

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**ANLIK İSTİHBARAT, GÖZETLEME ve KEŞİF İHTİYAÇLARI İÇİN MİNİ
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ YER KONTROL İSTASYONLARININ
SEÇİMİ**

Doktora Tezi

ÖMER FARUK KURBAN

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
EKONOMETRİ ANABİLİM DALI
YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI BİLİM DALI

**ANLIK İSTİHBARAT, GÖZETLEME ve KEŞİF İHTİYAÇLARI İÇİN MİNİ
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ YER KONTROL İSTASYONLARININ
SEÇİMİ**

Doktora Tezi

ÖMER FARUK KURBAN

Danışman: PROF. DR. TUNCAY CAN

İstanbul, 2014

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

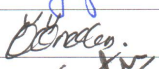
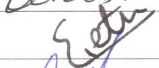
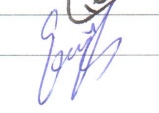
TEZ ONAY BELGESİ

EKONOMETRİ Anabilim Dalı YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI Bilim Dalı
DOKTORA öğrencisi ÖMER FARUK KURBAN'ın ANLIK İSTİHBARAT, GÖZETLEME
VE KEŞİF İHTİYAÇLARI İÇİN MİNİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ YER
KONTROL İSTASYONLARININ SEÇİMİ adlı tez çalışması, Enstitümüz Yönetim Kurulunun
26.11.2014 tarih ve 2014-38/28 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu
ile Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi 12 / 12 / 2014

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

1. Tez Danışmanı	Prof. Dr. TUNCAY CAN	
2. Jüri Üyesi	Prof. Dr. İBRAHİM DOĞAN	
3. Jüri Üyesi	Prof. Dr. ÖMER ÖNALAN	
4. Jüri Üyesi	Prof. Dr. EYÜP ÇETİN	
5. Jüri Üyesi	Doç. Dr. ERSOY ÖZ	

ÖZET

Günümüzde birçok ülke sınır güvenliğini sağlama konusunda büyük yatırımlar yapmakta ve teknolojinin tüm imkanlarından faydalanmaktadır. Sınır güvenliği bir çok bileşeniyle birlikte gelişmiş ülkelere yapılan göçler, her türlü kaçakçılık, terorizm, gibi unsurların engellenmesini içermektedir. Bu amaçla kullanılan İHA (İnsansız Hava Aracı)'lar ile sınırların gözetlenmesi, kaçakçılık ve terorizm gibi hayati öneme haiz olaylara anında müdahale edilmesi, ihtiyaç duyulan anlık İGK (İstihbarat, Gözetleme, Keşif) isteklerinin hızlı ve doğru karşılanması ile mümkün olabilmektedir. Anlık İGK ihtiyacı güvenlik birimlerinin olaylara müdahale esnasında ana unsur olarak her zaman öncelik teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, farklı kaplama mesafelerine sahip mini İHA'ların iç güvenlik hareketi ve hudut güvenliği kapsamında anlık İGK elde etme görev etkinliğini artırmak için, ilk önce değişen hava şartları ve koşulların etkisi olmaksızın maksimal kaplama problemi, daha sonra değişen hava şartları ve koşulların etkisi altında hizmet verememe olasılık değerlerinin kullanıldığı maksimum beklenen kaplama problemi olarak sorumluluk sahasındaki en uygun mini İHA yer kontrol istasyonlarının yer seçimi yapılmaktadır. Model mini İHA'ların tek merkezden olaylara yönlendirildiği anlık İGK isteklerini karşılamak amacıyla Safir ve Demir ülkeleri hudut hattını temsil eden jenerik bir arazi üzerinde uygulanmıştır. Modelin sonucunda ortaya çıkacak uygun yerlere İHA istasyon merkezi kurulması önerilecektir.

Problem için geliştirilen modelde maksimum kaplama probleminde beş, maksimum beklenen kaplama probleminde on iki olmak üzere toplamda on yedi ayrı senaryo ele alınmış ve her senaryo için GAMS yazılımı kullanılarak optimal çözümler elde edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra, problem parametreleri değiştirilmek suretiyle optimal çözümlerin değişimi incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: İnsansız Hava Araçları (İHA), İstihbarat, Gözetleme, Keşif, (İGK), Yer Seçimi Problemi, Tamsayılı Doğrusal Programlama, Maksimum Kaplama Problemi, Maksimum Beklenen Kaplama Problemi.

ABSTRACT

In Modern world many countries are making big investments for border security technologies. Border security has many sides including preventing human trafficking, illegal crossing, smuggling and terrorism. Unmanned aerial vehicle (UAV) provides critical instant intelligence, surveillance, reconnaissance (ISR) for security units in borders. Instant and precise ISR has the priority for all border security activities.

The objective of this project is to locate grand control location of Mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV) units which has different coverage capabilities, responsible for instant ISR. Mini UAV units were dispatched by a central control point to provide instant ISR on the imaginary border line between countries SAFIR and DEMIR. Using the model optimum points for the mini UAV station will be determined. The problem of finding the optimum locations of UAV units is modeled first under no effect of changing weather and environmental circumstances as a Maximal Covering Location Problem and then by putting into the effect of changing weather and environmental circumstances as a Maximum Expected Covering Location problem.

Coverage distances are defined based on the capacity of UAV units that can be located throughout the border line. Then, candidate points representing potential sites and demand points representing ISR requests in that area are defined. In order to set the standards on various issues regarding the selection of candidate points, additional constraints are added. Furthermore, weights, determined by considering the number of events observed within a certain period are assigned to these demand points.

Totally seventeen different scenarios are developed for both model, five for Maximal Covering Location problem and twelve for Maximum Expected Covering Location problem. Optimal solutions were found by using GAMS. Finally, the changes in the optimal solutions are analyzed by altering the problem parameters.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, ISR (Intellegence, Surveillance, Reconnaissance), Facility Location Problem, Integer Linear Programming, Maximal Covering Location Problem, Maximum Expected Covering Location Problem.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TABLO LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. İSTİHBARAT, GÖZETLEME, KEŞİF.....	4
2.1. İstihbarat.....	5
2.2. Gözetleme.....	7
2.3. Keşif.....	7
3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI.....	9
3.1. İnsansız Hava Araçlarının Tanımı.....	9
3.2. İnsansız Hava Araçlarının Askeri Tarihçesi.....	10
3.3. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları.....	14
3.3.1. Sivil Kullanım Alanları.....	14
3.3.2. Askeri Kullanım Alanları.....	15
3.4. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması.....	16
3.5. İnsansız Hava Aracı Bölümleri.....	17
4. TÜRKİYE’DE İNSANSIZ HAVA ARACI PROJELERİ.....	18
5. MİLLİ ASKERİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDAN ÖRNEKLER.....	21
5.1. ANKA (Türk Havacılık ve Uzay San.A.Ş)......	21
5.2. Baykar Makine A.Ş.....	24
5.2.1. Bayraktar Mini İHA.....	24
5.2.2. Malazgirt Dönerkanat Mini	27
5.2.3. Bayraktar Taktik İHA.....	29
5.2.4. Karayel Taktik İHA.....	30

6. İHA'LARIN ASKERİ KULLANIM UYGULAMALARI.....	33
7. TAM SAYILI PROGRAMLAMA.....	37
7.1. Tamsayı Programlamaya Giriş.....	37
7.2. Tamsayı Programlama Problemleri.....	40
7.3. Tamsayı Programlamada Kullanılan Özel Kısıtlar.....	41
7.3.1. Ya–Ya da Şeklindeki Kısıtlar.....	41
7.3.2. m Adet Kısıttan k Adetinin Etkili Olması.....	42
7.3.3. Eğer– Öyleyse Şeklindeki Kısıtlar.....	43
7.3.4. Bir Kısıtın N Adet Farklı Değer Alması.....	43
7.3.5. 0–1 Değişkenlerle İlgili Durumlar.....	43
7.4. Tamsayı Programlamada Çözüm Yaklaşımları.....	45
7.4.1. Grafiks Çözüm Yöntemi.....	45
7.4.2. Gomory'nin kesme Düzlemi Yöntemi.....	45
7.4.3. Dal Sınır Yöntemi.....	46
7.4.4. Tam Sayı Olmayan Çözümün Yuvarlanması Yöntemi.....	47
7.4.5. Sayımlama.....	47
7.4.6. Sezgisel algoritmalar.....	47
7.4.7. Hibrid algoritmalar.....	47
7.4.8. Ayrışımli algoritmalar.....	48
8. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ.....	49
8.1. Tesis Yeri Seçimi Problem Tipleri.....	50
8.1.1. P-Medyan Problemleri.....	51
8.1.2. Kaplama Problemleri.....	53
8.1.2.1. Küme Kaplama Problemi.....	54
8.1.2.2. Maksimum Kaplama Problemi.....	55
8.1.2.3. Maksimum Beklenen Kaplama Problemi.....	58

8.1.3.Merkez Problemleri.....	62
8.2. Çözüm Teknikleri.....	63
9. PROBLEM TANIMI.....	65
9.1. Matematiksel Modelin Girdileri.....	66
9.1.1. Modelin Parametreleri ve Varsayımlar.....	69
9.2 Matematiksel Modelin Formülasyonu.....	71
10. SENARYOLARIN ÇÖZÜMLERİ.....	76
10.1. Maksimum Kaplama Senaryoları.....	76
10.1.1 Bayraktar Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 20 km).....	77
10.1.2.Malazgirt Döner Kanat Mini İHA Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 15km).....	78
10.1.3.Bayraktar Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 40 km).....	80
10.1.4.Malazgirt Döner Kanat Mini İHA Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 30 km).....	81
10.1.5.Farklı Kaplama Mesafelerine Sahip (15 , 20 ve 30 km) Üç İHA İstasyonunun Aynı Anda Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü.....	82
10.2. Maksimum Beklenen Kaplama Senaryoları.....	85
10.2.1. A tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,1$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 20 km).....	85
10.2.2. A tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,5$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 20 km).....	86
10.2.3. A tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,8$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 20 km).....	87

10.2.4. B tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,1$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 15 km).....	90
10.2.5. B tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,4$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 15 km).....	91
10.2.6. B tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,7$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 15 km).....	92
10.2.7. A tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,15$ Durumu Senaryosu (Kaplama mesafesi 40 km).....	93
10.2.8. A tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,5$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 40 km).....	94
10.2.9. A tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,8$ Durumu Senaryosu. (Kaplama mesafesi 40 km).....	95
10.2.10. B tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,1$ Durumu Senaryosu (Kaplama mesafesi 30 km).....	97
10.2.11. B tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,4$ Durumu Senaryosu (Kaplama mesafesi 30 km).....	98
10.2.12. B tipi İHA Hizmet Verememe Olasılığı $p=0,7$ Durumu Senaryosu (Kaplama mesafesi 30 km).....	99
11. SONUÇ.....	101
EKLER.....	109
EK-A: Aday Noktalarının Bölgesel Karakteristik Katsayıları.....	110
EK-B: İstek Noktalarının Ağırlık Dereceleri.....	112
EK-C: Matematiksel Modelin GAMS Yazılımı.....	114
EK-Ç İstek ve Aday Noktalar Mesafe Matrisi.....	121
KAYNAKÇA.....	122

TABLO LİSTESİ

Tablo-1	Dünyada Üretilen ve Kullanılan Başlıca İHA Modelleri.....	13
Tablo-2	İnsansız Hava Araçlarının Askeri Kullanım Alanları.....	15
Tablo-3	İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması.....	16
Tablo-4	ANKA Uçağının Teknik Özellikleri	23
Tablo-5	Bayraktar Mini İHA Teknik Özellikleri.....	26
Tablo-6	Malazgirt DönerKanat Mini İHA Teknik Özellikleri.....	28
Tablo-7	Bayraktar Taktik İHA'nın Teknik Özellikleri.....	30
Tablo-8	Karayel Taktik İHA'nın Teknik Özellikleri.....	32
Tablo-9	İstihbarat Duyum Yoğunluğu,Kaçakçılık. Olayları Yoğunluğu, Terör Olayları Yoğunluğu.....	70
Tablo-10	Ulaşım Kolaylığı.....	70
Tablo-11	Değişen Hava Şartlarına Göre Hizmet Verememe Olasılık Değerleri (p).....	71
Tablo-12	Bayraktar Mini İHA İstasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama Mesafesi 20 km).....	78
Tablo-13	Malazgirt Dönerkanat Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 15 km).....	79
Tablo-14	Bayraktar Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 40 km).....	80
Tablo-15	Malazgirt Dönerkanat Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 30 km).....	82
Tablo-16	Farklı Kaplama Mesafelerine Sahip (15 , 20 ve 30 km) İHA'ların YKİ'nun Aynı Anda Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü.....	84
Tablo-17	Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,15) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km).....	86
Tablo-18	Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,5) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km).....	87

Tablo-19 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,8) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km).....	89
Tablo-20 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,1) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km).....	90
Tablo-21 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,4) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km).....	91
Tablo-22 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,7) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km).....	93
Tablo-23 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,15) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km).....	94
Tablo-24 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,5) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km).....	95
Tablo-25 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,8) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km).....	96
Tablo-26 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,1) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km).....	97
Tablo-27 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,4) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km).....	98
Tablo-28 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,7) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km).....	100
Tablo-29 Maksimum Kaplama Senaryo Sonuç Çözümleri.....	103
Tablo-30 Maksimum Beklenen Kaplama Senaryo Sonuç Çözümleri.....	104

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil-1 MALE Sınıfı ANKA Uçağı.....	23
Şekil-2 Bayraktar Mini İHA.....	24
Şekil-3 Bayraktar Mini İHA Ekipmanları.....	25
Şekil-4 Bayraktar Mini İHA Yer Kontrol İstasyonu Kullanıcı Ara Yüzü.....	26
Şekil-5 Malazgirt DönerKanat Mini İHA.....	27
Şekil-6 Bayraktar Taktik İHA.....	29
Şekil-7 Karayel Taktik İHA.....	31
Şekil-8 SAFİR-DEMİR Ülkeleri Hudut Hattında Seçilen İHA İstasyonu Aday Noktalarını Gösteren Jenerik Harita.....	68
Şekil-9 Bayraktar Mini İHA İstasyonu Konuşlandırılması Senaryosu Gösterimi.....	102
Şekil-10 Farklı Kaplama Mesafelerine Sahip Üç İHA İstasyonunun Aynı Anda Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü Gösterimi.....	103
Şekil-11 0.15 p Değeriyle 20 km'lik Kaplama Mesafesine Sahip 8 Adet Bayraktar İHA İstasyonu Konuşlandırılması Senaryosu Gösterimi.....	104

KISALTMALAR

GK	Gözetleme ve Keşif
İGK	İstihbarat, Gözetleme, Keşif
ISR	Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecom.Union)
İHA	İnsansız Hava Aracı
İHAYKİ	İnsansız Hava Aracı Yer Kontrol İstasyonu
İHS	İnsansız Hava Sistemleri
İSU	İnsansız Savaş Uçağı
JORF	Fransa Resmi Gazetesi(Journal Officiel de la Republique Française)
LALE	Alçak İrtifa Uzun Uçuş Süreli (Low Altitude Long Endurance)
MALE	Orta İrtifa Uzun Uçuş Süreli (Medium Altitude Long Endurance)
MBKP	Maksimum Beklenen Kaplama
MKHS	Mobil Kullanıcı Hedef Sistemi
MCLP	Maximum Coverage Location Problem
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization)
SATCOM	Satellite Communications
SSM	Savunma Sanayi Müsteşarlığı
TDP	Tamsayılı Doğrusal Programlama
TİHA	Türk İnsansız Hava Aracı
TUSAŞ	Türk Havacılık ve Uzay San.A.Ş.
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
YKİ	Yer Kontrol İstasyonu
YVT	Yer Veri Terminali

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ile birlikte pek çok modern araç ve gereç Silahlı Kuvvetlerin bünyesine katılmıştır. İnsansız Hava Araçları (İHA) da bu yeni sistemlerden bir tanesidir. İHA sistemlerinin önemi günden güne artmakla birlikte tüm dünya ordularının ellerinde bulundurmak istediği vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir. İHA'lar çağımızın modern silah sistemlerinden en önemlileri arasındadır. Son derece etkin bir İGK (istihbarat, gözetleme, keşif) vasıtası olan İHA sistemleri özellikle tehlikeli bölgelerde görev yapabilmeleri ve uzun süre havada kalabilmeleri ile güvenlik birimleri açısından oldukça faydalı birer araç durumuna gelmişlerdir. A.B.D. ordusu tarafından İHA'lar Lübnan, Kosova, Irak, Somali, Afganistan ve Pakistan'da muharebe şartlarında ve terörle mücadelede etkin olarak görev almışlardır.

Türkiye'nin bazı hudut bölgelerinde, kontrolü neredeyse imkansız, uzun ve engebeli sınırlara sahip olmasından dolayı güvenlik birimlerinin terörle mücadele ve hudut güvenliği görevlerini etkin bir şekilde icra etmelerini zorlaştırmaktadır. Zorlu şartlar altında, etkin bir İGK ve baskın tarzında hava akınlarına ve müdahaleye duyulan ihtiyaç, Türkiye'nin yeterli sayıda ve özellikle insansız hava aracına sahip olmasını zorunlu kılmaktadır.

İHA'lar pilot tarafından uçurulan uçaklar gibi bir meydana yani yer kontrol istasyonunun (YKİ) konuşlanacağı bir üsse ihtiyaç duyarlar. Bu sebepten İHA üssünün yani yer kontrol istasyonunun nerede olması gerektiği özellikle görev etkinliği açısından detaylı çalışılması gereken bir konudur. Pilotlar İHA'larını yer kontrol istasyonundan komuta ederek kullanırlar. İHA'nın üssünden kalkıp gidebileceği en uzak nokta İHA'nın imkan ve kabiliyetlerine menzil kısıtına yani kaplama alanına bağlıdır. Dolayısıyla İHA konuşlandığı üs merkez nokta olmak üzere menzili kadar bir yarıçapa bağlı olarak dairesel bir kaplama alanına sahiptir. İHA bu kaplama alanı dışına çıkamaz. Şayet kaplama alanından çıkarsa görevini gerçekleştiremez, çünkü artık pilotunun kumandası altında olamaz ya da üssüne geri dönemez. İHA'nın teknik özellikleriyle kaplama alanı doğru orantılıdır ve İHA'nın kaplama alanı içerisinde bulunan her nokta ise artık kontrol altındadır. Kaplama alanı İHA'nın etkinliğini belirlediğinden dolayı

YKİ' nin konuşlanma bölgesi çok önemlidir. Son derece önem taşıyan bu konunun üzerinde bir çalışma yapılması uygun görülmüştür.

Dünyada İHA' lar askeri ve güvenlik alanında çok değişik kullanım alanları mevcuttur. Bunlar genel olarak; İGK, hudut güvenliği, hedef tespiti ve teşhisi, topçu atışlarının tanzimi, hasar tespiti, mayın tarlası tespiti, elektronik harp platformu, taarruz amaçlı silah platformu, muhabere amaçlı röle görevi, gerçek zamanlı bilgi aktarımı, bölgesel denetim, uyuşturucuyla mücadele ve sivil amaçlı diğer kullanımlardır.

Şubat ayı 1991 yılında yayımlanan T.C Resmi Gazetesinin Kara Sınırlarının Korunması ve Güvenliği Yönetmeliği Madde 9, No.: 20821'e göre Türkiye'de kara sınırlarını korumak ve güvenliğini sağlamak görevi Kara Kuvvetleri Komutanlığına ait olup bu görev sınır birliklerince;

1. Kendi sorumluluğunda olan bölgede sınırı korumak ve güvenliğini sağlamak,

2. Gümrük hattındaki giriş ve çıkış kaçakçılığı ile kara sınırları boyunca tesis edilen birinci derece askeri yasak bölge içerisinde suç teşkil eden eylemleri önlemek, suçluları yakalamak, bu bölgede suçüstü işlenen suç faillerini ikinci derece askeri yasak bölgede de takip etmek ve yakalamak, failler hakkında zorunlu yasal işlemleri yapmak, yakalanan kişi ve suç delillerini ilgisine göre mahalli güvenlik kuvvetlerine teslim etmek,

3. Kara sınırlarından iltica amacıyla giren muharip yabancı ordu mensupları hakkında 11/08/1941 tarihli ve 4104 sayılı Muharip Yabancı Ordu Mensuplarından Türkiye'ye İltica Edenler Hakkında Kanun hükümlerini uygulamak, diğer mültecileri silah, mühimmat ve sair harp araç ve gereçlerinden arıtmak, bu mülteciler ile beraberlerinde getirdikleri malzemeleri ilgili makamlara teslim etmek, olarak açıklanır.

Ülkemiz coğrafi yapısı itibariyle yüzyıllardır çeşitli göç ve ulaşım yolları üzerinde bulunmakta olup, Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlayan bir köprü konumundadır. Türkiye'nin bu stratejik konumu, bölge ülkeleri arasındaki ilişkiler açısından bakıldığında da, siyasi ve politik bir öneme sahiptir. Komşu ülkelerde yıllardan beri süregelen çatışmalar, iç savaşlar ve rejim değişiklikleri ile terörist faaliyetler,

Ülkemizin sınır güvenliğini ciddi olarak tehdit etmektedir. Kara Kuvvetleri Komutanlığına verilen bu kutsal ve zor görevin eksiksiz icra edilmesi hayati öneme haizdir. Ülkemiz, terör örgütlerinin faaliyetlerini durdurmak maksadıyla doğu ve güneydoğu sınırlarında, doğudan batıya doğru ilerleyen kaçakçılık yollarının durdurulması ve yok edilmesi için de kara ve deniz sınırlarımızda etkin sınır tedbirlerini almaktadır.

Belirli bir alanda bulunan arazide üslenmiş özel kuvvet unsurları, komando timleri, yerleşim bölgesindeki istihbarat mensupları, kaçakçılıkla mücadele eden emniyet özel harekât birimleri, hudut görev birlikleri vb. unsurlar eş zamanlı olarak görevlerini eksiksiz icra etmek maksadıyla anlık İGK talep etmektedirler. Harekat merkezi gibi tek merkezde toplanan bu talepler öncelik derecelerine göre değerlendirilir ve bir sıralama yapılır. Derecelendirmeye göre talep yapılan bölgedeki İHA'lar harekete geçirilir. İHA'lardaki esas nokta, hava araçlarının uçurulması ve görüntü elde edilmesi kadar, verilerin aktarımı, değerlendirilmesi ve ihtiyaçları karşılanması olarak değerlendirilebilir. Yani elde edilen bilgiyi diğer bilgilerle birleştirilerek analiz edilmesi ile ortak bir taktik ve stratejik sonuç elde edilir. Ortaya çıkan bu sonucun talep eden unsurlara en hızlı şekilde aktarılması ve unsurların hızlı bir şekilde operasyon için harekete geçmesi ile istenilen sonuç ancak elde edilebilmektedir. (Siyah Gri Beyaz,"Bir Süreç Yönetimi Olarak Ağ Merkezli Muharebe" <http://www.siyahgribeyaz.com/2009/06/haftalk-baks-9-bir-surec-yonetimi.html#more>. (26 Temmuz 2014))

Bu çalışmada, farklı kaplama mesafelerine sahip Türkiye'de üretilen Bayraktar Mini İHA ve Malazgirt DönerKanat Mini İHA sistemlerinin i güvenlik harekatı ve hudut güvenliği kapsamında görev etkinliğini arttırmak amacıyla jenerik olarak seçilen SAFİR ile DEMİR lke hudut hattı üzerinde seçilen sorumluluk sahasındaki en uygun YKİ'lerinin yer seçimi amaçlanmaktadır. Bu sayede bölgede görev yapan güvenlik birimlerinden gelen anlık İGK ihtiyaçlarını karşılanması amacıyla ağrı merkezi şeklinde görev yapan harekat merkezinden olaylara yönlendirilmesi sağlanarak talep edilen bölgelerde İGK elde etmesi sağlanacaktır. Modelin sonucunda ortaya çıkacak uygun yerlere İHA istasyonu konuşlanması önerilecektir.

