j)) =l= 1; k7(s)..sum((u,j), x(u,s,'0',j)) =l= Q(s); k8(u,i,j)..sum(s, x(u,s,i,j)) =l= 1; k9(u)..sum((s,i,j), x(u,s,i,j)*d107(i,j)) =l= 24*W; k10(i,j)\$ (ord(i) ne ord(j) and (ord(i) gt 1) and (ord(j) ge 1))..Y(i) - Y(j) + d107(i,j) =l= 24*W*(1-sum((u,s),x(u,s,i,j)));</pre>
<pre>model KIRM2/all; Solve KIRM2 using mip minimizing z; display z.l, x.l;</pre>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Nahit
 Uyuğu : TC
 Doğum tarihi ve yeri : 18.12.1983, Ankara
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0 506 251 44 80
 e-posta : nahit.yilmaz@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniv./Endüstri Müh.liği	Devam ediyor.
Yüksek Lisans	Gazi Üniv./Endüstri Müh.liği	2011
Lisans	(FYO) Gazi Üniv./Endüstri Müh.liği	2006
Lise	Maltepe Askeri Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2014	5'nci Ana Bakım Merkezi K.lığı	Kalite Yönetim Uzmanı A Sınıfı İSG Uzmanı İç Denetim Uzmanı
2014-Halen	Genelkurmay Lojistik Başkanlığı	Proje Yönetim Uzmanı

Yabancı Dili

İngilizce
 Almanca

Yayınlar

1. Yılmaz, N., Bali, Ö. (2014). *Hava Ambulans Sistemi Performans Analizi: İç Anadolu Bölgesi Uygulaması*, III. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi Bildiriler Kitabı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 415-426.

2. Yılmaz, N., Gencer, C. (2016). *Keşif ve Gözetleme Balonları için Küme Kaplama ve Birim Disk Kaplama Algoritmaları ile Üç Boyutlu Düzlemde Yer Seçimi*, 8'nci Ulusal Savunma ve Teknoloji Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
3. Yılmaz, N., Gencer, C. (2016). *Sensor Type and Location Selection Problem for Tethered Surveillance Aerostats*, 1'st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC-16), Çukurova University, Adana.
4. Yılmaz, N., Şenol, M.B. (2017). *İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Süreci İçin Bulanık Çok Kriterli Bir Model ve Uygulaması*, *The International Engineering and Architecture Journal of Gazi University*, 32:1, 77-87.
5. Yılmaz, N., Gencer, C. (2017). *Sensor and Location Selection Problem for Tethered Surveillance Aerostats*, *International Journal of Engineering Science and Invention*, 6:4, 47-55.
6. Yılmaz, N., Gencer, C. (2018). *Where to Locate Tethered Aerostats for an Effective Surveillance System: A Case Study on Southern Turkey*, *Gazi University Journal of Science*, 31(1), 189-200.

Hobiler

Kros, Yüzme, Doğa Yürüyüşü, Sinema, Tiyatro, Edebiyat.



GAZİ GELECEKTİR..