2. İSTİHBARAT, GÖZETLEME ve KEŞİF :

Bilgi çağını yaşadığımız bu zamanda teknoloji tüm hızıyla hayatımıza girmeye devam etmektedir. Her alanda olduğu gibi dünya silahlı kuvvetleri de teknolojiden oldukça faydalanmaktadır. Pek çok askeri silah, araç ve gereç gün geçtikçe gelişmekte ve aynı zamanda karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle günümüz muharebe sahası geçmiş ile kıyaslandığında hayli karmaşık ve geleceğin muharebe sahasının da daha karmaşık ve komplike olacağı öngörülmektedir.

Geleceğin muharebelerinin beş boyutlu (derinlik, genişlik, yükseklik, bilgi, zaman) olacağı ve teknolojik her yeniliğin rol oynayacağı, derinliği ve genişliği fazla bir ortamda gerçekleşeceği öngörülmektedir. Birliklerinin çok boyutlu harekât ortamında başarılı bir harekât icra edebilmeleri için komutanlar kendi etki ve ilgi alanındaki her türlü faaliyeti önceden görebilme ve taktik resmi istenilen anda ve doğrulukta elde etme ve dağıtma imkânına sahip olmalıdır.

Uygun yöneltilen İGK harekâtı; komutanın, muharebe sahasını zaman ve mekana göre daha derin ve geniş olarak görmesini sağlar. Gözetleme ve hedef tespit sensörleri (kameralar) muharebenin genişlik ve derinliğini etkiler. Güncel muharebe teçhizatıyla birleşmiş olarak, bu sensörler komutana gerçeğe yakın zamanda İGK sağlar. Bu istihbarat komutana, bir problem haline gelmeden önce düşmanın ikinci kademe kuvvetlerine veya yüksek hareketli gerilla kuvvetlerine saldırma imkanı sağlar.

İGK elde bulunan istihbarat toplama araçlarının planlanması ve senkronize edilmesiyle mevcut ve gelecekteki operasyonlara doğrudan destek sağlayan entegre bir faaliyettir. Bu entegre istihbarat ve operasyon fonksiyonu mümkün olan en iyi istihbarat üretmek için sınırlı istihbarat toplama vasıtalarından maksimum toplamayı sağlamak amacıyla detaylı bir planlamaya ihtiyaç duymaktadır. İGK sistemi teknik vasıtaları ve insan kaynaklarını kullanarak düşmanın teşkilâtını, tertibatını, kuvvetli ve zayıf taraflarını ve maksadını ortaya çıkarmaya çalışır. Teknik vasıtalar esas olarak muhabere istihbaratı, elektronik istihbarat ve görüntü ve iz istihbaratına dayalıdır. (FM 7-15, 2004, ART 1.3)

2.1. İstihbarat

Haber her türlü kaynaktan elde edilen değerlendirilmemiş verilerdir. Haber; gerçek veya asılsız, tam veya noksan, teyit edilmiş veya edilmemiş, ilgili veya ilgisiz, olumlu veya olumsuz olabilir. Haber, kendisinden istihbarat elde edilen ham maddedir.

Bilgi belirli bir zaman diliminde doğru ve geçerli olduğu kabul edilen değerlendirilmiş habere bilgi denir. Haber, bilgi ve istihbarat arasındaki ilişki şu şekilde özetlenebilir. Piramidin en altında haber daha sonra bilgi ve en tepede istihbarat gelmektedir. İstihbarat ham bir bilgi olmayıp, elde edilen bilgilerin çeşitli yöntem ve teknikler vasıtası ile işlenmesinden sonra, geçmiş tecrübe ve bilgiler ışığında yorumlanmasından ortaya çıkan değerlendirmelerdir.

İstihbarat en basit tanımıyla toplanan haberlerin işlenmesiyle elde edilen sonuçtur. İşlem temelde kaydetme, değerlendirme ve yorumlama faaliyetlerini içerir. Haber ve haber kaynağının,vasıtasının değerlendirilmesi; haberin anlam ve önemini saptamak için uygunluğu ve doğruluğu ile haber kaynağının,vasıtasının güvenilirliğini saptamaya kapsar. yorumlama ise çözümleme (analiz-tahlil), bütünleme (sentez) ve sonuç çıkarma aşamalarını ihtiva eder. Çözümleme alınan bilgi ile mevcut bilgilerin belirli bir metoda bağlı olarak ilişkilendirilmesi, bütünleme de tüm çözümlenmiş haberlerin bir araya getirilmesi ile bütünlüğünün sağlanmasıdır. Sonuç çıkarma ise meydana getirilen istihbarat hakkında karar ifadesidir. Bu kapsamda istihbarat " Ne/Kim?, Nerede?, Ne zaman?, Nasıl?, ve Neden meydana gelmiş/gelebilir, Ne yapmıştır/yapabilir? şeklindeki sorulara cevap taşıyan açıklamalar dizisidir. (FM 2.0 Intelligence, 2004,s.5)

İstihbarat, geçmişte olduğu gibi, günümüzün harp ve harp dışı ortamında da hayati önemini devam ettirmektedir. Yüksek teknoloji kullanımı (uydular, İnsansız araçlar, muharebe, elektronik ve bilgisayar teknolojileri v.b.) planlamacıların dost, tarafsız ve hasım unsurlara ait bilgilere daha hızlı ve kolay ulaşabilmesini sağlarken, hasmın benzer bilgilere ulaşmasını engellemekte; böylelikle bilgi üstünlüğün kazanılmasına büyük katkı sağlamaktadır. Elde edilen bilgilerin hızlı bir şekilde ihtiyaç

sahiplerine dağıtılmasına olanak sağlayan yeni teknolojiler, hareket ortamında durumsal farkındalığı da artırmaktadır.

Durumsal farkındalık da farklı algı ve haber kaynaklarının bir arada, koordineli çalışmasını zorunludur. Çeşitli duyu organlarından elde edilen ham bilgi, merkezi sinir sisteminde veriye dönüştürülür, veri ise gerekli eylemi tatbik etmek için kullanılır. bu süreci en hızlı tamamlayan kişi, kurum ya da organ, rakibi ya da hasmı üzerinde hakimiyet kurar. Yani başka bir deyişle çevresindeki değişiklikler ve hasmının hareketini mümkün olan en süratli şekilde tespit edip, hasmın niyetini analiz ettikten sonra onun önünü kesmek, önlemek için en erken davranan taraf zafere ulaşır. Durumsal farkındalık, sürati, dinamizmi gerektirir. Statik, durağan önlemler etkisizdir. Dolayısıyla önceden fark etmek tek başına yeterli değildir. Tespitten teşhise, teşhisten eyleme süratli geçebilmek esastır. (Siyah Gri Beyaz, Ağ Merkezli Muharebe Üzerine Notlar - II: Durumsal Farkındalık " <http://www.siyahgribeyaz.com/2009/06/haftalk-baks-9-bir-surec-yonetimi.html#more>. (26 Temmuz 2014))

Oygür (2012,s.8-15)'e göre durumsal farkındalık; ihtiyaç duyulan en az bilgiyi toplamak, işe yaramayan bilgileri elemek; bu veriyi analiz etmek ve kullanılır hâle getirmek; bir başka deyişle veriyi toplamaktan çok onunla bir şeyler yapabilmek olarak tanımlanmaktadır.

Muharebe sahasında istihbarat üstünlüğünün elde bulundurulması, taktik resmi en kısa sürede oluşturma ve komutanların zamanında ve doğru karar vermelerinin temel şartlarından birisidir. (FM 2.0 Intelligence, 2004,s.5)

Askeri istihbarat komutanının vazifesini başarabilmek için; düşman ve düşman olması muhtemel taraf ile muhtemel harekât bölgeleri ve hava koşulları hakkında ihtiyaç duyduğu hususlarla ilgili olarak vasıtaların yöneltilmesi, haberlerin toplanması, toplanan haberlerin işleme tabi tutulması ve yayımlanması süreci ile bu süreç sonucunda elde edilen sonuçlardır.

İstihbarat komutana hasmının muhtemel taktik ve imkanlarını tahmin etme fırsatı verir. yeterli istihbarata sahip olan komutan, hasmın hareket ve reaksiyonlarının

neler olabileceğine dair kritik bir bakış üstünlüğü elde eder. böylece komutan bu istihbarata dayanarak hareket tarzlarını belirlemek suretiyle, harbin doğasından kaynaklanan riskleri azaltırken başarı ihtimalini artırır.(FM 2.0 Intelligence, 2004,s.20)

2.2. Gözetleme

Gözetleme düşman, arazi, hava sahası, özel ilgi alanları, kişiler ve ihtiyaç duyulan bölgeler hakkında bilgi elde edilmesi amacıyla görsel, elektronik, fotoğrafik v.b. sistematik bir şekilde gözetleme vasıtalarıyla izlenmesidir. Gözetleme ve keşif (GK) istihbarat elde edilmesinde ana unsurlardır. GK vasıtaları düşman ve muharebe sahası hakkında bilgi toplanmasına öncelik verirler. Gözetleme, keşif hareketının bir parçası olarak veya bağımsız bir faaliyet olarak icra edilebilir. Gözetleme icra eden birimler üst komutanlıktan kendilerine emredilen özel ilgi alanları ve hedef üzerinde faaliyetin icrasında devamlılığı sağlamalı ve elde edilen bilgilen hızlı ve doğru bir şekilde rapor edilmelidir. (FM 3-35 Information Collection,2012,s.21)

Hem gözetleme hem de keşif hareketında görev verilen sorumluluk bölgesinde tespit, teşhis , tanıma, takip, konumlama v.b faaliyetler icra edilir. Keşif hareketında GK vasıtalarından verilen özel bir görev hakkında sistematik bir şekilde bilgi toplanılması istenilir. Gözetleme hareketında ise görev verilen sorumluluk bölgesinde GK vasıtalarından tarama yapılarak, özel bir bilgi değil belirli bir zaman diliminde ortaya çıkan bilgilerin rapor edilmesine dikkat edilir. (FM 3-35 Information Collection,2012,s.21)

2.3. Keşif

Keşif, hareket bölgesinde düşmanın imkan ve kabiliyetleri, arazi ve hava durumu hakkında bilgi edinmek üzerine yönetilen kara ve hava faaliyetidir. Keşif teknik yöntemler ve dinamik insan unsuruna dayanır. Keşif odaklanmış bir kolektif çabadır. Keşif düşman, arazi, hava koşulları veya çeşitli vasıtalar ve düşman kaynakları hakkında belirli bir süre içinde belirli hedeflere karşı bilgi toplamak için yapılır. Keşfin amacı, muharebe istihbarat elde etmektir. Muharebe istihbaratı, komutan tarafından muharebe hareketının planlanmasında ve muharebe hareketında kullanılır. Keşif sonuçları, düşmanın bilinmeyen taraflarını, göze alınması gereken riski meydana çıkarır

ve muharebe gücünün başarılı bir şekilde kullanılmasına yardım eder. (FM 3-35 Information Collection, 2012,s.1-6)

Hava keşfi; hava araçları ile gözetleme yaparak veya sensörler kullanılarak yapılan keşiftir. Taktik hava keşfi ise; Kara, Deniz ve Hava kuvvetlerinin zamanla sınırlı istihbarat ihtiyaçlarını karşılamak maksadıyla icra edilir. Düşman kuvvetlerinin tertibi, terkibi, mevki, faaliyet ve hareketleri; düşmanın ulaştırma sistemleri; harekâtı etkileyen tesisleri ve elektronik neşriyatları hakkında bilgi toplamak, taarruz neticelerini tespit etmek; meteorolojik, hidrografik ve muayyen bir sahanın coğrafi keşfini yapmak taktik hava keşfinin kapsamı içinde mütalaa edilir. Elde mevcut gayretin en verimli bir şekilde kullanılması, taleplerin önceliklerinin kıymetlendirilmesi ve mükerrer keşifler yapılmasının önlenmesine bağlıdır. Bu maksatla, taktik hava keşfinin kontrolü harekâtı topyekûn olarak en iyi takip edilen ve mevcut gayreti en lüzumlu yerde kullanabilen kademe tarafından yapılmalıdır. (FM 3-35 Information Collection, 2012,s.1-6)

3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Günümüzde İHA'larının askeri ve sivil havacılıkta kullanımı hızlı bir şekilde artmaktadır. İHA'lar genellikle insan ve uçak kaybına yol açan olayların sık sık yaşanmasının ardından bu kayıpları en aza indirmek için bir ihtiyaç olarak gündeme gelmiş ve üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. İHA'ların insanlı araçlara göre hayat riskini azaltıp, görev etkinliği ve emniyetini artırmaları, başarısız olduğunda insan hayatı kaybını önlemeleri, bunlarla birlikte yüksek risk unsuru taşıyan görevlerde insanlılara nispeten İHA'ların daha iyi ve çevikliklerini koruyabilir olmaları bu sistemlerin yaygın kullanılmalarına sebep olmuştur. Minik bir kuş büyüklüğünden yolcu uçağı büyüklüğüne kadar farklı boyutlarda üretilen İHA'lar, İGK amaçlı bilgi elde etme, hedef tespiti ve takibi, elektronik atak gibi görevleri icra edebilmektedirler.

3.1. İnsansız Hava Araçlarının Tanımı

İHA'ları ile ilgili olarak birbirine benzer pek çok tanım yapılmaktadır. Fakat bu tanımlarda zaman içerisinde, İHA'ların yüklenecekleri görevlere, yeni teknolojilere ve kullanım şekillerine göre farklılıklar meydana gelmiştir. Günümüzde dünyada kabul görmüş bazı tanımlara aşağıda yer verilmiştir.

Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization-NATO)'ne göre ; "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 tanımlanmıştır."

ABD Savunma Bakanlığının askeri terimler sözlüğündeki tanımına göre;" İHA, kullanıcı olarak insan taşımayan, ölümcül veya ölümcül olmayan faydalı yükleri uzaktan kumanda veya otomatik/otonom uçuşla taşıyabilen, uçuş sonrası tahrip olan veya yeniden kullanılabilen, motor gücüne sahip hava aracıdır. balistik ve yarı-balistik araçlar, uzun menzilli füzeler, topla fırlatılan torpidolar, mayınlar, uydular, gözetimsiz sensörler (herhangi bir itme gücüne sahip olmayanlar) insansız araç olarak kabul edilmezler."

Bir İHA sistemi, temelde hava aracı ve yer sistemi olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Hava aracı; bünyesindeki faydalı yükleri, veri link hattının hava kısmını, görev bilgisayarı ve uçuş için gerekli tüm aviyonik cihazları ve haberleşme sistemlerini taşıyan kısımdır. Yer sistemleri ise; hava aracının ve faydalı yüklerin kontrol edildiği, görevin planlandığı YKİ, Yer Veri Terminali, kıymetlendirme birimi, 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.

İHA'ların genel olarak görev sistemi, yaygın olarak burun kısımlarına sabitlenmiş gece gündüz imkan kabiliyetleri olan çeşitli kameralardan oluşmaktadır. Genellikle MALE (Orta İrtifa Uzun Uçuş Süreli) tipi İHA'larda Yapay Açıklıklı tipi radarlar, elektronik istihbarat ve sinyal istihbaratı sistemler bulunmaktadır. İGK görevleri tek sistem ve tek tip sensöre bağlı icra edilen görevler değildir. Hava savunması sistemlerin de olduğu gibi iç içe geçmiş bileşenlerden meydana gelen entegre bir sistem olarak değerlendirilmelidir.

3.2. İnsansız Hava Araçlarının Askeri Tarihçesi

İHA'lar, bilhassa insan veriminin düşeceği uzun süreli görevlerde veya riskli ortamlarda; insan faktörünü tehdit ortamından uzaklaştırmak üzere; 1900'lü yıllardan beri çok farklı faydalı yük ve motor donanımına sahip, farklı görev ve kabiliyetlere sahip İHA'lar dünya silahlı kuvvetlerinin tarafından kullanılmaktadır. Bunlar arasında elden atılan ve birkaç metre çapındaki bir bölgede uçabilen mini İHA'lardan, atmosferin üst katmanlarında 24 saatten fazla havada kalabilen stratejik İHA'lara kadar, çok sayıda farklı tip ve görevde hava aracı tasarlanıp üretilmeye başlanmıştır. (Siyah,Gri,Beyaz,2013,*Simülasyon Teknolojileri ve İnsansız Hava Araçları*. <http://www.siyahgribeyaz.com/2013/04/simulasyon-teknolojileri-ve-insansz.html#more>.27 Temmuz 2014)

İHA'ların tarihçesi, uzun yıllar öncesine kadar uzanmaktadır. 1883'te İngiliz Archbald bir uçurtmaya anemometre iliştip meteorolojik ölçümler yapmıştır. Amerikan İspanyol savaşlarında, yine uçurtmaya yerleştirilmiş fotoğraf makineleriyle,

ilkel İHA istihbarat uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ancak gerçek anlamdaki ilk uygulama 1916'da Emer Sperry'in ABD Deniz Kuvvetlerine ait bir Curtiss uçağın gyro-stabil özellikli uçuşunu göstermesi ile başlamıştır. Bu uçak pilotlar yerine uçağa yüklenen 300 pound'luk bir bombayı 80 km. kadar taşımıştır. Gezici Mühimmat örneğinin ikincisi yine 1910'lu yıllarda, önceden ayarlanmış bir noktaya kadar gidip o noktada kanatlarını bırakarak üzerindeki 300 Pound'luk bomba ile bir füze gibi hedefe dalan, General Motors'un geliştirdiği Kettering Aerial Torpedo'dur. Daha sonra ABD'den Charles Kettering tarafından geliştirilmiş Kettering Bug lakaplı uçağın, 1918'deki ilk otonomi uçuşu ve Emer Sperry'nin oğlu Lavvrence Sperry tarafından 1920'da radyo dalgaları ile kumanda edilen Messenger uçuşu ile ilk uzaktan kumanda kavramlarının temelleri atılmıştır. Ancak, İHA'ların dünya silahlı kuvvetleri içindeki öneminin artışı, Vietnam ve İsrail'deki savaşlarda kullanımlarıyla gerçekleşmiştir. (SavunmaSanayi,2010,ANKA başarısı ve İHA. [http://www.savunmasanayi.net/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/](http://www.savunmasanayi.net/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/). 28 Temmuz 2014)

Jet teknolojisinin geliştiği, ses bariyerinin aşıldığı ve soğuk savaşın şiddetini arttırdığı 1960'larda ABD görünmez bir İHA geliştirmek üzere ciddi çalışmalara başladı. Jet itekli Q-2C Firebee ilk yarı-görünmez İHA olup, paraşütle iniş yapma kabiliyetiyle de bugünkü İHA'ların bu açıdan atası olmuştur. Günümüzdeki İHA'ların savaş ortamında diğer silahlarla birlikte etkin olarak kullanımına ilk örnek, 1982 yılında İsrail'in Beka vadisindeki Suriye hava savunma sistemlerine yaptığı saldırıdır. Burada İHA sistemleri İGK, hedef tespit, elektronik aldatma-karıştırma ve taarruz sonrası hasar tespit amacıyla etkili bir şekilde kullanılmıştır. (SSM, 2011,s.17)

Özellikle 2000 yılından itibaren Afganistan ve Irak'ta çok değişik görev ve ortamda, farklı büyüklüklerde onlarca İHA operasyonel olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, resmi olarak bilinen 40' tan fazla ülke tarafından, İHA geliştirme ve üretimine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Dünyada üretilen ve kullanılan başlıca İHA modelleri Tablo-1' de verilmiştir.

Son 50 yıldır İGK görevlerinin icrası için başvuru bu hava araçlarının için düşünülen, 2. Dünya Savaşı yıllarında hayata geçirilmeye çalışılan, ancak teknolojinin

yetersizliği sebebiyle rafa kaldırılan taarruz dronu konsepti ise 2000 yılından itibaren mümkün görünmeye başlanmıştır. Birleşik Devletler bu tarihten itibaren keşif için kullandığı araçlara güdümlü tanksavar füzeleri yükleyip bu araçları ‘avcı-katil’ olarak kullanma konusunda çalışmalar başlatmıştır. İlk başarılı yüksek irtifa uzun dayanımlı stratejik (HALE) İHA, Ryan SPA 147’dir. ABD üretimi olan bu uçak 60 bin fitten fotoğraf alabildiği gibi 8 saatlik görev süresiyle bugünkü HALE İHA’ların babası olmuştur.

Dünyada gelişen İHA Sistemleri ve bu sistemlerin üstlendiği görevler her geçen gün gelişim ve farklı alanlara dağılım gösterirken Türkiye’de de İHA Sistemlerine talep gün geçtikçe artmaktadır. Bugün Türk Silahlı Kuvvetleri’nin envanterinde çeşitli görevler için hizmet veren, çeşitli kabiliyetlerde hava araçları mevcuttur. TSK envanterinde yer alan ilk İHA örnekleri yurt dışı kaynaklardan sağlanmıştır. Bu sistemlerin kullanım yeteneğini zaman içersinde gören kuvvet temsilcileri, insansız sistemlerin, insanlı sistemlerle kıyaslandığında ne tür getiriler sağladığını görmüş ve bu ihtiyacın yerli sistemlerle karşılanması gerektiği yönünde karar birliğine varmışlardır. (SSM, 2011,s.18)

1980’lerde İsrail tarafından Mini İnsansız Hava Aracı’nın babası olan Scout üretilmiştir. IAI üretimi olan Scout, 3,96 metrelik kanat açıklığı ve fiber glas gövdesi ile hem radara yakalanmamayı başarmış, hem de küçük ebadı sayesinde vurulmamıştır. Döner bir mekanizma üzerine monte edilen TV kamerası sayesinde ise ilk gerçek zamanlı görüntü aktarımı yapan İHA olarak tarihe geçmiştir. 1982 yılındaki Beka Vadisi Anlaşmazlığı’nda bu uçaklar Suriye’nin hava savunma istasyonlarının tespiti ve vurulmasında kullanılmıştır. Oyalama amaçlı da kullanılan uçakların sağladığı avantaj ile 2 Suriye füze istasyonu İsrailli muharip jetler tarafından imha edilmiştir. Scout ile hafif İHA’ların ne kadar avantajlı olduğu gören İsrail derhal Pioneer’i geliştirmiş ve ABD Donanma, Deniz Piyadeleri ve Kara Kuvvetleri’ne de hemen 20 adet satmayı başarmıştır. Uçak gemisine inmeyi başaran ilk İHA olarak tarihe geçen bu uçak ailesinin sadece ABD’ye satılan bu 20 adedi başta körfez savaşı olmak üzere toplamda 533 sortiye sahiptir. Bugün balkanlardaki barış gücü tarafından da kullanılan uçak halen İsrail tarafından da kullanılmaktadır. (SSM, 2011,s.25)

Tablo-1 Dünyada Üretilen ve Kullanılan Başlıca İHA Modelleri						
KATEGORİ	İSMİ	İRTİFA (FT.)	UÇUŞ SÜRESİ	FAYDALI YÜK (KG)	AĞIRLIK (KG)	ÜRETİCİ ÜLKE
Mikro	Fancopter		25 dk.		1,5	
	Black Widow	769	2 dk.		0,05	ABD
	MicroStar				11,8	ABD
	Wasp	50-1000	45 dk.		0,43	ABD
	gMAV / T-Hawk	10000	50 dk.			ABD
Mini	ScanEagle	19500	24+	20	13,1	ABD
	Skylark	15000	2		5,5	İsrail
	DragonEye RQ-14A	1000	1		2,7	ABD
	Pointer 2 FQM-151A	985	1		4,3	ABD
	RoboCopter 300			294	500	Japonya
	Raven (RQ-11)	15000	1,5		1,9	ABD
	R-Max Type 2		1	30	58	Japonya
	Efe					Türkiye
	Bayraktar	12000	60dk.		3,5	Türkiye
	Aladin	14760	>1		<4	Almanya
Küçük	SUAS AECV Puma	100-500	2			ABD
	Hermes 900	15000	12-15	55	110	İsrail
	Scorpio 6/30	>6560	1		13	Fransa
	Luna	16400	6-8		<40	Almanya
	SilverFox	12000	>8	2,2	11,8	ABD
	Neptune	8000	4	92	613	ABD
	GoldenEye 80	15000	3	12	57	ABD
	Firebird	30000	40	14	90	ABD
Taktiksel	Sperwer	15000	>6	45	285	Fransa
	Watchkeeper	16000	17	150	450	İsrail/Fransa
	Hunter	20000	21	100	785	İsrail
	Aerostar	18000	<12	50	200	İsrail
	Falco	20000	14	70	420	Italy
	Shadow 200	15000	9	82	131	ABD
	Eagle Eye	20000	6	533	828	ABD
	Karayel	18000	10			Türkiye
	Çaldıran	30000	16	40	350	Türkiye
	Mücke	11500	3,5	35	130	Almanya
Operatif (MALE)	Heron Tp	45000	36	1000	3650	İsrail
	Predator	25000	40	204	567	ABD
	Darkstar	65000	12	1880	1980	ABD
	Grey Eagle (MQ-	25 000	40	1452	363	ABD
	Dominator	30000	28	410	790	İsrail
	ANKA	30000	24	200	1368	Türkiye
Stratejik (HALE)	Hermes 1500	33000	>26	350	1300	İsrail
	Global Hawk (RQ-4)	60000	28	1361	14630	ABD
	EuroHawk	65000	>30	1360		ABD/Almanya
	Predator (MQ-1)*	25000	24+	205	1021	ABD
	Reaper (MQ-9),	50000	24	1700	4763	ABD
	Pathfinder Plus	81000	15	67.5	247.5	ABD
	Global Observer	70000	2 hafta	454	4536	ABD
	Helios	100000	40	330	600	ABD
Saldırı	Mercator	70000	82	2.5	53	İngiltere
	Pegasus X-47A	40000+		472	1740	ABD
Rotorlu	Fire Scout (MQ-8)	20000	6+	273	1429	ABD
	Malazgirt	12000	90 dk.	2	12	Türkiye
	A160T Hummingbird	30000	20+	1850	1134	ABD

Kaynak: RUVSA, <http://en.ruvsa.com/catalog/category/uav/>, (20 Haziran 2014)

3.3. İHA'ların Kullanım Alanları

Savunma Sanayi Müsteşarlığı'nın 2011-2030 Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritasına göre İHA sistemlerini, insanlı uygulamalara göre, sıkıcı, kirli veya tehlikeli işleri yerine getirecek sistemler demek yerinde bir tanım olabilir. Bu tanıma göre; İHA'ların kullanım alanları, bir nokta üzerinde uzun süre görüntü alınması, herhangi bir haberleşme için veri aktarımı veya haberleşmenin bozulması için aynı yer üzerinde sürekli uçuş yaparak bozucu frekans yaymak, kirlilik veya kimyasal/biyolojik sızıntı, atık toksinlerinin ölçüm işi için veri toplanılması, ya da elverişsiz hava şartlarında düşman hava sahası üzerinde keşif uçuşları yapılması görevi gibi örneklendirilebilir. Bu genellemeler dışında, İHA'ların sivil ve askeri amaçlı çok geniş kullanım maksatları bulunmaktadır.

3.3.1. Sivil Kullanım Alanları

Sivil hava sahalarında İHA faaliyetlerine yönelik uçuşa elverişlilik sertifikasyon kurallarının henüz oluşmaması nedeniyle, askeri kullanımlara nazaran yok denecek kadar az olan sivil kullanımlar, yine ayrılmış hava sahaları ile sınırlıdır. İHA sistemlerinin sivil hava sahalarında kullanımı için ABD'de Access 5 adı altında çalışmalar yapıldığı, Avrupa'da ortak programlar kapsamında projeler yürütüldüğünden bahsedilmektedir. Sivil kullanım alanları; güvenlik ve kontrol, afet etkilerinin yönetimi ve tarımsal faaliyetler adı altında üç ana bölümde sınıflandırılmaktadır. (SSM, 2011, s.33)

- Güvenlik ve kontrol: Polisiye amaçlı yukarıdan gözetleme, hava durumu raporlama, havadan tarama, inşaat sektörü, şehir planlamaları, kaçak yapılanmaların tespiti, su ve ulaşım yollarının kontrolü, gaz ve petrol boru hatlarının güvenliği, balıkçılık sektörü,
- Afet etkilerinin yönetimi: Kurtarma ve afet sonrası temizlik işleri, afet hasar tahminleri,
- Tarımsal faaliyetler: Zirai ilaçlamalar, tarım alanları, erozyon ve orman yangınlarının kontrolü gibi konular sivil kullanım olarak sayılabilmektedir. Bu gruplamalar daha da çoğaltılabilir.

3.3.2. Askeri Kullanım Alanları

İHA 'larının askeri kullanım alanları, istihbarat, gözetleme ve keşif hareketi olarak kategorileşebilir. Düşman hava sahalarında gerçekleştirilen bu tarz görevlerde, insan hayatının tehlikeye atılmaması ve insan yapısının tahammül edemeyeceği kadar uzun süreli görevlerin yapılabilmesinin anlaşılması sonucu, İGK görevleri ile İHA neredeyse ayrılmaz bir bütün haline gelmiştir.(Akyürek,Yılmaz ve Taşkiran, 2012,s.4-7)

Temel olarak Keşif, Gözetleme Desteği, Taarruz, Elektronik Harp, Hedef Benzetimi ve Özel Görevler olmak üzere İHA'ların askeri kullanım alanları Tablo-2'de sunulmuştur.

Tablo-2 İHA'ların Askeri Kullanım Alanları				
Keşif Gözetleme Desteği	Taarruz	Elektronik Harp	Hedef Tanıma	Özel Görevler
-Taktik Saha KeşifGözetleme ,Stratejik Keşif / Gözetleme	-İç Güvenlik Harekatı -SAM İmhası -Hava Sahası Savunma	Sinyal istihbaratı Radar Elektronik Harp Muhabere Elektronik Harp Önleyici Elektronik Harp	Hedef Uçak Sahte Uçak	Haberleşme Desteği Mayın / Patlayıcı Tespit Kimyasal, Biyolojik, Radyoaktif, Nükleer Tespit Kentsel Harp Çoklu İHA Görevi - Kol uçuşu Deniz Karakol /Denizaltı Savunma Harbi Kargo Taşıma Arama-Kurtarma/Lojistik Hudut güvenliği (Kaçak- çılık,yasadışı geçişlerin engellenmesi v . b .)

Kaynak : Akyürek, Yılmaz ve Taşkiran, (2012), s.4-7

3.4. İHA'ların Sınıflandırılması

Dünya genelinde geçerli ve askeri faaliyetler için yapılan sınıflamada, menzil, uçuş yüksekliği, havada kalış süresi ve ağırlık dikkate alınarak İHA'lar, Taktik, Stratejik ve Özel Amaçlı olmak üzere üç ana sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma aşağıda Tablo-3'de sunulmuştur.

Tablo-3 İHA Sınıflandırması.					
SINIFLANDIRMA	KISALTMA	MENZİL km	İRTİFA m	UÇUŞ SÜRESİ, Saat	KALKIŞ kg
TAKTİK					
Nano	n	<1	100	<1	<0.025
Mikro	M	<10	250	1	5
Mini	mini	<10	150-300	<2	<30
Yakın Menzil	CR	10-30	3.000	2-4	150
Kısa Menzil	SR	30-70	3.000	3-6	200
Orta Menzil	MR	70-200	5.000	6-10	1.250
Orta Menzil Havada Kalma	MRE	>500	8.000	10-18	1.250
Alçak İrtifa Derin Sızma	LADP	>250	50-9.000	0,5-1	350
Alçak irtifa Uzun Süre Havada Kalma	LALE	>500	3.000	>24	<30
Orta irtifa Uzun Süre Havada Kalma	MALE	>500	14.000	24-48	1.500
STRATEJİK					
Yüksek İrtifa Uzun Süre Havada Kalış	HALE	>2.000	20.000	24-48	12.000
ÖZEL AMAÇLI					
İnsansız Muharebe Aracı	UCAV	1.500	10.000	2	10.000
Öldürücü	LETH	300	4.000	3-4	250
Yem	DEC	0-500	5.000	<4	250
Stratosferik	STRATO	>2.000	>20.000 >30.000	>48	
Stratosfer İlerisi	EXO		>30.000		
Uzay	SPACE				

Kaynak: Kurtuluş ve Tekinalp, 2010, s.12,

Ülkemizde geliştirilen ve üretimi yapılan İHA'lar, Tablo-3' de verilen sınıflandırmaya göre mini ve MALE sınıflarında yoğunlaşmaktadır. Günümüzde İHA sistemleri genel olarak, faydalı yük taşımak ve askeri kullanımlar için tasarlanmaktadır. Tasarım, gövde kapasiteleri, İHA'nın hangi amaçla kullanacağı, bu amaca ulaşmak için hangi faydalı yüklerin ne kadar süre ile taşınacağı, kullanılacak enerji kaynağının ne olacağı hususlarına göre belirlenmektedir. İHA sistemlerinin tasarımında temel mantık, faydalı yükün taşınması, toplanan verilerin en kısa ve doğru şekilde istenilen yere iletilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. (Kurtuluş ve Tekinalp,2010,s.11)

3.5. İnsansız Hava Araçlarının Bölümleri

Kategorilerine göre değişmekle birlikte, bir İHA sistemi temel olarak aşağıda belirtilen sistemlerden oluşmaktadır. (SSM, 2011, s.15)

- Hava aracı,
- Faydalı yük,
- Yer kontrol istasyonu,
- Yer veri terminali,
- Yer destek sistemi.

İşletme konseptlerine bağlı olarak bu sistemler şu alt sistemlerle de desteklenmektedir;

- Uzak görüntü terminalleri (komuta yeri izleme timi),
- SATCOM terminalleri,
- Görüntü istihbarat istasyonu.

İHA'larda kullanılan faydalı yükler;

- Elektro optik (FLIR dahil) sistemler (Gece/Gündüz),
- Lazer hedef işaretleyici ve mesafe bulucu,
- Elektronik harp faydalı yükleri,
- Hareketli hedef bulucu radarlar,
- Haberleşme ve röle faydalı yükleri,
- Kimyasal/nükleer kirlenmeleri algılayan yükler,
- Meteorolojik veri yükleri.

4. TÜRKİYE’DE İNSANSIZ HAVA ARACI PROJELERİ

Türkiye’nin İHA sistemlerini ilk kullanımları 1990’lı yıllarda başlamıştır. SSM, 1991 yılında açtığı uluslararası ihalede ABD’li General Atomics Aeronautical Systems Inc. ve İsraili AAI firmalarınca önerilen GNAT-750 ve Falcon 600 Taktik İHA’larını seçerek 6’şar uçaklık birer sistem siparişi vermiştir. Fakat Falcon 600 İHA’ları kabul testlerini geçemediğinden, AAI ile yapılan sözleşme iptal edilmiş, GNAT-750 tipi MALE İHA ise 1993 yılında gerçekleştirilen testlerde başarılı bulunarak aynı yıl firma ile antlaşma imzalanmıştır. 1 sistem ve 6 uçaktan oluşan sipariş kapsamında ilk uçaklar 1994 yılında TSK envanterine dahil edilmiştir. (Akyürek, Yılmaz ve M.Taşkıran, 2012 ,s.12-15)

Dünyadaki sayılı birkaç ülkeden birisi Türkiye GNAT-750-45 İHA ile birlikte bu kategoriye yükselmiştir. Fakat yurt dışı alımdan kaynaklanan sorunlar ilk günden kendini göstermiştir. Hava Kuvvetleri Komutanlığı envanterine insansız bir uçak almak istemediğinden, satın alınan uçaklar belli bir zaman sonra ortada kalmış ve daha sonra K.K.K.lığı envanterine alınmıştır. Türkiye böylelikle ABD’den sonra MALE kategorisinde gelişmiş İHA’ları kullanıma alan ikinci NATO ülkesi olmuştur. 1994 ve 1998 yıllarında envantere giren GNAT ve I-GNAT İHA’ları kaza kırımlar ve diğer problemler nedeniyle 2008 yılı itibarıyla operasyonel kullanımdan kaldırılmıştır.

Milli imkanlar dahilinde ilk İHA üretimi 1990’lı yılların başlarında TAI tarafından gerçekleştirilmiştir. İHA-X1 Şahit isimli bu İHA modelinin ilk prototipi 1992 yılında tamamlanmıştır. Aracın uçuş testleri Sivrihisar, Denizli ve Afyon’da yapılmasına rağmen seri üretimi gerçekleştirilmemiştir.

İHA’ların başta terörle mücadele olmak üzere istihbarat toplanmasındaki önemi yıllar geçtikçe kavranmaya başlanmış ve 1998 yılında SSM tarafından toplam 40 uçaktan oluşan 9 İHA (28 MALE ve 12 Stratejik(HALE) İHA) sisteminin ortak üretim modeliyle tedarik edilmesi için bir ihale açılmıştır. Satın alınan uçaklardan 16’sının Kara, 12’ser adedinin de Hava ve Deniz Kuvvetleri envanterine verilmesi öngörülmüştür. Ancak, üç firmadan teklif alınmasına karşın, terörle mücadelede belirli bir aşamaya gelinerek çatışmaların hafiflemesi üzerine projeye yeterli ödenek ayrılamamış ve ihale sürüncemede kalmıştır. SSM, 2001’de İHA ihalesini Türk İnsansız

Hava Aracı (TİHA) Programı adını vererek yenilemiş, bu kez yabancı imalatçıların yanı sıra, yurtiçi üretime aday yerli firmalardan da teklifleri istenmiştir. Aralık 2002’de alınan teklifler incelenerek Mart 2003’de kısa liste açıklanmış ve ancak yeni sanayileşme stratejisinin devreye girmesi sebebiyle Mayıs 2004’te İHA ihalesi bir kez daha iptal edilmiştir. Bu arada, Balkanlar’da ve Irak’ta İkinci Körfez Harekatında İHA’lar büyük başarılarla imza atıp bütün modern ordular İHA tedarik projelerini süratle hayata geçirirken; TSK, envanterinde kayda değer İHA bulunmayan sayılı NATO ülkelerinden birisi konumuna düşmüştür. (Akyürek, Yılmaz ve .Taşkiran, 2012,s.8)

İGK faaliyetlerindeki büyük başarısı ve bu başarının terörle mücadeledeki etkisi nedeniyle Türkiye’nin 2004 yılında İHA sistemleri ile ilgili yeni arayışlara girdiği görülmektedir. Bu tarihte bir yandan TAI projelerinin tohumları atılırken diğer yandan kısa vadede İHA ihtiyacını karşılamak üzere başlatılan temin projelerini yeniden canlandırmak üzere girişimlere başlanmıştır. Bu süreçte, ABD’li General Atomics’e ait Predator ile İsrailli IAI/ Elbit’in ürettiği Heron temindeki öncelikli modeller olarak belirlenmiştir. Müteakiben TSK’nın acil ihtiyaçlarının karşılanması maksadıyla, toplam 10 uçaklık 3 adet MALE İHA Sisteminin doğrudan alınması için Türk Havacılık ve Uzay San.A.Ş. (TUSAŞ) üzerinden ihaleye çıkılmıştır. Bu çerçevede daha önceki ihalede kısa listeye kalan General Atomics ve IUP’ten Ekim 2004’de alınan teklifler süratle değerlendirilerek, 19 Nisan 2005’te İsrailli IUP konsorsiyumuna TUSAŞ üzerinden 10 adet Heron İHA sipariş edilmiştir. (SSM, 2011, s.15)

2004 yılında SSM, TSK’nın MALE konfigürasyonundaki İHA ihtiyacını milli bir ürün üzerinden karşılamak maksadıyla başlatılan TİHA Geliştirme Programı altında 24 Aralık 2004 tarihinde Ana Yüklenici TAI ile 62 Milyon dolar değerinde bir sözleşme imzalamıştır. Daha sonra ANKA adını alacak projede ilk uçuşun 39’uncu ayda gerçekleştirilmesi ve projenin azami 51 ay içerisinde tamamlanması öngörülmüştür. 51 Ekim 2007 tarihinde revize edilen projenin bedeli önce 80.9 sonra 107 milyon dolara yükseltilmiştir. Halen test uçuşları başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. (Akyürek, Yılmaz ve Taşkiran, 2012,s.11)

2006 yılı itibariyle Türkiye, ihale süreçlerine girebilecek, farklı firmalar tarafından üretilen birden fazla yerli mini İHA modeline sahip olmuştur. 2006 yılı

itibariyle Türkiye’de geliştirilen başlıca mini İHA modelleri ve üretici firmalar şunlardır:

- Kale/Baykar - Bayraktar ve Malazgirt
- Vestel Savunma - Efe ve Arı
- ODTÜ - Güventürk
- Global Teknik – Globiha

Bu ürünlerden Bayraktar, Efe, Güventürk ve Globiha SSM’nca açılan Mini İHA ihalesinde yarışan İHA sistemleri olmuştur. Kara Kuvvetleri Komutanlığının mini İHA ihtiyacı kapsamında açılan bu yurtiçi ihalede ipi göğüsleyen taraf olan KaleKalıp/ Baykar Makine Ortak Girişimi ile SSM arasında 4 Ekim 2006 tarihinde 8.5 Milyon dolar değerinde bir sözleşme imzalanmış ve siparişi verilen 76 adet Bayraktar Mini İHA’nın teslimatı Ağustos 2008’de tamamlanmıştır. (SSM, 2011, s.15)

İHA’lar, birden fazla bileşenin uyumlu ve eşgüdümlü çalışmasını gerektiren sistemlerdir. Hava aracı platformu bu mimarinin odağındadır ancak sağlıklı çalışması için diğer unsurların tam ve etkin desteğine ihtiyaç duymaktadır.

Görev ve kullanım alanına göre İHA'larda çok farklı tiplerde faydalı yükler taşınabilir hale gelmiştir. 1970'li yıllarda silahlı kuvvetler hizmetine giren ilk İHA'larda sadece elektrooptik sensörler bulunurken günümüzde ayrıca çeşitli tiplerde radar, elektronik istihbarat (*ELINT; Electronic Intelligence*) ve sinyal istihbaratı (*SIGINT; Signals Intelligence*) donanımı, telsiz ve uydu muhabere (*SATCOM; Satellite Communications*) gibi farklı sistemler kullanılmaktadır. Kullanılabilecek faydalı yüklerin sayı ve çeşidindeki bu artış, ihtiyaca uygun görev sistemi seçimini, İHA tasarım ve üretim sürecinin en önemli aşaması haline getirmiştir.

SSM' nın 2011-2030 Türkiye İHA Sistemleri Yol Haritasına göre insansız sistemlerde Türkiye’nin vizyonu; özgün tasarım ve üretimlerin gerçekleşmesi, ulusal ihtiyaçların karşılanması ve küresel ölçekte rekabet edilmesi olarak belirlenmiştir.

5. MİLLİ ASKERİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDAN ÖRNEKLER

Türk Silahlı Kuvvetleri ihtiyaçlarıyla paralel olarak yurt içi firmaların, dünyada gelişmekte olan teknolojileri takip etmeleri ile İHA sistemlerine yönelik çeşitli AR-GE projeleri yürütülmeye başlanmıştır. Prototip bazında tasarlanan ve üretimlerine başlanılan bu çalışmalar, firmaların tasarım kabiliyetlerinde gözlenen artışla birlikte daha ileri seviyeli projelere yönelmiştir. Aşağıda milli imkanlarla üretilen İHA'lardan bazı örnekler anlatılmaktadır.

5.1. ANKA (Türk Havacılık ve Uzay San.A.Ş)

Terör örgütü ile mücadelede etkin bir kuvvet çarpanı olabileceği değerlendirilen İGK konseptindeki İHA'ların bir gereksinim olduğunun anlaşılması üzerine, Türkiye 24 Aralık 2004 tarihinde, Türk Silahlı Kuvvetlerinin orta irtifa uzun havada kalışlı bir İHA sistemi gereksinimleri karşılamaya yönelik olarak, SSM ile TUSAŞ arasında imzalanmış olan sözleşmeyle TİHA Programı başlamıştır. (TUSAŞ,<https://www.tai.com.tr/tr/proje/anka>.10 Haziran 2014)

ANKA 16 Temmuz 2010 tarihinde hangardan çıkmış ve basın ve ulusa tanıtımı yapılmıştır. 30 Aralık 2010 tarihinde ilk uçuşunu yapan ANKA 14 dakika havada kalmıştır. 6. test uçuşu 22 Kasım 2011 tarihinde yapılmış olup ve 6 saat havada kalmıştır. 18 bin fit yani 6 bin metre irtifada uçuş gerçekleştirmiştir. Hangardan çıktıktan sonra motoru da çalıştırılan ANKA, kendi kategorisinde dünyanın en iyi operatif sistemi olmayı hedeflemektedir. Şekil-1' de MALE sınıfı ANKA uçağı, teknik özellikleri ise Tablo-4' de sunulmuştur. 240 testin başarıyla tamamlandığı uçuş sırasında ilk defa Sivrihisar'a oto pilot sistemi ile inip kalkan ANKA, Türk Silahlı Kuvvetleri için seri üretime geçmesi çalışmaları devam etmektedir. Bir sonraki projede ise bu araca silah sistemleri eklenmesi kararlaştırılmıştır.

Orta İrtifa Uzun Havada Kalışlı , İHA Programı, bir geliştirme projesi olup; üç adet hava aracı prototipi ve tüm yer sistemlerinin belirlenmiş olan ihtiyaçlara göre tasarlanıp, geliştirilmesi ile prototip ve geliştirme testlerinin tamamlanmasını hedeflemektedir. Program, "Kavramsal Tasarım", "Ön Tasarım", "Detay Tasarım ve

Geliştirme" ile "Test ve Değerlendirme" safhalarından oluşmaktadır. Geliştirme safhası süresince, tüm sistem bileşenlerinin geliştirme/ara yüz/bütünleştirme çalışmalarının gerçekleştirileceği bir Sistem Entegrasyon Laboratuvarı kurulmuştur.

Oldukça kapsamlı bir sistem geliştirme/bütünleştirme projesi olan ANKA çerçevesinde yer alan tüm alt sistemlerin, yurt içi firmalar tarafından geliştirilmesi planlanmaktadır. Böylece, herhangi bir potansiyel İHA sisteminin, yurt içi imkanlarla geliştirilebilmesine yönelik, yurt içi kabiliyet merkezleri oluşturulması, program vizyonu oluşturmaktadır.

Gece ve gündüz, kötü hava şartları da dahil, keşif, gözetleme, sabit/hareketli hedef tespit, teşhis, tanımlama ve takip amaçlı, gerçek zamanlı görüntü ve istihbarat görevlerine yönelik geliştirilmekte olan ANKA Sistemi, söz konusu görevleri yerine getirmek amacıyla aşağıdaki faydalı yükleri taşımaktadır. (TAI, [https:// www. tai.com.tr /tr/proje/anka](https://www.tai.com.tr/tr/proje/anka), 24 Haziran 2014)

- Elektro Optik Gündüz Kamera (EO Day TV),
- Gündüz (EO-ElectroOptic) / Kızılötesi (IR-InfraRed) / Lazer Mesafe Bulucu (LRF-Laser Range Finder) & Lazer İşaretleyici (LD-Laser Designator) ve Spotter Faydalı Yüğü,
- SAR/MTI-ISAR Faydalı Yüğü

Arkadan itişli, piston-pervaneli tipli motor ile takılan platformda, gövde içi yakıt sistemi; kanat hücum kenarları, pervane ve diğer çeşitli ekipmanlarda buz önleme/giderme sistemleri; cihazların ısıtma/soğutma ihtiyaçlarına göre çevresel koşullandırma sistemleri gibi çeşitli alt sistemler yer almaktadır. (Uyar,<http://www.savunmasanayi.net>,20 Haziran 2014)



Şekil-1 MALE Sınıfı ANKA Uçağı

Kaynak: TAI, <https://www.tai.com.tr/tr/proje/anka>, (24 Haziran 2014)

Tablo-4 ANKA Uçağının Teknik Özellikleri	
Genel özellikler	
Gövde uzunluğu	8m
Kanat açıklığı:	17 m
Kanat alanı:	13.6 m ²
Kanat Açıklık Oranı	22
Kanat Ok Açısı (çeyrek veter):	0
Toplam Kalkış Ağırlığı:	1.500 kg
Yakıt ağırlığı:	250 kg
Yararlı Yük Ağırlığı:	200 kg
Motor:	1× Thielert Centurion 2.0 dört-silindirli, turbolu motor, 155 hp (114 kW)
Performans	
Azami hız:	217 km/s (117 <u>knot</u> , 135 <u>mph</u>)
Olağan Seyir Hızı:	> 75 knot
Servis irtifası:	30,000ft
Havada Kalış Süresi:	24 - 32 saat
Harekât yarıçapı:	200 km (124 mi)
Çevre şartları	15 kts yan rüzgar, 20 kts baş rüzgarı, sıcaklık, nem, yağmur ve buzlanma sınırları, MIL-HDBK-310 ile tanımlanmıştır.
Radar:	Aselsan Sar

Kaynak: TAI, <https://www.tai.com.tr/tr/proje/anka>, (24 Haziran 2014)

5.2. Baykar Makina A.Ş.

İstanbul'da yerleşik olan Baykar Makine A.Ş. İHA sektöründe Mini İHA, Taktik İHA ve Mini Helikopter İHA sistemlerinde faaliyet göstermektedir. Firmanın bugüne kadar özgün olarak gerçekleştirmiş olduğu projeler aşağıda yer almaktadır.

5.2.1. Bayraktar Mini İHA

Bayraktar Mini İHA Sistemi; özgün hava aracı, yer sistemleri, oto pilot sistem yazılımı, elektronik ve donanımı ile milli olarak geliştirilmiş, Türkiye'nin ilk mini robot hava aracı sistemidir. Bayraktar Mini İHA Şekil-2'de, Ekipmanları Şekil- 3', teknik özellikleri ise Tablo-5'de gösterilmiştir. Bayraktar Mini İHA yer kontrol istasyonu kullanıcı ara yüzü Şekil-4 ' de sunulmuştur.

Baykar Mini İHA sistemi uzun menzilli ve uzun süre havada kalabilen sistemler olmadığından dolayı karmaşık Yer Kontrol İstasyonuna gerek duyulmamıştır. YKİ, içinde büyük sistemler bulunan kapalı bir konteynır yerine diz üstü bilgisayar, yönlü anten sistemi ve kumanda kolu (joystick) panelinden oluşmaktadır. Diz üstü bilgisayar kullanılarak görev planlama, hava aracı kontrolü ve hava aracından alınan verilerin görüntülenmesi yapılmaktadır. (BAYKAR., [http://www.baykarmakina.com/tr-TR / category/10/sistemler/1/bayraktar-mini-İHA](http://www.baykarmakina.com/tr-TR/category/10/sistemler/1/bayraktar-mini-İHA), 20 Haziran 2014)



Şekil-2 Bayraktar Mini İHA

Kaynak: BAYKAR Makine A.Ş., [http://www.baykarmakina.com/ tr-TR/ category/10/sistemler/1/bayraktar-mini-İHA.aspx](http://www.baykarmakina.com/tr-TR/category/10/sistemler/1/bayraktar-mini-İHA.aspx), (20 Haziran 2014)



2 Eksen Gimbal Kamera



Portatif Yer Kontrol İstasyonu Sistemi



Otomatik Yönlendirilen
Anten Sistemi



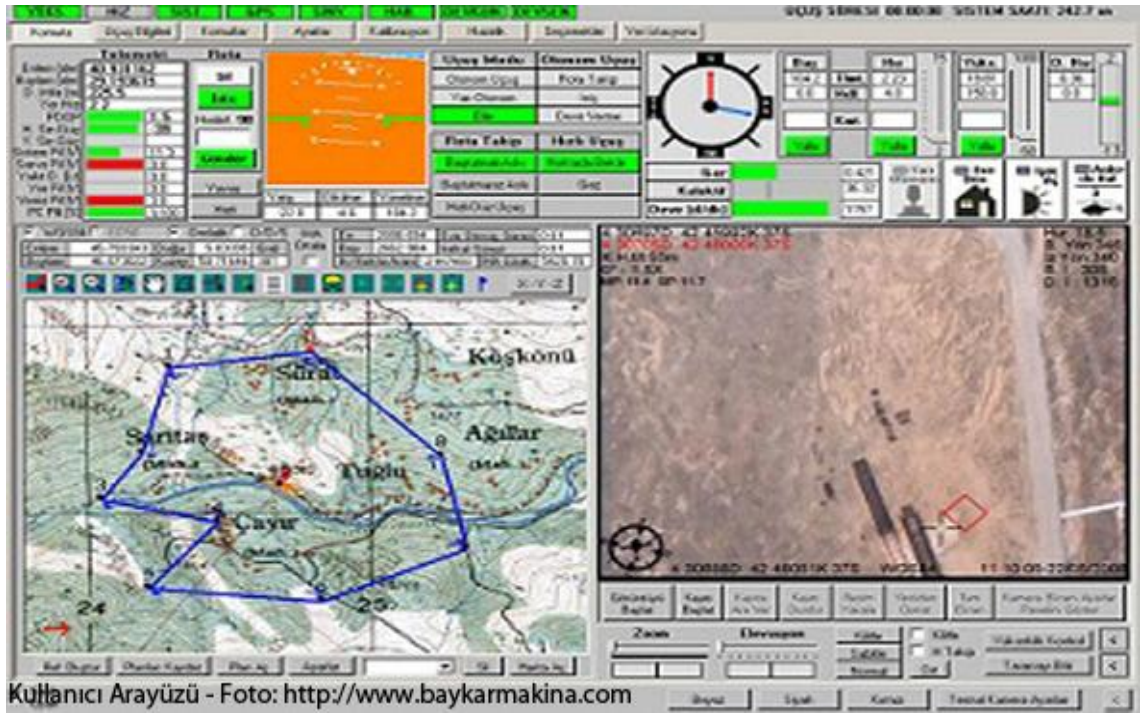
Portatif Taşıma Çantası



Mobil Şarj Ünitesi

Şekil- 3 Bayraktar Mini İHA Ekipmanları

Kaynak: Baykar Makine AŞ., <http://www.baykarmakina.com/tr-TR / category / 10/ sistemler / 1/ bayraktar-mini-ihha.aspx>, (24 Haziran 2014)



Şekil-4 Bayraktar Mini İHA Yer Kontrol İstasyonu Kullanıcı Ara Yüzü

Kaynak: Baykar Makina AŞ., <http://www.baykarmakina.com/tr>, (30 Mayıs 2014)

Tablo-5 Bayraktar Mini İHA Teknik Özellikleri		
Rotor Çapı:	1.8m	Gelişmiş Özellikler
Boy:	1.2m	Otomatik İniş
Menzil:	20 km	Otomatik Askıda Kalarak Uçuş Özelliği
Operasyonel İrtifa:	3,600 ft	Otomatik Hedef Noktası Takibi
İrtifa Tarafı:	12,000 ft	Otomatik Baş Tutmalı/Tutmasız Askıda Kalarak Uçuş
Uçuş Süresi.:	90 dk	Otomatik Hedef Noktası Takibi (INS/GPS Entegrasyonu, Çift Kalman Filtresi)
Kalkış Ağırlığı:	12 kg	Otopilot Destekli Manuel Uçuş

Kaynak: Baykar Makina AŞ., <http://www.baykarmakina.com/tr-TR/category/10/Sistemler/7/teknik-ozellikler.aspx> (24 Haziran 2014)

5.2.2. Malazgirt Döner Kanat Mini İHA

Malazgirt Mini İnsansız Helikopter Sistemi elektronik donanım, yazılımı, hava aracı tasarım ve imalatı ile tamamen milli olarak geliştirilmiş ve Dünya'da ilk olarak Türk Silahlı Kuvvetleri tarafından kullanılan mini robot helikopter sistemidir. Malazgirt sistemi yoğun bir Ar-Ge faaliyeti sonucunda geliştirilmiştir. Sistem ucuz maliyetli elektronik donanım mimarisi ve gelişmiş gömülü yazılım mimarisi yapısında oto pilot sistemine sahiptir. Oto pilot sistemi doğrusal olmayan modern kontrol tekniklerine dayalı olarak Hava Aracının güdüm ve stabilizasyonunu sağlamaktadır. Benzin Motorlu ve Elektrik Motorlu olmak üzere iki tip sistem halinde geliştirilmiştir. Dikey iniş ve kalkış kabiliyeti ile nokta iniş ve kalkışı yapabilen sistem en zor coğrafi şartlar altında dahi kullanılabilir. Malazgirt Döner Kanat Mini İHA Şekil-5'de, teknik özellikleri ise Tablo-6' da sunulmuştur. (BAYKAR Makine A.Ş., <http://www.baykarmakina.com/tr>, 23 Haziran 2014)



Şekil-5 Malazgirt Döner Kanat Mini İHA

Kaynak: BAYKAR Makine A.Ş., <http://www.baykarmakina.com.tr>, (15 Haziran 2014)

Tablo-6 Malazgirt Döner Kanat Mini İHA Teknik Özellikleri		
Uçuş Menzili:	55 Km	Gelişmiş Özellikler
Haberleşme Menzili:	15 Km	Otomatik Hedef Noktası Takibi
Seyir Hızı:	60 Km / Saat	Güvenilir Sayısal Haberleşme Sistemi
Operasyonel İrtifa:	1,000 Metre	Haberleşme Kaybı Durumunda Otomatik Eve Dönüş ve Otomatik İniş Özelliği
Azami İrtifa:	4,000 Metre	Çoklu İHA Komuta / Kontrol / İzleme Desteği
Uçuş Süresi:	60 - 80 Dakika	Akıllı Batarya Yönetim Sistemi
Güç Kaynağı:	Lityum Batarya	Uzaktan Komuta Kontrol ve İzleme Fonksiyonu(İstemci Sunucu Mimarisi)
Motor Tipi:	Fırçasız Elektrik Motoru	Yer Kontrol İstasyonu Değiştirebilme Özelliği
Kanat Açıklığı:	2 Metre	Otomatik Kalkış
Boy:	1.2 Metre	Otomatik Seyir
Kalkış:	Elden Atış (Otomatik Kalkış)	Otomatik Gövde Üzeri İniş / Otomatik Paraşüt İnişi
İniş:	Paraşüt / Gövde Üzeri (Otomatik)	Joystick Destekli Yarı Otomatik Uçuş
Çalışma Sıcaklığı:	-20 C ^o , +55 C ^o	Stall Hızı Kontrol Kabiliyeti
Veri Linki:	Frekans Atlamalı Yayılı Spektrum Telemetre Telekomut Veri Linki Video Verici / Alıcı Sistem	Sert ve Darbeli Rüzgarlı Havalarda Viril Kontrol Özelliği
Faydalı Yükler:	2 Eksen Termal Kamera Sistemi 2 Eksen Gündüz Kamerası Sistemi	

Kaynak: Baykar Makina AŞ., <http://www.baykarmakina.com/tr-TR / c a t e g o r y / 10/Sistemler/15/teknik-ozellikler.aspx>, (10 Haziran 2014)

5.2.3. Bayraktar Taktik İHA

Orta İrtifa ve Uzun Menzil (MALE) sınıfı İHA konseptine uygun olarak geliştirilen Taktik İnsansız Hava Aracı Sistemi Milli ve Özgün tam otomatik uçuş kontrol özellikleri (Taksi, Kalkış, Seyir, İniş ve Park) ve üç yedekli uçuş kontrol sistem mimarisi, özgün seyrüsefer ve sensör füzyonu uygulamaları ile dünya klasmanında en ileri teknolojik seviyede geliştirilmekte olan keşif ve gözetleme aracıdır.

Türk mühendisler tarafından milli imkanlar ve tasarımı ile üretilen Bayraktar Taktik İHA 2009 yılındaki tüm testlerden başarı ile çıkmıştır. Bayraktar Taktik İHA Şekil-6' da, Teknik Özellikleri ise Tablo-7' de verilmiştir.



Şekil-6 Bayraktar Taktik İHA

Kaynak: Baykar Makina AŞ., <http://www.baykarmakina.com/tr-TR/category/10/Sistemler/3/taktik-ih-sistemi.aspx>, (24 Haziran 2014)

Tablo-7 Bayraktar Taktik İHA Teknik Özellikleri		
Haberleşme Menzili:	> 200 km	Gelişmiş Özellikler
Seyir Hızı:	70 Knot	Tam Otomatik Seyir ve Rota Takibi Özelliği
Operasyonel İrtifa:	22,500 ft	Dahili Sensör Fizyonu Destekli Hassas Otomatik Kalkış ve İniş Özelliği
Uçuş Süresi:	> 20 saat	Tam otomatik taksi ve park özelliği
Kanat Açıklığı:	12 m	Yarı Otonom Uçuş Modları Desteği
Boy:	6.5 m	Hata Toleranslı ve 3 Yedekli Sensör Füzyonu Uygulaması
Kalkış ve İniş:	Pist (Otomatik)	Çapraz Yedekli YKİ Sistemi
Max Kalkış Ağırlığı:	600 kg	Özgün Yedekli Servo Aktüatör Birimleri
Faydalı Yük Taşıma Kapasitesi:	> 35 kg	Özgün Yedekli Lityum Tabanlı Batarya Birimleri
Yakıt Kapasitesi / Tipi:	300 Litre / Benzin	
İtke Tipi:	100 Hp İçten Yanmalı Enjeksiyonlu Motor	

Kaynak: Baykar Makina AŞ., <http://www.baykarmakina.com/tr-TR/category/10/Sistemler/3/taktik-ih-sistemi.aspx>, (24 Haziran 2014)

5.2.4. Karayel Taktik İHA

KARAYEL Sistemi havadan gözlem yapmak amacıyla, güncel ihtiyaçlara cevap verecek şekilde VESTEL tarafından tasarlanmış ve üretilmiş bir hava aracıdır. Sistemin kritik bileşenlerinden olan uçak ve aviyonikler tamamen VESTEL tarafından geliştirilmektedir. Karayel İHA Sistemi 2007 yılında geliştirilmiş ve 2009 yılında test uçuşlarına başlamış bir keşif ve gözetleme sistemidir. Üzerinde taşıdığı kamera sistemleri ile bir hedefi tespit etme ve üzerindeki işaretleyici sistemler ile lazer güdümlü mühimmata yol gösterebilme kabiliyetine sahiptir. İniş, kalkış ve görev ile ilgili tüm uçuş profilini otonom olarak gerçekleştirmektedir. Sistemde uçağın tamamı ve otopilot sisteminin tamamı başta olmak üzere bir çok alt birim VESTEL tarafından

tasarlanmakta ve üretilmektedir. Karayel Sistemi uçuş emniyeti açısından güvenilir bir sistem olarak geliştirilmiştir ve önümüzdeki yıllarda çıkacak havacılık düzenlemelerine uyumludur. Değiştirilebilir faydalı yükü ile askeri ve sivil uygulamalarda kullanılabilecektir. Taşıdığı kamera sistemi, uçuş süresi ve görev irtifası arttırılmış şekilde Kara Kuvvetleri Komutanlığı için geliştirilmektedir. Bayraktar Taktik İHA Şekil-7' de, Teknik Özellikleri ise Tablo-8' de verilmiştir. (Vestel Savunma Sanayi, http://www.vestelsavunma.com/?page_id=28, 31 Temmuz 2014)



Şekil-7 Karayel Taktik İHA

Kaynak: Vestel Savunma Sanayi, http://www.vestelsavunma.com/?page_id=28, (31 Temmuz 2014)

Tablo-8 Karayel Taktik İHA Teknik Özellikleri	
Motor	1×70 Hp Karşılıklı Silindir
Pervane	2 Palli, oynar hatveli, kompozit takviyeli ahşap
Kanat Açıklığı	10,5 m
Toplam Uzunluk	6,5 m
Pervane	1,45 m çap
Kalkış Ağırlığı	500 kg
Faydalı Yük	70 kg
Uçuş Hızı	60-80 knot
Havada Kalış Süresi	> 20 saat
Görev İrtifası	22.500 ft
Çalışma Prensibi	LOS
Link Menzili	> 150 km
Güç	2,5 kW
Seyrüsefer	Tam Otonom veya Manuel
Faydalı Yük	Renkli Gündüz Kamerası, IR Gece Kamerası , Lazer Mesafe Bulucu, Lazer İşaretleyici
Pist	Tam Otonom veya Manuel
Fırlatıcı	Tam Otonom veya Manuel
Pist	Tam Otonom
Fırlatıcı	Tam Otonom veya Yönlendirilebilir
Malzeme	Kompozit
Buz önleme/giderme	Buz giderme / ısıtma
Işıklandırma	Çarpışma önleyici ve Seyrüsefer
Yer Kontrol İstasyonu	Mobil Şeltir

Kaynak: Vestel Savunma Sanayi, http://www.vestelsavunma.com/?page_id=28,
(31 Temmuz 2014)

6. İHA'LARIN ASKERİ KULLANIM UYGULAMALARI

Riskli bölgelerde görev yapma imkan kabiliyeti aynı zamanda sürekli ve düşük operasyon maliyetleriyle keşif ve gözlem yapabilen ve hatta hedefleri tespit eder etmez onları imha edebilen silahlı İHA'lar, dünya silahlı kuvvetlerinin vazgeçilmezleri durumuna gelmiştir. Günümüzde sınır gözetleme, keşif hatta taarruz konseptleri, insansız hava araçlarının yaygınlaşmasıyla birlikte yeniden yazılmaya başlanmıştır.

İGK askeri terimi, askeri faaliyetlerin planlanmasında, gözetleme imkan kabiliyetine sahip unsurların bilgiyi elde etmesi, tanımlaması ve ilgili güvenlik birimlere aktarması aşamalarını içeren, günümüzün gözetleme kabiliyetini tanımlayan askeri bir kavramdır. İsrail'in bölgesel savaşlarında, ABD'nin Körfez Savaşı, Bosna Hersek, Irak ve Afganistan operasyonlarında başarıyla kullandığı İHA'lar dünya ordularının öncelikli ihtiyacı olduklarını kanıtladılar.

Asimetrik savaş 11 Eylül den sonra gündeme gelen bir kavram olmasıyla, zayıf olan askeri birliklerin daha güçlü olan askeri birliklere karşı yürüttüğü gayrinizami harp unsurlarını da barındıran savaş biçimidir. Genelde, taraflardan biri diğerinden daha zayıfsa, taraflardan birinin yeri belli değilse, taraflardan birine zayıf verdirilebilecek zayıf noktaları var ise ortaya çıkması mümkündür. (Katzman, <http://www.windsofchange.net/archives/002736.html>, 12 Ağustos 2014)

Bu yeni savaş aleti, zayıf olanın asimetrik savaş ile elde ettiği kazanımları ve pek çok artıyı da ortadan kaldırmasıyla, terörle mücadeleyi farklı boyutlara taşımıştır. Devamlı gözetlenebilen ve nokta atışları ile imha edilebilen tehdit unsurları için, avantaj sağlayan arazi yapısının, küçük gruplar halinde yapılanmanın ve gizliliğin yarattığı avantajın kaybolduğu görülmektedir. 1990'lı yılların ortasından itibaren, Küresel Konumlandırma Sisteminin (GPS) geliştirilerek uygulanması ile İHA'ların muharebe konseptinde getirdiği değişim ve yenilikler, bu sistemleri ordular için hem konvansiyonel muharebe hem de asimetrik savaşta vazgeçilmez hale getirmiştir. (Akyürek, Yılmaz ve Taşkıran, 2012, s.4-7)

Asimetrik savaş ve bu yeni savaş türünün ortaya çıkardığı, ulusal sınırları aşan devletsiz terörist yapılanmalar, ABD başta olmak üzere tüm hedef ülkeler için kontrolü

ve başa çıkılması çok daha zor bir tehdit niteliğindedir. Bu tehdit ortamında ABD'nin Afganistan'daki mücadelesinde İHA'ların birliklere sağladığı destek o kadar üst düzeye çıkmıştır ki; her an onlarcası havada aktif olan silahlı ve silahsız insansız hava aracının sağladığı bilgi ve operasyonel destek risk algısı zaten oldukça yüksek olan askerler için vazgeçilmez hale gelmiştir. Bu sebeptendir ki küçük birlik düzeyinde de olsa hiçbir askeri operasyon, bölge hakkında güncel tüm görüntü ve bu temeldeki bilgiler gelmeden ilgili komutan tarafından başlatılmamaktadır. Operasyonel ve taktik düzeydeki tüm komutanlar, İHA'ların eş zamanlı ve sürekli desteği olmadan birliklerini bir yere konuşlandırmayı reddetmektedir.(The U.S Air Force,2005,s.2)

Elle fırlatılabilen alçak irtifada ve kısa mesafede kullanılan mini İHA'ların üs ve birliklerin korunması, kuvvet koruma, İGK ve hedef tespitindeki önemli rolü bu araçları tugay ve daha küçük kara birlikleri düzeyinde vazgeçilmez hale getirmiştir. Bunun sonucunda terörle mücadelede ayrı bir yere sahip olmalarından dolayı bu silahlara olan bağımlılık da gün geçtikçe artmaktadır. Mini İHA sistemleri ABD birliklerince Irak ve Afganistan'da yoğun olarak kullanılmıştır. (Akyürek, Yılmaz ve Taşkıran, 2012, s.6-7)

Yollara ve yol kenarlarına gömülen veya tuzaklanan bombaların tespitindeki rolü nedeniyle Afganistan'da pek çok askerin hayatının korunduğu görülmektedir. Ayrıca hem Irak hem de Afganistan'da kara birliklerinin yer değiştirmesi ve askeri araç konvoylarının seyahatinin, kısmi de olsa İHA desteği şartına bağlı olarak yerine getirildiği görülmektedir.(Center for Security Studies, 2010, No:78)

İHA'ların Irak'taki kullanımı, Amerika'nın kayıplarının azaltılmasında önemli katkılar sağlamıştır. 2005 yılı itibariyle Irak'taki koalisyon güçlerinin en çok kayıp verdiği saldırı türü ev yapımı, bomba patlayıcılardan kaynaklanmaktaydı. İHA'larla başlatılan mücadelede keşif ve gözetleme faaliyeti ve toplanan istihbarat ile bu tarzdaki saldırı vakaları azaltılmış ve bu saldırılara dayalı kayıplarda % 85 oranında düşüş sağlanmıştır. İHA'ların desteğine ihtiyaç duyan birlikler ve askerlerin bu destek olmadığında en azından büyük psikolojik baskılar yaşaması kaçınılmaz olacak ve operasyonel etkinlikte de zafiyet yaşanacaktır. Ayrıca operasyon alanının bizzat İHA'larca sürekli gözetlenmesi ve tespit edilen düşman unsurlarının savaş uçakları ile

temizlenmesi bir görev bölgesinde kara birliklerinin emniyeti ve güvenliği açısından önem arz etmektedir. Bu kullanımlara ek olarak ABD'nin Arizona eyaletinde İHA'lar (İsrail yapımı Hermes'ler) kullanılmaktadır. ABD'nin iç güvenlik birimleri, gümrük ve sınır güvenliğini sağlamak adına Meksika sınırında İHA'lardan yararlanmaktadır. Sınır güvenliği anlamından Hindistan son dönemde Çin sınırının gözlenmesi adına insansız hava araçlarından yararlanmaktadır. (Hunter, 2012, s.61)

Silahsız İHA'lar gibi silahlı İHA'lar da uluslararası hukuk temelinde doğru kullanıldığında hiç şüphesiz kırsaldaki en etkili terörle mücadele aracıdır. Bu sistemler örgüt mensuplarının takibi ve etkisiz hale getirilmesi konusunda büyük avantajlar yaratmakla birlikte, örgütlerin lider kadrolarına ulaşmak ve onları etkisiz kılmak noktasında bu güne kadarki en etkili sistemdir. ABD ordusunun Pakistan, Afganistan ve Yemen'de El-Kaide ve Taliban liderlerini Silahlı İHA'larla takibi ve önemli bir kısmının bu silah sistemleri ile ortadan kaldırılması hem örgüt hem de lider kadrosunun direncini ve psikolojisini olumsuz etkilemiştir. (Hunter, 2012, s.61)

Türkiye, ABD'nin yakın ilişkide olduğu ülkelere silah satışı sırasında uyguladığı hükümetten hükümete bir askeri satış programı olan FMS (Yabancı Askeri Satışlar: Foreign Military Sales) kapsamında, envanterinde bulunmasını arzu ettiği Silahlı İHA ihtiyacını karşılamak üzere iki uçaklı bir adet MQ-1 Predator ve dört uçaklı bir adet RQ-9A Reaper sisteminin doğrudan tedarikine yönelik talep yazısını Şubat 2009 tarihinde Ankara'da bulunan, 1947 yılında Marshall yardımları ve Truman doktrini gereğince kurulan, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin hızlı modernizasyonu ve Türkiye'de ABD politikalarını geçerli kılmak için çalışan, ODC-T (ABD Savunma İşbirliği Ofisi; Office of Defence Cooperation-Turkey) aracılığıyla ABD'ye bildirmiştir. Ancak, ABD Parlamento'suna iletilen talep yazısına şimdiye kadar pozitif cevap gelmemekle birlikte başvuru tarihinden bu yana üç yıldan fazla zaman geçmesine karşın satış işlemi yapılmamıştır. (Akyürek, Yılmaz ve Taşkiran, 2012, s.4-7)

Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun dağlık yapısı nedeniyle geçiş güzergâhı olarak kullanılan boğaz, geçit, vadi vs. coğrafi alanların İHA'lar ile sürekli gözetlenmesi ve yaklaşan tehditlerin tespit edilmesi, birliklerin korunması anlamında yararlı bir metot olarak değerlendirilmektedir. Dağlık ve engebeli arazide bölge hâkimiyeti stratejisi

üzerinden teröristlere karşı yürütülen mücadelede, bölgeye üslenen birliklerin, ülke sınırının korunması ve bölgede dinamik şekilde operasyon odaklı faaliyet gösteren özel birlik ya da komando birimlerine anlık İGK sağlamasıyla etkili bir hareket imkan kabiliyeti veren, İHA'lar önemli görevler almaktadırlar.İHA'ların verimli olarak kullanılabilmesi etkin bir komuta-kontrol ağının olması ve elde edilen anlık İGK'nın hızlı bir şekilde analiz ve sentez edilmesiyle operasyonel olarak görev yapan birimlere emir olarak iletilmesine bağlıdır. Bu sebepten dolayı koordine İHA'ların kullanımında olmazsa olmaz kavram olarak karşımıza çıkmaktadır.(Taslı,2011,s.3)

Türkiye'nin Kuzey Irak sınırının güvenliğini sağlama zorunluluğu, gayri nizami harp yöntemleri ile terör eylemlerinde bulunan örgütün karadan keşfi zor ve riskli arazi ve dağlarda konuşlanmasından dolayı Türk Silahlı Kuvvetleri'nin etkin bir İGK yeteneğine sahip olmasını zorunlu ihtiyaç haline getirmektedir. Türkiye'nin bugün itibariyle terörle mücadele ve hudut güvenliğinde, belirli bölgelerde sınırlı İGK elde edebilen çoğunluğu mini İHA'lar kısmen kullanılmaktadır. 2012 yılında daha fazla öne çıkan yol mayınlama ve tuzaklama eylemleri ve askeri konvoyların güvenliği noktasında yaşanan zafiyetlerle birlikte dünyadaki örnekler ve uygulamalar düşünüldüğünde, İHA sistemlerine yeterli sayıda sahip olunmasının önemi daha da anlaşılmaktadır. Milli imkanlar ile Hava Kuvvetleri ihtiyacı için operatif ANKA, Kara Kuvvetleri ihtiyacı için ise Bayraktar ve Karayel taktik İHA modellerinin üretim ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Kale-Bayraktar TSK'ya 2014 yılı sonuna kadar, ilk aşamada 6 İHA, 2 YKİ, 3 yer veri terminali ve 2 kamera sistemi, ikinci aşamada ise 6 İHA olmak üzere toplamda 12 Bayraktar İHA teslim edecektir. Bu modellerin de TSK saflarına katılmasıyla terörle mücadele ve hudut güvenliği konusunda etkinliğin artacağı beklenmektedir. Ayrıca Emniyet Genel Müdürlüğünün ihtiyaçlarına yönelik olarak da yurt genelinde suç ve suçlularla daha etkin mücadele etmek için 7 Sistem 17 uçaklı Mini İHA ve 1 Sistem 2 Uçaklı Midi İnsansız Hava Aracı alımı yapılmış aktif olarak görevlerde kullanılmaya başlanmıştır.

7. TAMSAYILI PROGRAMLAMA

Doğrusal programlama modeli neredeyse her türlü işletme problemlerine çözüm bulmak için kullanılabilecek yapıda olmasına rağmen, uygulama ya işletmenin üretim şeklinden dolayı, ya da DP modelinin uygulandığı işletmenin yapısından dolayı istenilen sonuçları ortaya koymayabilir. Çünkü piyasada işletmeler her zaman girdi ve çıktılarının bölünmezlik sorunları ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Bölünmezlikleri ele alınan problemlerin çözümleri de tam sayı olmalıdır. Modellerin uygulanmasında, değişkenlerin tam sayı olması şartının incelenmesi ve araştırılması durumunda kullanılacak model Tamsayılı Doğrusal Programlama (TDP) modelidir. (Öztürk,2002,s.167)

TDP problemi, karar değişkenlerinin tamamının ya da bir kısmının tamsayılı değerler almaya zorlandığı bir doğrusal programlama problemi olup, genellikle çözümü doğrusal programlama problemlerine göre daha zordur. Doğrusal programlama (DP) problemlerinde "bölünebilirlik" varsayımı gereği, negatif olmama koşulu hariç karar değişkenlerinin değerleriyle ilgili herhangi bir sınırlandırma söz konusu değildir. Yani optimal çözümde karar değişkenlerinin değeri tamsayı ya da kesirli sayı olabilir. Oysa günlük hayatta karşılaşılan bir çok problemde, karar değişkenlerinin bir kısmının ya da tamamının tamsayılı değerler alması gerekir. Örneğin, bir beyaz eşya fabrikasının yıllık üretim planlaması ile ilgili matematiksel modeli oluştururken, karar değişkenlerinin alabileceği değerlerin, yani üretilecek beyaz eşyaların miktarının, kesirli değerler olması bir anlam ifade etmemektedir. (Winston,1994,s.478)

TDP modellerinin kullanım alanlarından bazıları; malzeme kullanımı, sabit maliyetlerin hesabı, yığın üretim sorunları, yap-yapma kararları, gezgin satıcı problemleri, işçileri makinelere atama problemleri, kritik yol problemleri vb. şeklinde sıralanabilir.

7.1. Tamsayılı Programlamaya Giriş:

Doğrusal Programlama modeli ile TDP arasındaki fark, Doğrusal Programlama modelinde karar değişkenlerinin sıfır ve sıfırdan büyük olma koşulu aranırken, TDP da

değişken değerlerinin sıfıra eşit ve sıfırdan büyük tam sayı almaları şartının istenmesidir.

Genel olarak Tam Sayılı Doğrusal Programlama problemi sembolik olarak şöyle gösterilebilir.(Yılmaz,1995.s.149)

$$Maks Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$Kısıtlayıcılar \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad i=1,2,\dots,m$$

$$x_j = 0,1,2,\dots \text{tam sayı} \quad (j=1,2,\dots,n)$$

Winston,(1994,s.478)'na göre karar değişkenlerinin tanımlanmasına göre tamsayılı programlama problemleri üç grupta değerlendirilir. Bunlar;

1. Tümü TDP,
2. Karma TDP,
3. 0-1 TDP,

Tüm karar değişkenlerinin tamsayı olma zorunluluğu olan problemlere tümü tamsayılı programlama problemi denir. Bu tip problemlerin modellenmesinde negatif olmama koşuluna ilave olarak tüm değişkenler için tamsayı olma koşulu ilave edilir.

Karar değişkenlerinden bazılarının tamsayı olma zorunluluğu olan problemlere ise karma tamsayılı programlama problemi denir. Bu tip problemlerin modellenmesinde tamsayı değer alma zorunluluğu olan değişkenler için negatif olmama koşuluna ilave olarak tamsayı olma koşulu ilave edilir. Diğer değişkenler için ise sadece negatif olmama koşulu kullanılır. Tamsayılı ve karma tamsayılı programlama, doğrusal programlamanın bir uzantısı niteliğindedirler. Matematiksel formülasyonları doğrusal programlamaya benzemekle birlikte, doğrusal programlamadan farklı olarak tamsayılı programlamanın tüm değişkenleri tamsayı iken; karma tamsayılı doğrusal

programlamada karar değişkenlerinin tamsayı olması zorunluluğu yoktur. (Ulucan, 2004; s.211)

Yapılan bazı tanımlarda TDP, “doğrusal programlama problemlerine en uygun tamsayı çözümünü bulmak için geliştirilen doğrusal programlamanın özel bir uzantısı”, bir başka tanımda; “değişkenlerinin bir kısmının veya tamamının tamsayı değerler aldığı, genel doğrusal programlama modelinden elde edilen optimizasyon problemlerinin bir sınıfı” olarak ifade edilmektedir. (Ergülen ve diğerleri, 2005; 163-172)

Herhangi bir faaliyet için sadece iki karar alternatifinin bulunduğu ve bunlardan birisine karar verilmesi gerektiği durumlarda 0–1 tamsayılı programlama modeli kullanılır. Örneğin, bir makinenin satın alınması ya da alınmaması veya herhangi bir bölgeye fabrika kurulup kurulmaması gibi 0–1 tamsayılı programlama modelinde karar değişkenleri ya “0” ya da “1” değerini alabilir ve bu değişkenler 0–1 değişken olarak adlandırılır. 0–1 tamsayılı programlama modelindeki değişkenler 0 veya 1 değerini aldığına göre, bu modeldeki karar değişkenleri için negatif olmama koşulunun kullanılmasına gerek yoktur. (Winston,1994,s.478)

Bir tamsayılı programlama modelinde değişkenler üzerindeki bütün 0–1 ve/veya tamsayı olma koşullarını göz ardı ederek elde edilen modele gevşetilmiş tamsayılı programlama modeli adı verilir. Gevşetilmiş tamsayılı programlama modeli (değişkenler üzerindeki bütün 0–1 ve/veya tamsayı olma koşulları kaldırıldığı için) tamsayılı programlama modeline göre daha az sınırlandırılmıştır.

Uygun çözüm bölgesinde bulunan tamsayı çözümlerin sonlu sayıda olacağı gerekçesi ile tamsayılı programlama probleminin çözümü, tam sayımlama metodu ile bulunabilir. Bu metodun en büyük dezavantajı, uygun çözüm bölgesi içerisindeki tamsayı noktaların çok fazla olduğu durumlarda, çözüm süresinin çok uzun olmasıdır.

Gevşetilmiş tamsayılı programlama problemini bilinen bir metot ile (örneğin simpleks metodu ile) çözdükten sonra, karar değişkenlerinin değerlerinin tamsayı değerlere yuvarlatılması, tamsayılı programlama problemlerinin çözümünde önerilen metotlardan bir diğerini oluşturmaktadır. Ancak yuvarlatma yaklaşımının her zaman

uygun çözümler üretemeyeceği hatırlanmalıdır. Tamsayılı programlama modellerinin çözümünde en sık kullanılan metot dal ve sınır metodudur.

7.2 Tamsayılı Programlama Problemleri

Belirli bir miktar para, işgücü, enerji, mekan ve benzeri kaynakların, bir dönem veya belirli sayıda dönemler için; hisse senedi, tahvil, yatırım, araştırma–geliştirme tekliflerinin ya da belirli projelerin değerlendirilmesi ve seçimi gibi benzeri faaliyetlere paylaştırılmasına ilişkin karar problemleri, genel olarak sermaye bütçeleme problemi olarak adlandırılır. (Winston,1994,s.481)

Herhangi bir faaliyeti gerçekleştirebilmek için, bu faaliyetin seviyesine bağlı olmaksızın bir maliyete katlanılmasını gerektiren problemlere sabit maliyet problemi denir. Ayrıca herhangi bir bölgeye şube, işyeri, depo açıp açmamaya karar verilmesini gerektiren yerleşim problemleri de, inşaat, tefrişat gibi sabit maliyetler gerektirdiğinden, sabit maliyet problemi olarak değerlendirilir.

Verilen bir kümenin her elemanı başka bir kümenin kabul edilebilir bir elemanı tarafından kaplanıyor ise, bu tarz problemlere küme kaplama problemi denir. ReVelle, Justin ve Boland (2002, s.101-118) kesikli yer seçimi problemleri için 5 çeşit (0/1) tamsayılı programlama problemini ele almışlar ve uygulama yaptıkları bölgede bu modelleri birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Uygulamalarda tam ve sezgisel çözüm teknikleri tartışılmış, çok amaçlılık ve ekonomik faktörler de dikkate alınmıştır. Dreznar ve Wesolowsky (1995,s. 735-746) kentsel alanda tek yönlü yollardan veya caddelerden oluşan düzgün bir grid ağı üzerinde iki temel yer seçimi problemi olan “Weber” ve “Minimaks” problem tekniklerini kullanarak hizmet merkezlerinin yerleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu ikilinin yaptığı çalışmada hem hizmet merkezlerinin hem de talep noktalarının birbirlerine atanmaları kısıtlıdır.Yer seçimi problemleri Densham ve Rushton (1992, s.307-329) tarafından Coğrafi Bilgi Sistemlerine uygulanmıştır. Neebe (1988, s.743-748) çalışmasında bütün potansiyel hizmet merkezleri için geçiş modeli oluşturmuş, hizmet merkezlerinin tamamının içinde olduğu küçük bir en uzak mesafe değerinden başlayarak model geliştirmiş, daha sonra en uzak mesafe değerini tek hizmet merkezi yeterli oluncaya kadar arttırmıştır.

7.3. Tamsayı Programlamada Kullanılan Özel Kısıtlar

Bu bölümde tamsayı programlama modellerinin nasıl oluşturulacağı incelenecektir. Bir karar modelinde problemin yapısı gereği seçenekler arası zorunlu ilişkiler söz konusu olabilir. Bu durumlarda, her bir tutum veya zorunlu ilişki karşılığı modele özel kısıtların yazılması gerekir. Aşağıda bu durumlar genel ifadeleri ile açıklanmıştır. (Winston,1994,s.490)

7.3.1. "Ya – Ya da" Şeklindeki Kısıtlar

Matematik programlama problemlerinde aşağıdaki durumla çok sık karşılaşılır. İki kısıt aşağıdaki şekilde verilmiş olsun,

$$(1) \quad f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$$

$$(2) \quad g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$$

(1) ve (2) numaralı kısıtlardan en az bir tanesinin sağlanması "ya–ya da" şeklinde kısıtlar olarak adlandırılır. Formülasyona (3) ve (4) şeklinde iki kısıtın ilave edilmesi (1) ve (2) numaralı kısıtların en azından birinin sağlanmasını temin eder.

$$(3) \quad f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq My$$

$$(4) \quad g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq M(1-y)$$

(3) ve (4) numaralı kısıtlarda; y bir 0–1 değişkeni, M ise modeldeki diğer kısıtlara göre elde edilen tüm $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenlerinin değerini $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq M$ ve $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq M$ kısıtlarında sağlayacak kadar büyük bir sayıyı temsil eder.

(3) ve (4) numaralı kısıtları beraber değerlendirildiğinde, $y=0$ ve $y=1$ değerine bağlı olarak, (1) ve (2) numaralı kısıtlardan sadece bir tanesinin sağlanacağını gösterelim. Eğer $y=0$ olursa, (3) ve (4) numaralı kısıtlar $f \leq 0$ ve $g \leq M$ olur. Bu durumda yani $y=0$ olması durumunda, (1) numaralı kısıt (ve muhtemelen (2) numaralı kısıt) sağlanır. Benzer şekilde eğer $y=1$ olursa, (3) ve (4) numaralı kısıtlar $f \leq M$ ve $g \leq 0$ olur ve bu durumda (2) numaralı kısıt (ve muhtemelen (1) numaralı kısıt) sağlanır. “Ya–ya da” şeklindeki kısıtların çalışması aşağıdaki örnekte açıklanmıştır.

7.3.2. m Adet Kısıttan k Adetinin Etkili Olması

Yukarıdaki bölümde iki adet kısıttan bir tanesinin nasıl sağlanacağı anlatıldı. Eğer kurulan modelde aşağıdaki gibi m adet kısıt olsaydı ve bunlardan sadece k adetinin sağlanması istenseydi, bu durum modele nasıl yansıtılırdı? (Binay ve diğerleri, 2001,s.214)

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_1$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_2$$

.

$$f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_m$$

Bu m adet kısıttan k adetinin geçerli olmasını sağlamak için ($k < m$ olma şartı ile); y_i 0–1 değişken ve M çok büyük pozitif sayı olmak üzere modelde aşağıdaki değişiklikleri yapmak gerekir.

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_1 + My_1$$

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_2 + My_2$$

.

$$f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq d_m + My_m$$

ve

$$\sum_{i=1}^m y_i = m - k$$

Bu yapı dikkatlice incelendiğinde “ya–ya da” kısıt yapısının genelleştirilmiş hali olduğu görülür. Yukarıdaki yapıda $m=2$ ve $k=1$ alınırsa “ya–ya da” kısıt tipi elde edilir.

7.3.3. Eğer– Öyleyse" Şeklindeki Kısıtlar

Birçok uygulamada şu durumla karşılaşılr. Eğer $f(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0$ kısıtı sağlanırsa o zaman $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ kısıtınında sağlandığından emin olmak istenir. Aynı zamanda, eğer $f(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0$ sağlanmamışsa o zaman $g(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0$ sağlanabilir veya sağlanmayabilir. Bu durumu sağlayabilmek için modele aşağıdaki kısıtlar eklenmelidir.

$$(1) \quad -g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq My$$

$$(2) \quad f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq M(1-y)$$

$$y=0 \text{ veya } 1$$

M çok büyük ve pozitif bir sayıyı (modeldeki diğer kısıtlara göre elde edilen tüm $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenlerinin değerini $f \leq M$ ve $-g \leq M$ kısıtlarında sağlayacak kadar büyük bir sayıyı) temsil etmektedir. Eğer $f > 0$ ise, (2) numaralı kısıt sadece $y=0$ olduğuında sağlanabilir. Bu durumda (1) numaralı kısıt $-g \leq 0$ veya $g \geq 0$ olur. Böylece (1) numaralı kısıt sağlandığında (2) numaralı kısıt da sağlanmış olur. Eğer $f > 0$ değil ise, (2) numaralı kısıtta $y=0$ veya $y=1$ değerini alabilir. Eğer $y=1$ değerini alırsa (1) numaralı kısıt sağlanır. Böylece, eğer $f > 0$ değil ise $x_1, x_2, \dots, x_n$ karar değeriklerinin değerleri sınırlandırılmamış olur ve aynı zamanda $g < 0$ veya $g \geq 0$ olabilir.

7.3.4. Bir Kısıtın N Adet Farklı Değer Alması

Aşağıdaki gösterim, bir kısıtın sağ taraf değerinin alabileceği N farklı değerini ifade etmektedir.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_1, \text{ veya } b_2, \dots, \text{veya } b_N$$

Sağ taraf değerlerinden sadece bir tanesinin kullanılması durumu, modele eklenecek aşağıdaki kısıtlar ile sağlanabilir.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^N b_i y_i$$

$$\sum_{i=1}^N y_i = 1$$

$$y_i = 0 \text{ veya } 1 (i=1, 2, \dots, N)$$

7.3.5. 0–1 Değişkenlerle İlgili Durumlar

0–1 değişkenlerin kullanımıyla ilgili durumlar aşağıda verilmiştir. (Binay ve diğerleri,2001,s.218)

1. m adet kısıttan k adedinin geçerli olması (her kısıtın sağ taraf değerine My_i ilave edildikten sonra);

$$\sum_{i=1}^m y_i = m - k$$

2. n adet değişkenden tam k adedinin geçerli olması;

$$\sum_{j=1}^n x_j = k$$

3. n adet değişkenden en fazla k adedinin geçerli olması;

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq k$$

4. n adet değişkenden en fazla k adedinden vazgeçilecek olması;

$$\sum_{j=1}^n x_j \geq n - k$$

5. j nci değişkenin seçilmesinin i nci değişkene bağlı olması;

$$x_i \geq x_j$$

6. j nci ve i nci değişkenlerin birlikte seçilmesi veya reddi;

$$x_j = x_i$$

7.4. Tamsayı Programlamada Çözüm Yaklaşımları

Tamsayı programlama modelini çözmek için, DP modelinin çözümünde olduğu gibi genel bir teknik yoktur. Belirli bir tür problemten hareketle geliştirilen bir dizi çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu nedenle, bunların birinin diğerine üstünlüğü problemin yapısına göre değişmektedir. Geliştirilen yaklaşımlar aşağıda verilen ana başlıklar altında toplanabilir. (Binay ve diğerleri,2001,s.219)

7.4.1. Grafiksel Çözüm Yöntemi:

DP problemlerinden de bilindiği gibi grafik çözüm yöntemi en fazla üç değişken ile ilgilenildiği durumda kullanılabilen bir yöntemdir. Ancak yaygın olarak iki değişken olması durumunda kullanılmaktadır. DP problemlerinde olduğu gibi kısıtlayıcı denklemler yardımıyla belirlenen uygun çözüm alanı içerisindeki tamsayılardan oluşan değerler, TDP problemi için çözüm değerlerini oluştururlar. Bunlar içerisinde en uygun nokta, deneme yanılma yöntemi ile bulunur.

7.4.2. Gomory'nin Kesme Düzlemi Yöntemi:

DP problemlerinin tamsayılı çözümlerini sağlayacak hesaplama yöntemi 1959 yılında R.E. Gomory tarafından geliştirilmiştir. Gomory'nin geliştirdiği hesaplama yöntemine tamsayılı algoritma veya kesme düzlemi yöntemi adı verilmiştir. Bu yöntem tüm(saf) tamsayı programlamayı ve karışık tamsayı programlamayı içermektedir. Bu yöntemde takip edilecek aşamalar şunlardır:

i. Bir TDP probleminde ilk aşama, eğer gerekli ise, orijinal sınırlamaları tamsayılaştırmadır. Bu katsayılar tam olsun diye, tüm sınırların değiştirilmesi anlamına gelir.

ii. DP probleminin optimal çözüm tablosu bulunur. Eğer optimal çözüm değerleri tamsayı ise, TDP problemi için çözüm elde edilmiştir. Yoksa sonraki aşamaya geçilir.

iii. Bu aşamada kesme bulunur. Bu amaçla optimal çözüm tablosundan tamsayı olmayan değişkenlerin biri seçilir ve yeni bir kısıtlama elde edilir.

İki değişkenli problemlerde Gomory kısıtlamasının özellikleri şunlardır. (Aslan,1978,s.29)

- Elde edilen bu kısıtlamalar bir önceki uygun alandan genellikle konveks bir alan keserler.
- Kesme düzeyi uygun olmasa bile en az bir kafes noktasından geçer.
- Her kesim, bütün uygun kafes noktalarını kapsayacak daha küçük bir alana yaklaşır.

iv. Eşitlik sınırlaması (Gomory'nin kesme düzlemi) optimal çözüm tablosuna yeni bir sıra olarak eklenir. Eklenen sınırlamadaki katsayılar tüm tamsayıyı verecek şekildedir. Daha sonra yönteme DP çözüm yöntemleri uygulanarak optimal çözüm tablosu bulunur. DP probleminin optimal çözüm tablosu bulunur.

7.4.3. Dal Sınır Yöntemi:

TDP problemlerinin değişkenlerinin bir kısmı veya hepsi bazen üst veya alt sınırla veya hem alt hem de üst sınırla ayrı ayrı şartlanmaktadır. Bu tipteki optimizasyon problemlerinin çözümü için çok genel bir yaklaşım dal-sınır tekniğidir. Bu yöntem. Land ve Doig tarafından geliştirilmiştir. (Halaç,1995,s.476)

Bu yöntem ile minimizasyon tipli bir problem çözülürken temel mantık şöyledir.

i. Tam sayılı programlama uygun çözüm alanı çok sayıda alt setlere ayrılır. Her bir alt set için sınır değeri hesaplanır. Alt ve üst sınırlardan, her bir alt set içinde çözüm değeri seçilir.

ii. Bir alt sınır (ilk alt setler arasından en küçüğü) ile alt set diğer bölümler için seçilir. Daha önce olduğu gibi alt ve üst sınırların her ikisi de hesaplanır. Bölünmeye optimal çözüm bulunana kadar devam edilir. Optimal çözüm herhangi bir alt set için alt sınırdan daha büyük olamaz.

Problem maksimizasyon tipli ise, çözüm yöntemi alt ve üst sınır seçimi dışında minimizasyon tipli problem gibidir.

7.4.4. Tam Sayı Olmayan Çözümün Yuvarlanması Yöntemi:

Bu yöntemde en iyi DP çözümünde değişkenlerin kesirli değerlerini bir yukarı veya bir aşağı tam sayıya yuvarlamak suretiyle tam sayılı çözüm elde edilir. Yuvarlama yöntemi ile iyi bir tam sayılı çözüm bulunabilir. Ancak bunun en iyi tam sayılı çözüm olduğunun garantisi yoktur. Bu yöntem TDP problemi çözümünde elverişli bir yöntemdir. Elverişliliği, zaman ve masraftan tasarruf nedeni ile ortaya çıkar. Sakıncası ise ulaşılan sonucun optimal tam sayı çözümünden farklı olabilmesi ve bazen de uygun çözüm olmama durumunun ortaya çıkmasıdır. (Özgüven,2003.s.196-197)

7.4.5. Sayımlama:

Tamsayılı programlama problemlerinin çözümünde kullanılabilecek yaklaşımlardan biri de karar değişkenlerinin bütün uygun tamsayı kombinasyonlarının değerlendirildiği sayımlama metodudur. Özellikle küçük boyutlu problemlerin çözümünde tercih edilen bu metod, problemin boyutları büyüdükçe etkinliğini kaybetmektedir.

7.4.6.Sezgisel algoritmalar:

Optimal çözümü garanti etmemesine rağmen, kısa sürede iyi çözümler üreten algoritmalarlardır. Genel yapıları ise hem başka bir optimizasyon algoritmasına girdi olarak iyi bir başlangıç çözüm üretilmesi hem de optimal olabilecek bir son çözüm bulunması, şeklinde kısaca özetlenebilir. Sezgisel algoritmalar, özellikle büyük boyutlu problemler için kısa bir süre içerisinde çözüm bulunmasının gerekli olduğu durumlarda tercih edilir.

7.4.7. Hibrid algoritmalar :

Sırt çantası, ulaştırma, tesis yerleşimi, gezgin satıcı ve küme kaplama gibi özel bir yapıyı bünyesinde bulunduran problemler için geliştirilmiş algoritmalarlardır. Ayrıca şebeke algoritmalarında özel yapıya sahip olup büyük boyutlu problemlerin çözümünde oldukça etkili çözümler bulunmasına olanak vermektedir.

7.4.8. Ayrışımli algoritmalar :

0–1 tamsayıli doğrusal programlama modeli için önerilen çözüm yaklaşımları genelde üç adımdan oluşur;

1. Adım 1: Karar değişkenleri $0 \leq y \leq 1$ arasında sürekli değer alacak şekilde gevşetilir. Elde edilen model doğrusal programlama modeli olacaktır.
2. Adım 2 : Gevşetilmiş modelin optimal çözümü bulunarak değişkenlerin değerleri belirlenir.
3. Adım 3 : Bulunan optimal çözümden başlayarak, ardışık iterasyonlarla modele yeni kısıtlar eklenerek uygun çözüm bölgesi sürekli değiştirilir ve böylece tamsayı olma koşulunu sağlayan optimal nokta bulunur.

Üçüncü adımda belirtilen yeni kısıt eklenmesi prensibini kullanan iki genel metot, dal ve sınır algoritması ile kesme düzlemi algoritmasıdır. 0–1 tamsayıli doğrusal programlama modeli için önerilen bir diğer çözüm yaklaşımı da “Toplamli Algoritma”dır.

8. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ

Tesis yeri seçim problemi günlük yaşamda sık karşılaşılan eniyileme problemlerindendir. Hem kamu kuruluşu hem de özel sektör kuruluşları olsun neredeyse tüm organizasyonlar bu problem ile karşı karşıya kalmaktadır. Kamu kurumları vatandaşla hizmet verecekleri hizmet noktalarını (okullar, hastaneler, acil servis binaları vb.) en iyi konumlara yerleştirmeye çalışırken, özel sektör ise üretim merkezleri, satış noktaları ve depoların yerleri ile ilgili kritik kararlar vermek durumunda kalmaktadır.

Genel olarak tesis yeri seçim problemleri n adet tesisin m adet konuma ($n < m$) taşıma maliyetlerinin minimize edilecek şekilde yerleştirilmesi konusu ile ilgilenmektedir. Tanımı biraz daha açacak olursak; bir grup hizmet veren tesisin bazı kısıtlar göz önünde bulundurularak, müşterilerin (talep noktası) taleplerinin karşılanması maliyetlerini minimum düzeye indirecek şekilde uygun konumlara yerleştirilmesini ve her bir müşterinin hizmet veren tesislere atanmasını kapsayan problemlerdir. Tesis yeri seçim problemi mutlaka coğrafik olarak farklı yerlerde olan tesislerin yerleştirilmesi olarak düşünülmemelidir. Bu konuda geliştirilen bir model fabrika içindeki tezgah ya da departmanların yerleşimi için de rahatlıkla uygulanabilir. (Tavakkoli ve Shayan, 1998,s.527-530)

Tesis yeri seçimi konusunda literatürdeki ilk çalışma yirminci yüzyıl başlarında Alfred Weber tarafından yapılmıştır. Weber çalışmada üç talep noktasından birisini minimum taşıma maliyeti oluşacak şekilde diğer iki tesise hizmet veren tesis olarak belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla talep noktaları ile hizmet noktası arasındaki toplam mesafeyi minimize etmek için bir model ortaya koymuştur.

Hakimi tarafından 1964 yılında yapılan çalışmada telekominikasyon şebekesi üzerindeki ağ bağlantı noktalarının ve otoyol üzerindeki polis noktalarının en uygun yerlerinin belirlenmesi için bir model önerilmiştir. Bu çalışmadan sonra birden fazla tesisin şebeke üzerinde yerleştirilmesi problemi üzerinde yoğun olarak çalışılmaya başlanmıştır.

Tesis yeri seçim problemleri kendine has bazı özelliklerinden dolayı analitik yöntemler kullanılarak çözülmesi zor problemler olarak kabul edilmektedir. Bu tip

problemler, çözüm için harcanan sürenin problemin boyutu ile ilişkili olarak üssel bir şekilde arttığı problemlerdir. NP-Zor olarak isimlendirilen bu yapıdaki problemler, problem boyutunun polinom fonksiyonu ile sınırlı olan hesaplama süresi içinde çözülememektedir.

8.1. Tesis yeri seçim Problem Tipleri

Tesis yeri seçim problemlerinin literatürde farklı açılardan birçok sınıflandırmaya tabi tutulduğu görülmektedir. Daskin(1995,s.10-18) tarafından yapılan geniş bir sınıflandırma aşağıda verilmiştir.

1. Düzlem (sürekli), ağ veya ayrık yapıda olmasına göre
2. Ağaç problemi ya da genel grafik yapısında olmasına göre
3. Mesafe ölçüsüne göre
4. Yerleştirilecek tesis sayısına göre (çoklu veya tekli)
5. Statik ya da dinamik yerleşim modelleri olmasına göre
6. Deterministik ya da probalistik olmasına göre
7. Tek ya da çoklu ürün modeli olmasına göre
8. Özel sektör veya kamu sektörü problemleri olmasına göre
9. Tek amaçlı ya da çok amaçlı olmasına göre
10. Esnek ya da esnek olmayan talep durumuna göre
11. Kapasite kısıtlı ya da kapasite kısıtsız olmasına göre
12. Talebin en yakın tesisten ya da dağıtılarak karşılanmasına göre
13. Hiyerarşik ya da tek aşamalı olmasına göre
14. İstenen veya istenmeyen tesisler olmasına göre

Sule (2001,s.22) tarafından tesis yeri seçim problemi p -medyan problemi, p -merkez problemi, kapasite kısıtsız tesis yeri seçim problemi, kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemi, karesel atama problemi olmak üzere temel beş kategoriye ayrılmıştır.

Diğer önemli bir sınıflandırma ise tekli tesis yeri seçim ve çoklu tesis yeri seçim olarak yapılmaktadır. Tekli tesis yeri seçim probleminde tek bir hizmet veren tesisin yerinin belirlenmesi söz konusu iken, çoklu tesis yeri seçim probleminde birden fazla hizmet veren tesisin yerlerinin seçilmesi ve bu tesislerden hizmet alacak olan talep noktalarının minimum maliyet oluşacak şekilde belirlenmesi söz konusu olmaktadır (Küçükdeniz, 2009: s.13)

8.1.1. P-Medyan Problemleri

Yer seçiminin etkinliğini ölçmenin önemli bir yolu, müşteri ile hizmet merkezi arasındaki ortalama mesafeyi (veya zaman) tespit etmektir. Ortalama mesafe arttıkça hizmet merkezine ulaşılabilirlik azalacak ve böylece hizmet merkezinin etkinliği düşecektir. Bu ilişki okul, kütüphane, ilk yardım merkezi, polis merkezi gibi yerler için geçerlidir. Fakat, nükleer santraller, mayın tarlaları gibi, birer potansiyel tehlike olan tesisler için ise mesafenin artması etkinliği artıracaktır. (Church ve ReVelle,1974,s.101-118)

Hakimi, (1964, s.450-459)'ye göre bir noktanın etkinliğini ölçmenin diğer bir yolu da, taleplerin hizmet seviyesine duyarlı olmadığı durumlarda, talep noktaları ile hizmet merkezleri arasındaki mesafeyi talep sayısına bağlı olarak derecelendirmek ve hizmet merkezi ile talep noktaları arasındaki toplam ağırlıklı mesafeyi hesaplamaktır. P -medyan problemi bu etkinlik ölçüsünü kullanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

P -medyan problemi, hizmet merkezleri ile talep noktaları arasındaki toplam talep ağırlıklı yol mesafesini en aza indirerek p sayıda hizmet merkezinin yerini belirleyen bir problem tipidir.

Problemi matematiksel olarak formüle etmek için kullanılan notasyon aşağıda verilmiştir.

i : Talep noktaları; $i = 1, \dots, I$

j : Potansiyel hizmet merkezi noktaları; $j = 1, \dots, J$

h_i : i düğümündeki taleplerin sayısı.

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe.

p : Yerleştirilecek hizmet merkezi sayısı.

Karar Değişkenleri:

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer potansiyel hizmet merkezi } j \text{ konuşlandırılacak ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ düğümündeki isteği } j \text{ düğümündeki hizmet merkezi karşılıyor ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

Bu tanımları kullanarak, P -medyan problemi aşağıdaki tamsayılı doğrusal programlama şeklinde yazılabilir.

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^J h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^J X_j = p \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$X_j \geq Y_{ij} \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall j \quad (5)$$

$$Y_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i, j \quad (6)$$

Amaç fonksiyonu (1), hizmet merkezi ile müşteri arasındaki toplam ağırlıklı talep mesafesini en az yapmak içindir. Kısıt (2), tam olarak p adet hizmet merkezinin yerleştirilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Kısıt (3), her talep noktasının bir hizmet merkezine atanacağını garanti etmektedir. Kısıt (4), atamanın sadece hizmet merkezi kurulmuş olan yerlere yapılacağını belirtmektedir. Kısıt (5) ve (6), karar değişkenleri ile ilgili ikili (0/1) gerekliliklerdir.

Bu formülasyonda hizmet merkezleri yalnızca sonlu sayıda potansiyel noktalara yerleştirilebilir. Ağ düğümleri üzerinde yerleştirilen p sayıda hizmet merkezi için P -medyan probleminin en az bir tane optimal çözümü olduğunu ispat etmiştir.

Yukarıda anlatılan formülasyon P -medyan problemleri için tamsayılı programlama çözüm tekniklerinin kullanılmasını gerektirir. Bu teknikleri kullanarak küçük ve orta boyutlu problemlerde tamsayılı optimal çözümlere makul bir sürede ulaşılırken, büyük boyutlu medyan problemlerini çözmek için birkaç etkili sezgisel teknik geliştirilmiştir.

8.1.2. Kaplama Problemleri

Hakimi, (1964, s.450-459)' ye göre farklı yapıda hizmet merkezi veya farklı hizmet seviyelerinin söz konusu olduğu durumlarda, P -medyan problemlerinde olduğu gibi toplam mesafe veya zamanı en az yapmak uygun olmayabilir. Bu tür problemlerde kritik olan konu, talep noktalarına verilen hizmetlerin en fazla kabul edilebilir mesafe veya zaman içinde olmasıdır. Bu tür hizmet merkezleri farklı yerleşim etkinliği ölçüsünü gerektirir.

Bu tür hizmet merkezlerini yerleştirmek için anahtar sözcük kaplamadır. Eğer talep, belirli bir mesafe veya zaman içinde karşılanabiliyorsa bu durumda talep kaplandı denir.

Kaplama modelleri için problemin optimal çözümünü etkileyen en önemli faktör kritik mesafenin seçimidir. Kritik mesafenin belirlenmesinde bir standardın olmamasının kaplama yaklaşımının geçerliliğini zayıflatabileceği tartışılmaktadır.

Kaplama problemleri ile ilgili literatür, tam kaplamayı gerektiren ve kaplamayı maksimum yapan çalışmalar olarak iki ayrı bölümde değerlendirilebilir. Birbirinden farklı olan iki kaplama problemi, küme kaplama ve maksimal kaplama problemleridir.

8.1.2.1. Küme Kaplama Problemi

Küme kaplama problemi, belirli kaplama seviyesindeki (örneğin, belirli bir süre veya mesafe içerisindeki) bütün talep noktalarını kaplamayı garanti etmek için ne kadar hizmet merkezi kurulması gerektiğini tespit eden problem tipidir. Burada amaç, kurulacak hizmet merkezlerinin toplam maliyetini en aza indirmektir.

Problemin matematik formülasyonu aşağıdaki ilave notasyonları gerektirmektedir:

$$\text{Min} \quad \sum_{j=1}^J C_j X_j \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^J X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (8)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall j \quad (9)$$

Amaç fonksiyonu (7) hizmet merkezi yerinin maliyetinin en az olmasını sağlar. Bir çok durumda olduğu gibi j noktasına hizmet merkezi kurma maliyeti (C_j), bütün potansiyel hizmet merkezi yerleri için eşit kabul edilirse, amaç fonksiyonu en az sayıda hizmet merkezi yerleştirilmesini ifade eder. Kısıt (8), her i isteğinin en az bir hizmet merkezi tarafından kabul edilebilir hizmet mesafesi içerisinde karşılanabileceğini garanti eder.

Bu formülasyonda talep büyüklüğüne bağlı olarak düğümlerde bir farklılık yoktur. İster bir müşteriyi ister geniş bir talep yelpazesini içine alsın, her bir düğüm maliyetten bağımsız olarak belirli bir mesafe içinde kaplamalıdır. Eğer kaplama alanı S küçük ise, talep noktalarının kapladığı yere bağlı olarak kurulacak hizmet merkezi sayısı

da fazla olacaktır. Buna ilave olarak, eğer düğümlerin talep seviyesi düşük ise, isteği kaplayan hizmet merkezinin kar / zarar oranı da aşırı büyük olacaktır.

8.1.2.2. Maksimum Kaplama Problemi

Yer seçimi problem tiplerinden birisi olan Maksimum Kaplama Problemi, belirli hizmet mesafesi veya zaman içinde en fazla sayıda isteğin bir ağ üzerindeki p sayıda hizmet merkezi tarafından kaplanması problemidir

Maksimum kaplama problemini ilk olarak Church ve ReVelle (1974, s.101-118) ortaya atmışlardır. Bu ikili maksimal kaplama problemini kısmi kaplama olarak tanımlamışlardır. Uyguladıkları modelde kaynakların sınırlı olduğu dikkate alınmış ve bu sınırlılık yerleştirilecek hizmet merkezi sayısı olarak kısıtlarda ifade edilmiştir. Marianov ve ReVelle (1995,s.199-222) kaplama modellerinin çoklu, aşırı, yedek ve beklenen kaplama kavramları gibi farklı uzantıları üzerinde çalışmışlardır. Serra ve ReVelle (1995, s.367-386) bir bölgede birbirleri ile rekabet halindeki fabrika satış mağazalarının birbirlerinden bağımsız olarak yerleştirilmesi üzerinde çalışmışlar ve maksimal kaplama probleminin bir uzantısı olan “Maximum Capture Problemi”ni ortaya atmışlardır. Daskin ve Stern (1981, s.137-148) acil hizmet merkezleri olan ambulans araçlarının belirli hizmetleri karşılaması üzerinde çalışmışlardır. Hizmet merkezlerinin meşgul veya faaliyet dışı periyotlarda olması durumu, bir hizmet merkezi meşgul olsa bile talep noktalarına çoklu kaplamayı sağlamaya çalışan yeni bir model çeşidinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu ikili tarafından türetilen model, hizmet ihtiyaçlarını karşılayan araç sayısını minimum yapan ve daha sonra kaplama alanını maksimum yapan bir hiyerarşik amaç fonksiyonu oluşturmaktadır. Batta ve Mannur (1990,s.277-287)' da yüksek talep oranlarının her birimin meşgul olma periyotlarını artırdığı ortamda, acil hizmet merkezleri olan ambulans araçlarının çoklu yerleştirilmesi üzerinde çalışmışlardır. Yazarlar, daha fazla timle hizmet verilmesi gereken taleplerin daha kritik olduğunu ve böylece daha sıkı bir kaplama seviyesi olması gerektiğini görmüşler ve çoklu reaksiyon birimlerini ve kaplamaya bağlı talep gereksinimlerini içine alan genellenmiş deterministik küme kaplama ve maksimal kaplama modellerini formüle etmişlerdir.

Pek çok pratik uygulamada karar vericiler istenen kaplama seviyesini gerçekleştirecek hizmet merkezlerini tesis edecek kaynakların yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir. S mesafesindeki kaplama hedefi, tesis inşa kaynakları ele alındığında çözümsüz olabilir. Böyle durumlarda, eldeki kaynaklarla müşterilere mümkün olan kaplama seviyesinde hizmet vermek için yerleşim hedefleri değiştirilmek zorundadır. Bu amaca yönelik problemler maksimal kaplama problemleri olarak adlandırılır.

Maksimal kaplama problemi, belirli sayıda hizmet merkezini kabul edilebilir hizmet mesafesi içerisinde yerleştirerek kaplanan talep miktarını en fazla yapmayı araştırır. Bu problemin matematik formülasyonunda önceki notasyona ilave olarak aşağıdaki karar değişkeni kullanılacaktır.

$$Z_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ düğümü kaplandı ise,} \\ 0, & \text{değilse.} \end{cases}$$

Buna göre maksimal kaplama problemi aşağıdaki gibi formüle edilir:

$$\text{Maks} \quad \sum_i h_i Z_i \quad (10)$$

$$Z_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j \quad \forall i, \quad (11)$$

$$\sum_j X_j \leq P \quad (12)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall j \quad (13)$$

$$Z_i = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i \quad (14)$$

Amaç fonksiyonu (10), kaplanan talep miktarını maksimum yapmaktır. Kısıt (11), hangi talep düğümlerinin kabul edilebilir hizmet mesafesi içinde kaplandığını belirtir. Eğer hizmet merkezi, i düğümünün S kaplama alanı içindeki herhangi bir j noktasında yerleştirilmişse her i düğümü kaplandı denir. Kısıt (12) yerleştirilecek

hizmet merkezi sayısını sınırlar. (13) ve (14)'ncü kısıtlar karar değişkenleri için tanımlayıcı kısıtlardır.

Hem küme kaplama hem de maksimal kaplama problemleri sonlu sayıda potansiyel hizmet merkezi noktaları olduğunu varsayar. Tipik olarak potansiyel hizmet noktaları kümesi ağdaki bazı talep noktalarını da içerebilir. Bu modellerde, hizmet merkezleri ağ üzerinde herhangi bir noktada yerleştirilebilse bile, problem sonlu sayıda hizmet merkezine indirgenebilir. Genel olarak optimal çözümü garanti etmek için potansiyel hizmet merkezi noktaları sayısı talep noktaları sayısından fazla olmalıdır. Bununla birlikte, bu tür problemleri formüle etmek için birleştirilmiş ağ yapıları kullanılır.

Diğer bir maksimal kaplama problemi, basit olarak, kaplanan talep sayısını en fazla yapmak için bütün talep noktalarını eşit olarak ağırlandırılmasını öngörmektir.

Yaygın olan diğer bir çeşit problem ise, istenen hizmet mesafesi (S) içerisinde kaplamayan hizmetlerin daha esnek bir mesafe standardı T ($T > S$) tarafından kaplaması gerektiğidir. Bu zorunlu yaklaştırma ile maksimal kaplama problemi, S içinde olabildiğince fazla hizmet merkezi seçerken, hiçbir isteğin en yakın hizmet merkezinden T birimden fazla uzak olmamasını garanti eder.

Buraya kadar tartışılan bütün kaplama modelleri, eğer talep hizmet merkezi tarafından kaplanıyorsa hizmet merkezi de isteğe cevap verebilir varsayımına dayanmaktadır. P -medyan ve maksimal kaplama problemleri arasındaki ilişkiyi incelemişler ve mesafelerin dönüştürülmesi yoluyla maksimal kaplama problemlerinin P -medyan problemlerinin özel bir durumu olarak ele alınabileceğini göstermişlerdir. (Lorena ve Pereira, 2001, s.25)

Maksimal kaplama probleminde i ve j noktaları arasındaki mesafenin (d_{ij}) kaplama mesafesi (S) içerisinde olup olmadığına göre aşağıdaki “kaplama parametresi” tanımlanmaktadır:

$$d'_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } d_{ij} \leq S \text{ ise,} \\ 0, & \text{eğer } d_{ij} > S \text{ ise.} \end{cases}$$

Yeniden düzenlenmiş d_{ij} mesafeleri ile P -medyan problemlerinin çözümü, kaplama mesafesi (S) içerisinde hizmet verilemeyen (kaplanamayan) talep miktarını en az yapar. Bu da S içindeki hizmet verilen talep miktarını en fazla yapmaya denktir. P -medyan problemlerinin bu şekilde dönüştürülmüş hali tam olarak maksimal kaplama problemidir.

Yukarıda tanımlanan küme kaplama problemi, dışsal olarak belirlenen kaplama mesafelerini kullanarak bütün talepleri kaplamak için en az sayıda hizmet merkezini belirler. Pratik anlamda, potansiyel çözümsüzlük durumunda maksimal kaplama problemi geçerli olacaktır. Yukarıda da ifade edildiği gibi, bu formülasyon eldeki imkanlar ölçüsünde yerleştirilebilecek hizmet merkezi sayısını ve mümkün olan en fazla talep kaplamasını belirler.

8.1.2.3. Maksimum Beklenen Kaplama Problemi

Yer seçimi konusunda daha önceki yıllarda yazılmış makalelerin bir çoğu deterministik koşullar altında yer seçimini ele almıştır. Son yıllarda ise stokastik koşullar altında yer seçimi hakkında bir çok çalışma yapılmıştır.

Küme Kaplama Problemi tüm talep noktalarını minimum tesis sayısı ile kaplamayı hedeflerken, Maksimum Kaplama Problemi mevcut tesis sayısı ile olabildiğince fazla talep noktasını kaplamaya çalışmaktadır. Her iki model de talep noktasındaki talebin tek bir tesis tarafından kaplandığını ve bir tesisin kapladığı talep noktalarının tümünün taleplerine karşılık verebildiğini varsaymaktadır. Ancak gerçek dünyada, tesisler her talep noktasına her an hizmet veremeyebilir. Talep noktasında, herhangi bir zamanda oluşabilecek bir talep için, o talep noktasını kaplayan tesis hizmet veremeyecek durumda olabilir ve sonuç olarak kaplama tek bir tesis tarafından sağlandığı için talep karşılanamayabilir. Örneğin i noktası, j noktasına yerleştirilen bir ambulans merkezi tarafından hizmet görecektir olmasına rağmen, i noktasında bir talep oluştuğunda, j noktasındaki ambulans o anda başka bir talep noktasında hizmet veriyor ise i noktasındaki talep karşılanamayacaktır. (Daskin, 1983, s.48)

Maksimum Beklenen Kaplama Probleminin (MBKP) amacı, talep noktalarını elde mevcut tesisler ile sadece bir defa değil olabildiğince fazla kez kaplayarak talep

noktalarının hizmet görememe olasılığını azaltmak olarak da tanımlanabilir. MBKP tesislerin hizmet verememe ihtimalini değerlendirerek, belirli sayıda tesisi, beklenen kaplama değerini maksimum yapacak şekilde yerleştirmeyi hedeflemektedir. (Batta, Dolan ve Knshnamurthy, 1989,s.277)

Tesis için değerlendirilen hizmet verememe ya da mevcut talebi karşılayamama olasılığını p olarak nitelendirecek olursak, sadece bu tesis tarafından kaplanan bir talep noktasında oluşan talebin karşılanma olasılığını ya da beklenen kaplanma değerini $1 - p$ olarak ele alabiliriz. Eğer p değerini tüm tesisler için aynı kabul edersek ve i talep noktası m adet tesis tarafından kaplanırsa i talep noktasının beklenen kaplama değeri $1 - p^m$ olarak değerlendirilir. Dolayısıyla bir talep noktasını kaplayan tesis sayısı arttıkça beklenen kaplanma değeri de artar. MBKP'nin matematiksel formülasyonunda gerekli notasyonlar ifade ettikleri aşağıdadır.

m = kurulabilecek en fazla tesis sayısı,

$$z_{im} = \begin{cases} 1 & i \text{ talep noktası en az } m \text{ adet tesis tarafından kaplanırsa} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

h_i = i noktasında oluşan talep miktarı

h_{im} değeri ise m adet tesis ile kaplanan i talep noktasında meydana gelen talep değerini ifade etsin. Olasılık değerlerine bağlı olarak H_{im} değişkeninin alacağı değer aşağıda verilmiştir.

m = kurulabilecek en fazla tesis sayısı,

$$h_{im} = \begin{cases} h_i, & 1 - p^m \text{ olasılığı ile} \\ 0, & p^m \text{ olasılığı ile} \end{cases} \quad (1)$$

Beklenen kaplama değeri (1) de belirtilen olasılık ile (2) eşitliğinde olduğu gibi hesaplanır.

$$E(H_{i,m}) = h_i (1-p^m) + 0(p^m) = h_i (1-p^m) \quad (2)$$

Kaplayan tesis sayısını belirten m değerinde bir birimlik artışın, bir talep noktasına ait $E(H_{im})$ değerinde meydana getireceği etki, $m = \{1, 2, \dots, M\}$ olduğu sürece (3) de gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned} \Delta E(H_{im}) &= E(H_{i,m}) - E(H_{i,m-1}) = h_i (1-p^m) - h_i (1-p^{m-1}) \\ &= h_i [(1-p^m) - h_i (1-p^{m-1})] = h_i (p^{m-1} - p^m) \\ &= h_i p^{m-1} (1-p) \end{aligned} \quad (3)$$

Bu bilgiler ışığında MBKP 'nin matematiksel modeli aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\text{Max} \sum_{i \in I} \sum_{m=1}^M h_i (1-p) p^{m-1} z_{im} \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^M z_{im} \leq \sum_{j \in J} \alpha_{ij} x_{ij} \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq P \quad (6)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$z_{im} \in \{0,1\} \quad \forall i,m \quad (8)$$

Amaç fonksiyonu (4) her talep noktası için beklenen kaplama değerini hesaplayarak, tüm şebeke üzerindeki talep noktalarının beklenen kaplama değerini talep miktarı ile derecelendirerek maksimum yapmaya çalışmaktadır. Amaç fonksiyonu daha sadeleştirilmiş olarak (9)'da olduğu gibi de yazılabilir.

$$Max(1 - p) \sum_{i \in I} h_i \sum_{m=1}^M (p^{m-1}) z_{im} \quad (9)$$

(9) ifadesindeki iç toplam değeri $h_i \sum_{m=1}^M (p^{m-1}) z_{im}$, i talep noktası için

hesaplandıktan sonra $(1-p)$ ile çarpılırsa beklenen kaplama değeri bulunur. Bu işlem her talep noktası için yapılarak şebekedeki tüm talep noktalarının beklenen değeri toplanmış olur.

Amaç fonksiyonu (4)'de dikkat çeken bir diğer husus, her i talep noktası için Z_{im} değerinin amaç fonksiyonundaki katsayısı olan (p^{m-1}) değerinin, m sayısı arttıkça azalmasıdır. Kısıt (5) 'in sağ taraf değeri her talep noktası için kaplanma şartının kaç defa sağlandığını hesaplayarak bu talep noktasının Z_{im} değerleri için bir üst sınır oluşturur. Her i talep noktası için, Z_{im} değerleri $m-1$ ' den M 'ye kadar toplandığında en fazla kısıt (5)'in sağ taraf değeri kadar olabilir. Amaç fonksiyonunda Z_{im} değerinin katsayısının m sayısı arttıkça azalması, öncelikle $Z_{i,1}$ den başlayarak $j=1$ ' den j' ye kadar kaplanma şartı sağlandıkça 1 değerini almasını sağlar. Örnek olarak, $Z_{i,5}=1$ ise $Z_{i,1} = Z_{i,2} = Z_{i,3} = Z_{i,4}=1$ ve $Z_{i,6} = Z_{i,7} = \dots = Z_{i,m} = 0$ değerini alır.

Kısıt (6) açılacak tesis sayısının en fazla P adet olmasını sağlar. Kısıt (7) X_j değerlerinin, kısıt (8) ise $Z_{i,m}$ değerlerinin sadece 0 ya da 1 değerini almasını sağlar.

MBKP'nin bu formülasyonunda 3 önemli varsayım vardır. Birincisi tüm tesislerin hizmet verirken birbirinden bağımsız olarak çalışması, İkincisi tesislerin hizmet verememe olasılığı olan p değerinin tüm tesisler için aynı olması ve sonuncusu ise tesislerin hizmet verememe olasılığının yerleştirildikleri bölgeye bağlı olarak değişmemesi, Batta, Dolan ve Krishnamurthy, (1989) yaptıkları çalışmada bu varsayımları ortadan kaldırmaya çalışmıştır. Ancak bu varsayımlar her ne kadar gerçek dünyada problemlerini yansıtmada yetersiz kalabileceğini gösterse de Daskin problemi deterministik ve tamsayılı programlama modeli olarak ifade edebilmesini ve çözüm için etkili sezgisel teknikler üretebilmesini sağlamıştır.

8.1.3. Merkez Problemleri

Küme kaplamasının potansiyel çözümsüzlüğünden kaçınan diğer bir problem tipi ise P -merkez problemleridir. Bu tür problemlerde bütün talep noktalarının kaplaması istenir, fakat kaplama mesafesi belirli sayıda hizmet merkezi yerleştirmekle en az yapmaya çalışılır. Kaplama mesafesi olan S 'yi veri olarak almaktan ziyade, bu model p sayıda hizmet merkezini yerleştirmekle ilgili olarak kaplama mesafesini içsel olarak belirler.

P -merkez problemlerinde amaç, talep noktası ile en yakın hizmet merkezi arasındaki en fazla mesafenin minimum yapılmasıdır. Bu nedenle, P -merkez problemleri minimaks problemleri olarak da bilinir. Eğer hizmet merkezi noktaları ağdaki düğümler ile sınırlı ise problem, “düğüm merkez problemidir. Ağdaki herhangi bir noktaya yerleştirmeye imkan veren merkez problemleri “mutlak merkez problemleri” olarak adlandırılırlar. Küme kaplama problemlerindeki gibi sonuçlar genellenemez. Mutlak merkez problemlerinin çözümü (daha küçük amaç fonksiyon değeri) düğüm merkez problemlerinden daha iyi sonuç verir.

Düğüm P -merkez problemleri için ilave karar değişkenine ihtiyaç vardır. Düğüm P -merkez probleminin tamsayılı programlama modeli aşağıda verilmiş olup, D değişkeni talep noktası ile en yakın hizmet merkezi arasındaki en fazla mesafeyi temsil etmektedir:

$$\text{Min } D \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^J X_j = P \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (12)$$

$$X_j \geq Y_{ij} \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$D \geq \sum_{j=1}^J d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i, \quad (14)$$

$$X_j = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall j \quad (15)$$

$$Y_{ij} = 0 \text{ veya } 1 \quad \forall i, j \quad (16)$$

Amaç fonksiyonu (10), basit olarak talep noktası ile en yakın hizmet merkezi arasındaki maksimum mesafeyi minimum yapmaktır. (11-12)'nci kısıtlar, P -medyan problemindeki (2) ve (4)'ncü kısıtlarla aynıdır. (14)'ncü kısıt, talep noktası i ile en yakın hizmet merkezi j arasındaki en fazla mesafeyi belirtmektedir. (15) ve (16)'nci kısıtlar da karar değişkenleri için tanımlayıcı kısıtlardır. Buradaki (16)'nci kısıtın basit, negatif olmayan kısıta gevşetilebileceğine dikkat etmek gerekir. Eğer Y_{ij} karar değişkenlerinin sürekli olmasına izin verilirse, bir talep noktasına birden fazla hizmet merkezi tarafından hizmet verilebilir.

8.2. Çözüm Teknikleri

Kombinatorial problemler çözülmesi kolay ve zor olan iki tür problem yapısını içinde barındırmaktadır. Kolay olanlar P sınıfı, zor olanlar ise NP-Zor sınıfı olarak nitelendirilmektedir. NP-Zor optimizasyon problemlerini sınıflandırmak için kullanılan bir terimdir. Bugüne kadar bu tip problemler için polinom zamanlı bir algoritma geliştirilememiştir. NP-Zor problemlerin optimal çözümünü bulmak, üssel zamanlı bir algoritma yoluyla mümkündür. Bir problem P sınıfına dahilse, bu problemin optimum çözümüne ulaşılabilir. NP-Zor sınıfına giren problemler ise optimum çözümü kabul edilebilir sürede elde edilemeyen problemlerdir. Karar problemlerinin bir türü olan P sınıfı problemler bazı algoritmalar kullanılarak, çözüm süresi problem boyutunun polinom fonksiyonu olarak artan bir sürede çözülebilir. (Cook, 2000, <http://www.claymath.org/sites/default/files/pvsnp.pdf>, 03 Ağustos 2014).

Garey ve. Johnson (1979)'a göre yer seçimi problem tipleri NP-Zor (karar problemleri için NP-Tam) problemler olduğundan problemin boyutu büyüdükçe optimal çözümü bulmakta zorluk çekilebilir. NP-Zor türü problemlerin çözümü için polinom

sürekli bir algoritma yoktur. Bu tür problemlerin özelliği problemin çözüm süresinin problem boyutuna bağlı olarak üstel şekilde artmasıdır. Dolayısıyla bu sınıfa giren problemlerin kesin çözümünün bulunması hayli zordur. Kuadratik atama, tesis yeri seçim, gezgin satıcı, araç rotalama gibi problemler NP-Zor sınıfına giren problemlere örnek olarak verilebilir.

Yer seçimi problemlerini çözmek için tam (optimal) çözüm teknikleri veya sezgisel teknikler kullanılabilir. Tam çözüm teknikleri, optimizasyon tekniklerinden en önemlisi olan karışık tamsayılı programlamayı içerir. Burada amaç, hizmet kısıtlarına bağlı olarak doğrusal maliyet fonksiyonunu optimum yapmaktır. Günümüzde tamsayılı programlama çözümü için kullanılan temel algoritma, gevşetilmiş tamsayılı programlamaya uygulanan Dal-Sınır tekniği ile Simpleks algoritmasıdır. Diğer taraftan, optimal çözüme yakın olur çözümleri daha çabuk elde etmek için sezgisel teknikler geliştirilmiştir. Sezgisel teknikler, optimal çözümü bulmak için izlenecek metotların çok zaman alacağı durumlarda kullanılmaktadır. Sezgisel tekniklerden en önemlisi ise Lagrange optimizasyonudur. Bu metodun sonuçları tamsayılı programlamadan daha az matematik formülasyon gerektirmesine rağmen çözüm çok daha zor olabilmektedir. Yer seçimi problemlerini çözmek için kullanılabilecek sezgisel tekniklerden bazıları ise, Değişim (Exchange) Sezgiselleri, Düşme (Drop) Sezgiselleri, Sıralı Yer Seçim Problemleri (Sequential Location and Allocation), Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing), Tabu Araştırması ve Genetik Algoritmalar'dır.

9. PROBLEM TANIMI

Günümüzde birçok ülke sınır güvenliğini sağlama konusunda büyük yatırımlar yapmakta ve teknolojinin tüm imkanlarından faydalanmaktadır. Sınır güvenliği bir çok bileşeniyle birlikte gelişmiş ülkelere yapılan göçler, her türlü kaçakçılık, terörizm, gibi unsurların engellenmesini içermektedir. Bu amaçla kullanılan İHA'lar ile sınırların gözetlenmesi, kaçakçılık ve terörizm gibi hayati öneme haiz olaylara anında müdahale edilmesi, güvenlik birimlerinin ihtiyaç duyduğu bölgelerdeki İGK taleplerinin hızlı ve doğru karşılanması mümkün olabilmektedir.

Dünya ordularında kullanılan İHA'lar İGK, terörle mücadele, hudut güvenliği v.b. gibi birçok güvenlik kapsamında önemli görevler yerine getirmekte ve etkinliğini artırma çalışmaları devam etmektedir. Anlık İGK ihtiyacı güvenlik birimlerinin olaylara müdahale esnasında ana unsur olarak her zaman öncelik teşkil etmektedir.

İHA' dan alınan gerçek zamanlı İGK değerlendirmesi ışığında bölgedeki ilgili güvenlik birimleri tarafından operasyon emri verilerek, istihbaratın operasyona dönüştürme süresini kısaltılmış olacaktır. Hızlı reaksiyon gösteren güvenlik birimleri sayesinde terör, kaçakçılık ve yasadışı sınır geçişi olaylarının engellenilmesi etkinliği artacaktır.

Bu çalışmada jenerik olarak düşünülen SAFİR ile DEMİR Ülkelerinin ortak hudut hattında, dağlık yapısından kaynaklanan, geçiş güzergâhı olarak kullanılan boğaz, geçit, vadi benzeri coğrafi alanları mevcut olmakla birlikte iki ülke arasında kaçakçılık, yasa dışı sınır geçişi faaliyetleri yoğun olarak yaşanmaktadır. Ayrıca DEMİR ülkesindeki etnik ve değişik mezheplerden kaynaklı iç karışıklıklardan faydalanan, SAFİR ülkesinde de üyeleri ve hudut hattına yakın dağlık arazilerde kampları bulunan ayrılıkçı terör örgütü üyeleri zaman zaman sınırdan geçerek SAFİR Ülkesi içerisinde terör eylemleri yapma imkanı bulmakta ve eylem sonrasında kolayca kendi ülkelerine kaçabilmektedirler.

Problemle ilgili geliştirilen modelde, SAFİR ülkesinin hudut hattı güvenliğinin artırılması maksadıyla SAFİR ile DEMİR ülkesi hudut hattı boyunca konuşlandırılacak, güvenlik birimlerinden gelen anlık İGK ihtiyaçlarını

karşılayabilecek, mini İHA istasyonlarının konuşlandırılması, öncelikle değişen hava şartları ve koşulların etkisi olmadan maksimal kaplama problemi olarak, daha sonra ise değişen hava şartları ve koşulları altında hizmet verememe olasılıklarının da probleme dahil olmasıyla maksimum beklenen kaplama problemi olarak çözüm aranacaktır.

Kurulan bu istasyonlardan anlık İGK ihtiyaçlarına cevap vermek üzere Harekat merkezinden (24 saat esasına göre görev icra edilen anlık olayların takip edildiği merkez) görev emrini almak suretiyle talep yapılan bölgedeki en uygun istasyondan İGK isteğinin karşılanması yoluna gidilecektir.

Mini İHA'ların yer kontrol istasyonlarının konuşlandırılması her arazi kesiminin, sahip olduğu bölgesel özelliklere bağlı olarak farklılık arz etmektedir. Bölgesel farklılıkları göz önüne alan kısıtları oluşturabilmek için her aday noktasına mini İHA uçuşuna müsait olması, istihbarat duyumu yoğunluğu, kaçakçılık durum yoğunluğu, yaşanan terör olayları yoğunluğu ve ulaşım durumu özellikleri başlıkları altında bölgede görev yapmış ve yapmakta olan uzman personelin görüşleri doğrultusunda ağırlık değerleri verilmiştir. Bunlar mini İHA istasyonlarının konuş yerlerinin ve sorumluluk sahalarının belirlenmesinde dikkate alınan temel özelliklerdir.

Bu modelde karar değişkenlerinin tümü (0/1) tamsayılı değişkenler olarak ele alınmıştır. Bu şekilde herhangi bir aday noktasına en fazla bir adet İHA istasyonu konuşlandırılabilmekte ve Maksimum kaplama probleminde her talep noktası da sadece bir kez kaplamaktadır. Ancak bu şart maksimum beklenen kaplama probleminde aranmamaktadır. Aşağıda modelin temel elemanları olan aday noktaları ve talep noktalarının belirlenmesi ile bölgesel özellik değerlerini yansıtan parametrelerin saptanması açıklanmaktadır.

9.1. Matematiksel Modelin Girdileri

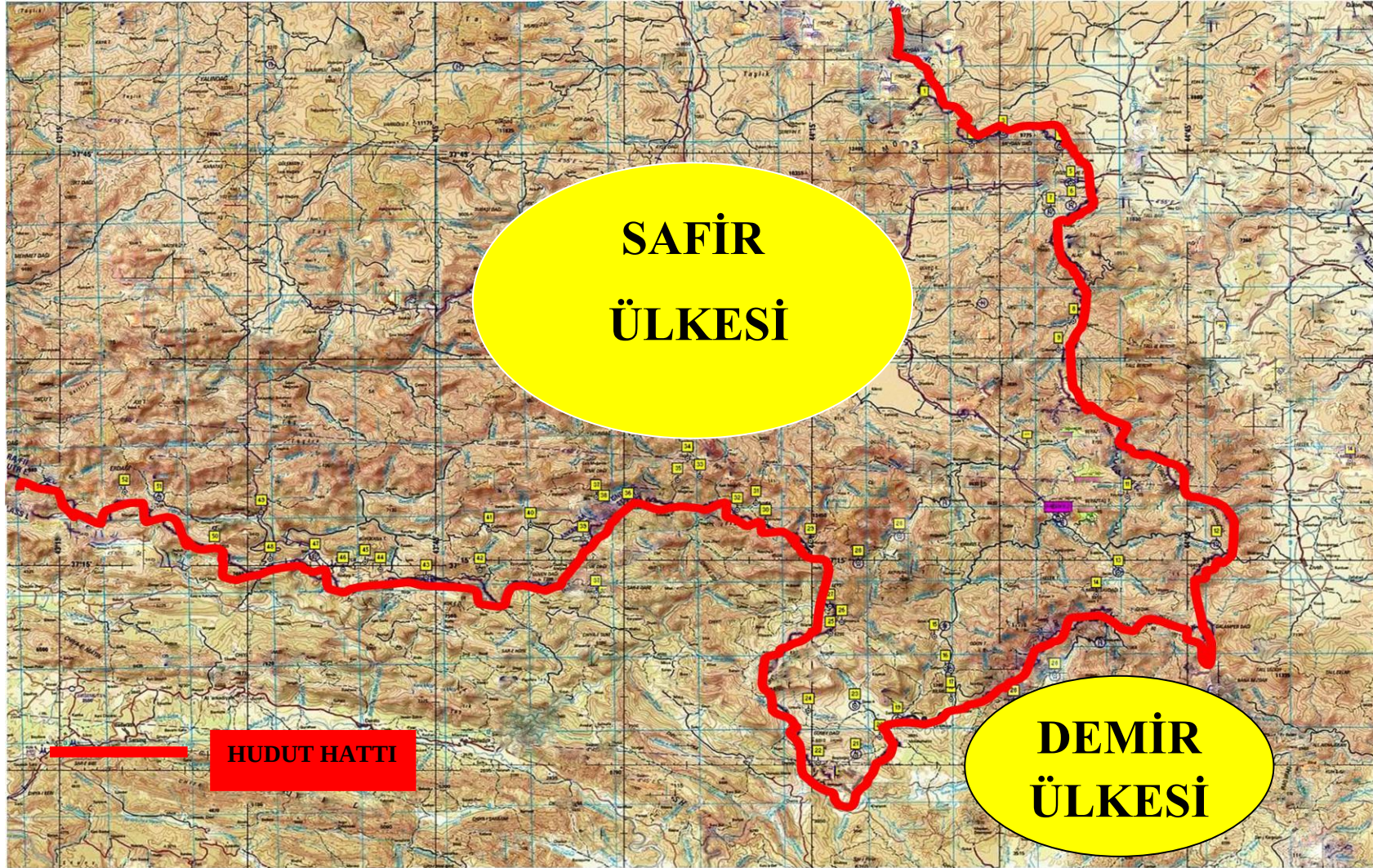
SAFİR ile DEMİR ülkelerinin hudut hattı boyunca arazi kesimi dağlık ve kırsal alandan oluşmasından, hudut hattının dağlık yapısından kaynaklı, geçiş güzergâhı olarak kullanılan boğaz, geçit, vadi benzeri coğrafi alanların mevcut olması sebebiyle farklı bölgesel özelliklere sahip 52 adet nokta belirlenmiştir. Aday noktaları belirlenirken arazi incelemesi yapılmış, ayrıca askeri uzmanların ve bölgeyi bilen

personelin görüşleri alınmış ve bölgedeki olaylarla ilgili olarak mevcut geçmiş veriler incelenmiştir.

Bu noktalarının seçiminin nasıl yapılacağını gösteren belirgin bir yöntem mevcut değildir. Belli bir bölgedeki pek çok nokta, aday noktası olarak düşünülebilir ve her biri farklı özelliklere sahip olabilir. Amaç, maksimum kaplamanın sağlanması ve maksimum beklenen değerin artırılması olduğundan her aday noktasının kaplama kabiliyetlerini mini İHA uçuşuna müsait olması, istihbarat duyumu yoğunluğu, kaçakçılık yoğunluğu durumu, yaşanan terör olayları yoğunluğu ve ulaşım durumu özelliklerini doğrultusunda sağlıklı bir şekilde değerlendirebilmektir.

Talep noktalarının modelde kullanılır hale getirilmesi önem teşkil etmektedir. Çünkü İHA istasyonlarının etkinliği talep noktalarının kaplanmasıyla ölçülmektedir. Talep noktaları İHA istasyonlarına talebin nereden geldiğini gösterir ve modele etki eden en önemli faktördür. Talepler herhangi bir noktadan gelebileceği için talep noktalarının sorumluluk sahasında farklı noktalar olması kaçınılmazdır.

Her talep noktasının ağırlık dereceleri birbirleri ile kıyaslandığında farklıdır. Talep ve aday noktaları belirlenirken SAFİR Ülkesi hudut hattı boyunca son 10 yıl içinde meydana gelen kaçakçılık ve terör olayları incelenmiştir. Model aday noktalarının en fazla sayıda talep noktasını kaplamasını sağlamaya çalışmaktadır. Belirlenen Talep ve Aday Noktalar arası mesafe matrisi Oziexplorer harita programı kullanarak hazırlanmıştır ve EK-Ç'de sunulmuştur. SAFİR Ülkesi hudut hattı boyunca aday noktaları ile talep noktalarının gösteren jenerik harita Şekil-8'dedir.



Şekil-8 SAFİR-DEMİR Ülkeleri Hudut Hattındaki Talep ve İHA İstasyonu Aday Noktalarını Gösteren Jenerik Harita

9.1.1. Modelin Parametreleri ve Varsayımları

Modeli ve çözümünü anlatmadan önce çözümü etkileyecek olan bazı varsayımların açıklanması gerekmektedir. Bunlar, konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı, kaplama mesafeleri, bölgesel özellikler ve İHA istasyonlarının değişen şartlar altında hizmet verememe olasılık değerleri ile ilgilidir.

SAFİR Ülkesinin içerisinde olduğu ekonomik sıkıntıları ve İHA sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olması konuşlandırılacak İHA istasyonu sayısını sınırlamaktadır. Karar vericiler tarafından konuşlandırılması istenen İHA istasyonu sayısına göre en uygun konuş yerleri ve sorumluluk sahaları değişmektedir.

Modelde MKP'de bir talep noktasına sadece bir adet İHA istasyonu tarafından hizmet verilmesi durumu ele alınsa da bu şart MBKP'de aranmamıştır.

Her aday ve talep noktasının kendine özgü bölgesel özellikleri de problemin çözümünde diğer önemli bir husustur. Aday noktalarına ait bölgesel özellik değerler, belirlenen bu noktalar hakkında daha sağlıklı değerlendirme yapmaya imkan vermekte ve bunlarla ilgili beklentileri kısıtlarda belirtmek suretiyle karar vericinin daha iyi aday noktalarını seçmesine imkan vermektedir. Bu değerler için derecelendirme kriterleri belirlenmiş, bu kriterler dikkate alınarak puanlamaya gidilmiş ve böylece aday noktaları ile ilgili belirsizlikten azami derecede uzaklaşmaya çalışılmıştır. Her bölgesel özelliğin aynı derecede öneme sahip olduğu varsayılmış ve aday noktalarına her bölgesel özellik için 10 puan üzerinden değerler verilmiştir. Modelin İHA istasyon aday noktalarının değerlendirme katsayıları ve talep noktalarının ağırlık değerlerinin 1-10 arasında derecelendirilmesinde Sarıkaya'nın (2003) çalışmasından faydalanılmıştır. Aday noktaların bölgesel özelliklere göre değerlendirilme katsayıları Ek-A'dadır.

Arazinin İHA uçuşuna müsait değerlendirmesi yapılırken, aday noktasının bulunduğu arazinin diğer noktalara nazaran hakim alanda, rakımca yüksek olan, mahkumda kalmayan, görevin icrasını müteakip iniş yapacak açık ve düz arazi yapısına sahip, emniyet

ihtiyaçlarını karşılayan aday noktaları İHA uçuşuna müsait olması 10 puan ile derecelendirilirken, mahkum arazide kalan, iniş yapacak açık ve düz arazi yapısına sahip olmayan, emniyeti açısından sakıncalı, görüş sahası kapalı, ormanlık ve kayalık arazi kesimlerindeki aday noktaları ise İHA uçuşuna müsait olması açısından daha düşük değerde derecelendirilmiştir.

Değerlendirme yapılırken aday noktasının bulunduğu yer merkez olmak üzere, İHA istasyonlarının farklı kaplama mesafesindeki olay yoğunlukları ele alınmıştır. Aşağıda Tablo-9'da istihbarat duyum yoğunluğu, kaçakçılık olayları yoğunluğu ve terör olayları yoğunluğu açısından aday noktalarının alabileceği puanlar tablosu görülmektedir. İHA istasyonlarının ulaşım kolaylığı anlık gelecek olan İGK taleplerine derhal cevap verebilmesi açısından önem arz etmektedir. Buna göre ulaşım kolaylığı ile ilgili yerleşim yeri köy, belde, s bölgesi veya karakol noktalarına yakınlığı ile değerlendirilen puanlama aşağıda Tablo-10'da sunulmaktadır.

Yoğunluk	Puan
5 ve daha az	1
5-10	2
10-20	3
20-30	4
30-40	5
40-50	6
50-60	7
60-70	8
70-80	9
80 ve yukarı	10
Tablo-9 İstihbarat Duyum Yoğunluğu, Kaçakçılık Olayları Yoğunluğu, Terör Olayları Yoğunluğu	

Mesafe (metre)	Puan
9000-10000	1
8000-9000	2
7000-8000	3
6000-7000	4
5000-6000	5
4000-5000	6
3000-4000	7
2000-3000	8
1000-2000	9
0-1000	10
Tablo-10 Ulaşım Kolaylığı	

Ulaşım durumu ile ilgili puanlama, aday noktalarının bulunduğu yerin bağlantı yollarına tugay, tabur, bölük veya üs bölgesine yakınlığı ve yollarının asfalt, stabilize ve toprak yol olması durumu dikkate alınarak yapılmıştır. SAFİR ile DEMİR ülke hududuna ait aday noktalarının bölgesel özelliklerine ait talep noktalarının ağırlıklı değerleri EK-B’dedir.

9.2. Matematiksel Modelin Formülasyonu

Modelin çözümünde birinci aşamada hava şartları ve rüzgar etkileri olmaksızın maksimal kaplama, ikinci aşamada ise gerçek şartlarda karşılaşılan hava şartları ve rüzgar etkilerine göre oluşturulan hizmet verememe olasılıkları modele dahil edilerek çözüm aranacaktır. Her iki model İHA da kar yağışında ve rüzgar hızının 35 knotdan fazla olması durumunda hizmet verememektedir.

Modeldeki İHA'ların hizmet verememe olasılık değerleri farklı olduğundan Maksimum Beklenen Kaplama Modelinde İHA'ların aynı anda konuşlandırılması bu çalışmada uygulanabilir değildir. Bu yüzden Maksimum Beklenen Kaplama Modelinde her İHA hizmet verememe olasılık değeriyle birer birer modele uygulanarak çözümler elde edilmiştir. Uzman görüşleriyle oluşturulan değişen hava şartları ve koşullara göre hizmet verememe olasılık değerleri Tablo-11’de sunulmuştur.

Tablo-11 Değişen Hava Şartları ve Koşullara Göre Hizmet Verememe Olasılık Değerleri			
İHA TİPLERİ (Menzil)	Yağmur Yağışı Yok	Yağmur Yağışı Var	Sağanak Yağmur Yağışı Var
	Hafif Sis Var	Sis Var	Sis Var
	Görüş Açık	Görüş Kısıtlı	Görüş Az
	Rüzgar 0-15 knot	Rüzgar 15-25 knot	Rüzgar 25-35 knot
Bayraktar(20 km)	0,15	0,5	0,8
Dönerkanat(15 km)	0,1	0,4	0,7
Bayraktar(40 km)	0,15	0,5	0,8
Dönerkanat(30 km)	0,1	0,4	0,7

Bu çalışmada kullanılan notasyon aşağıda verilmiştir.

İndisler :

i = talep noktaları kümesi, $i = 1, \dots, 52$

j : potansiyel İHA istasyon noktaları, $j = 1, \dots, 52$

k = kaplama sayısı $k=1, \dots, (A+B+C)$

Parametreler:

w_i : kaplaması istenilen i noktasının ağırlık değeri,

r_A = A tipi İHA nın kaplama mesafesi,

r_B = B tipi İHA nın kaplama mesafesi,

r_C = C tipi İHA nın kaplama mesafesi,

d_{ij} : i ve j noktaları arasındaki mesafe,

p :hizmet vermeme olasılığı

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq r_A \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq r_B \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq r_C \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

Karar Değişkenleri :

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ noktası } k \text{ defa kaplandıysa,} \\ 0 & \text{diğer hallerde,} \end{cases}$$

$$x_i = \begin{cases} 1 & i \text{ noktasına } A \text{ tipi İHA konuşlanıyorsa,} \\ 0 & \text{diğer hallerde,} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & i \text{ noktasına } B \text{ tipi İHA konuşlanıyorsa,} \\ 0 & \text{diğer hallerde,} \end{cases}$$

$$q_i = \begin{cases} 1 & i \text{ noktasına } C \text{ tipi İHA konuşlanıyorsa,} \\ 0 & \text{diğer hallerde,} \end{cases}$$

Model:

$$Max \sum_{i=1}^{52} \sum_{k=1}^{A+B+C} (1-p) p^{k-1} w_i z_{ik} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{A+B+C} z_{ik} \leq \sum_{i=1}^{52} \alpha_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{52} \beta_{ij} y_{ij} + \sum_{i=1}^{52} \delta_{ij} q_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{52} x_i \leq A \quad \text{A tipi İHA sayısı} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{52} y_i \leq B \quad \text{B tipi İHA sayısı} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{52} q_i \leq C \quad \text{C tipi İHA sayısı} \quad (5)$$

$$x_i + y_i + q_i \leq 1 \quad (6)$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

$$y_i \in \{0,1\}$$

$$q_i \in \{0,1\}$$

$$z_{ik} \in \{0,1\}$$

Amaç fonksiyonu (1)'de w_i karar değişkeni talep noktalarının önem derecesini (ağırlıklı değer), p hizmet verememe olasılıkları kullanıldığında her i noktasının kaplanma değerine z_{ik} değerine bağlı olarak, beklenen kaplama değerinin maksimum olması, aynı şekilde hizmet verememe olasılıkları sıfır olduğu durumlarda her i noktasının kaplama değeri z_{ik} bağlı olarak maksimum kaplamanın sağlanması hedeflenmektedir.

Kısıt (2), talep noktalarının kaplaması ile ilgilidir ve talep noktasının İHA istasyonu tarafından kabul edilebilir hizmet mesafesi içinde kaplanıp kaplanmadığını belirtir. Yani $\alpha(i,j)$ i noktasına yerleştirilen A tipi İHA'nın j talep noktasını kapsama durumunu, $\beta(i,j)$ i noktasına yerleştirilen B tipi İHA'nın j talep noktasını kapsama durumunu, $\delta(i,j)$ i noktasına yerleştirilen C tipi İHA'nın j talep noktasını kapsama durumunu belirtir. Eğer i noktasının kaplama mesafesi içindeki herhangi bir j noktasında İHA istasyonu yerleştirilirse i noktası kaplanmış , eğer kaplama alanı içindeki hiç bir noktaya İHA istasyonu yerleştirilmez ise, i noktası kaplanmamış olacaktır.

Kısıt (3), kısıtlı A tipi İHA sayısını belirtir.

Kısıt (4), kısıtlı B tipi İHA sayısını belirtir.

Kısıt (5), kısıtlı C tipi İHA sayısını belirtir.

Kısıt (6) bir aday noktasına birden fazla İHA istasyonu yerleştirilemeyeceği şartını sağlar.

10. SENARYOLARIN ÇÖZÜMLERİ

Bu çalışmada, teknik özellikleri itibariyle farklı kaplama mesafeleri sahip iki farklı tip İHA için öncelikle hava şartları ve değişen koşulların etkisi olmadan maksimum kaplama sağlanması amacıyla beş, daha sonra ise hava şartları ve değişen koşulların etkisini de probleme dahil edilmesiyle ortaya çıkan hizmet verememe olasılıklarının kullanıldığı oniki olmak üzere toplamda onyedi senaryo incelenmiştir.

Modelin uygulandığı hudut hattı yoğun dağlık arazi olması ve hava şartları ve değişen koşulların gerçek durumlara örnek teşkil etmesi açısından ve her iki tip İHA sistemi için imkan kabiliyetlerinden dolayı farklı kaplama mesafeleri alınarak senaryolarda çözümler elde edilmiştir. Her senaryo için problem parametreleri; kaplama mesafesi, konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı, seçilen aday noktalarının yerleri ve hizmet verememe olasılıkları değiştirilerek elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Senaryolar, konuşlandırılacak İHA istasyonlarındaki bulunacak İHA'ların teknik özellikleri göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Her senaryoda en fazla İGK isteğine zamanında cevap verebilecek en az sayıda İHA istasyonunun yer seçimi amaçlanmıştır. Tüm modeller için yüksek maliyetleri ve gerçek durumu yansıtmaması açısından elimizde bulunan İHA sayısı kısıtlıdır ve problem bu kısıtı dikkate alarak çözülmüştür.

Hava şartlarının uçuşa tamamen müsait olması, yoğun kar yağışı ve fırtına şartlarında İHA'nın hizmet verememe olasılıkları 0 ve 1 değerlerini alması sebebiyle beklenen kaplama değeri çözümleri incelenmemiştir.

10.1.Maksimum Kaplama Senaryoları

Bu bölümde, modelin çözümü ve çözümle ilgili değerlendirmeler anlatılmaktadır. Bir problemin matematiksel modelinin optimal çözümü elde edildikten sonra, model parametrelerinde meydana gelebilecek değişikliklerin çözüm üzerindeki etkisinin incelenmesini amaçlayan duyarlılık analizinin yapılması da önemlidir. Doğrusal programlama problemlerinde bu analiz kolayca yapılabilen fakat, burada geliştirilen modelde olduğu gibi, tamsayı programlama modellerinin çözümü üzerinden yapılan

duyarlılık analizi geçerli sonuçlar vermemektedir. Bu tip modellerde her defasında model parametreleri değiştirilerek problemin yeniden çözülmesi ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması gerekmektedir.

Modelde kullanılan tüm İHA tiplerinin üzerinde bulunan gece ve gündüz kameralarının aynı özelliklere sahip olduğu varsayılmaktadır.

Geliştirilen model GAMS yazılımı kullanarak çözülmüştür. Matematiksel modelin GAMS yazılımı EK-C'dedir.

Maksimum kaplamada amaç, en az sayıda İHA istasyonu ile mümkün olan en fazla sayıda talep noktasını kaplamaktır. Hava şartları ve değişen koşulların etkisini de probleme dahil edilmesiyle ortaya çıkan hizmet verememe olasılıklarının kullanılmasıyla beklenen kaplama değerinin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Her senaryo için tam kaplama (%100) sağlanıncaya kadar konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı birer artırılmış ve kaplama oranları belirlenmiştir. Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısına bağlı olarak seçilen aday noktalarının yerleri ve kaplama oranları değişmektedir.

10.1.1 Bayraktar Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 20 km)

Bu senaryoda 20 km lik kaplama mesafesi içinde tam (%100) kaplamanın, 6,11,15,36,48 numaralı talep noktalarına kurulan 5 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Bunun yanında karar verici tarafından %90'dan daha yüksek bir kaplama oranı yeterli görülürse, 4 adet İHA istasyonu konuşlandırılması ile sadece bir adet talep noktasının kaplamaması durumu söz konusudur. Aşağıda Tablo-12' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Başka seçeneklerin kabul edilmesi, bölgedeki görev etkinliği açısından ciddi sıkıntılara sebep olabilir.

Tablo-12 Bayraktar Mini İHA İstasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama Mesafesi 20 km)					
İHA SAYISI	SEÇİLEN ADAY NOKTALAR	KAPLANAN TALEP NOKTA SAYISI	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA SAYISI	EN İYİ ÇÖZÜM DEĞERİ	KAPLAMA ORANI %
1	26	14-32	1-13,33-52	116	36.53
2	26,44	14-52	1-13	176	75
3	15,36,48	14-52	1-13	219	75
4	6,15,36,48	2-52	1	248	98.07
5	6,11,15,36,48	1-52	-	263	100

10.1.2. Malazgirt Dönerkanat Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 15 km)

Bu senaryoda 15 km lik kaplama mesafesi içinde tam (%100) kaplamanın, 2, 11, 19, 29, 35, 43,50 numaralı talep noktalarına kurulan 7 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Bunun yanında karar verici tarafından %90'dan daha yüksek bir kaplama oranı yeterli görülürse, 5 veya 6 adet İHA istasyonu konuşlandırılması ile sadece bir adet talep noktasının kaplamaması durumu söz konusudur. Aşağıda Tablo-13' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Başka seçeneklerin kabul edilmesi, bölgedeki görev etkinliği açısından ciddi sıkıntılara sebep olabilir.

Tablo-13 Malazgirt Dönerkanat Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama mesafesi 15 km)					
İHA SAYISI	SEÇİLEN ADAY NOKTALAR	KAPLANAN TALEP NOKTA SAYISI	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA SAYISI	EN İYİ ÇÖZÜM DEĞERİ	KAPLAMA ORANI %
1	23	14-27	1-13,28-52	85	26.92
2	19,30	14-35	1-13,36-52	139	40.38
3	19,30,45	14-49	1-13,50,51,52	219	69.23
4	19,30,41,49	14-51	1-13,52	216	73.07
5	2,19,30,41,49	1-51	52	241	98
6	2,11,19,30,41, 49	1-51	52	256	98
7	2, 11, 19, 29, 35, 43,50	1-52	-	264	100

10.1.3. Bayraktar Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama Mesafesi 40 km)

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılması durumu incelenmiştir. 40 km lik kaplama mesafesi içinde tam (%100) kaplamanın, 1, 16, 44 numaralı talep noktalarına kurulan 3 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Bunun yanında karar verici tarafından %80'dan daha yüksek bir kaplama oranı yeterli görülürse, 2 adet İHA istasyonu konuşlandırılması ile 7 adet talep noktasının kaplamaması durumu söz konusudur. Aşağıda Tablo-14' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Başka seçeneklerin kabul edilmesi, bölgedeki görev etkinliği açısından ciddi sıkıntılara sebep olabilir.

Tablo-14 Bayraktar Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama Mesafesi 40 km)					
İHA SAYISI	SEÇİLEN ADAY NOKTALAR	KAPLANAN TALEP NOKTA SAYISI	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA SAYISI	EN İYİ ÇÖZÜM DEĞERİ	KAPLAMA ORANI %
1	29	9-42	1-13,43-52	178	65.38
2	13, 43	8-52	1-7	241	86.53
3	1, 16, 44	1-52	-	271	100

10.1.4. Malazgirt Dönerkanat Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama Mesafesi 30 km)

Bu senaryoda Dönerkanat Mini İHA için hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHAnın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılması durumu incelenmiştir. Normalde 15 km olan kaplama mesafesi röle sayesinde 30 km lik kaplama mesafesine sahip olmaktadır. 30 km lik kaplama mesafesi içinde tam (%100) kaplamanın, 2, 13, 28, 45 talep noktalarına kurulan 4 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Bunun yanında karar verici tarafından % 90'dan daha yüksek bir kaplama oranı yeterli görülürse, 3 adet İHA istasyonu 2, 28, 41 numaralı talep noktalarına konuşlandırılması ile 2 adet talep noktasının kaplamaması durumu söz konusudur. Aşağıda Tablo-15' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Başka seçeneklerin kabul edilmesi, bölgedeki görev etkinliği açısından ciddi sıkıntılara sebep olabilir.

Tablo-15 Malazgirt Dönerkanat Mini İHA istasyonu Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü (Kaplama Mesafesi 30 km)					
İHA SAYISI	SEÇİLEN ADAY NOKTALAR	KAPLANAN TALEP NOKTA SAYISI	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	EN İYİ ÇÖZÜM DEĞERİ	KAPLAMA ORANI %
1	29	10-39	1-9,10-52	145	57.69
2	28, 45	10-52	1-9	224	63.46
3	2, 28, 41	1-49	50,51,52	247	94.23
4	2, 13, 28, 45	1-52	-	216	100

10.1.5. Farklı Kaplama Mesafelerine Sahip (15 , 20 ve 30 km) Üç İHA İstasyonunun Aynı Anda Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü :

Bu senaryoda farklı kaplama mesafelerine sahip (15 , 20 ve 30 km) üç İHA'nın yer kontrol istasyonunun aynı anda konuşlandırılması senaryosunun çözümü incelenmiştir. Modelde Söz konusu İHA'ların sayısı karşılıklı olarak arttırılmak suretiyle tam (%100) kaplama sağlanıncaya kadar çözüm aranmıştır. Çözüm sonucunda 1 Bayraktar İHA'nın 16 numaralı noktaya ve 2 Dönerkanat İHA' nın 3, 50 numaralı noktalara 1 adet 30 km lik kaplama mesafesine sahip İHA' nın 39 numaralı noktaya konuşlandırılmasıyla tam kaplamanın sağlandığı görülmüştür. Aynı şekilde 2 Bayraktar İHA'nın 3 ve 51 numaralı noktalara ve 1 Dönerkanat İHA' nın 23 numaralı noktaya, 2 adet 30 km lik kaplama mesafesine sahip İHA' nın 10, 39 numaralı noktalara konuşlandırılmasıyla da tam kaplamanın sağlandığı görülmüştür.

Mevcut durum itibariyle bu tür İHA'ların aynı anda konuşlandırılması mümkün olmamakla birlikte farklı özelliklere ve hava koşullarına sahip sorumluluk sahalarında ilerleyen zamanlarda kullanılabileceği öngörülebilir.

Bunun yanında karar verici tarafından %90'dan daha yüksek bir kaplama oranı yeterli görülürse, 2 Bayraktar İHA'nın 32 ve 44 numaralı noktalara ve 1 Dönerkanat İHA'nın 2 numaralı noktaya, 1 adet 30 km lik kaplama mesafesine sahip İHA'nın 19 numaralı noktalara konuşlandırılmasıyla ile sadece üç adet talep noktasının kaplamaması durumu söz konusudur. Aynı şekilde 1 Bayraktar İHA'nın 7 numaralı noktaya ve 1 Dönerkanat İHA'nın 50 numaralı noktaya, 2 adet 30 km lik kaplama mesafesine sahip İHA'nın 14 ve 41 numaralı noktalara konuşlandırılmasıyla ile sadece bir adet talep noktasının kaplamaması durumu söz konusudur. Aşağıda Tablo-16' da bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-16 Farklı Kaplama Mesafelerine Sahip (15 , 20 ve 30 km) İHA'ların YKİ'nun Aynı Anda Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü							
İHA SAYISI			SEÇİLEN ADAY NOKTALAR	KAPLANAN TALEP NOKTA SAYISI	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	EN İYİ ÇÖZÜM DEĞERİ	KAPLAMA ORANI %
A (20)	B (15)	C (30)					
1	0	0	26(A),	14-32	1-13,33-52	116	36.53
1	1	0	26(A), 45(B),	14-49	1-13,50-52	165	69.23
1	1	1	25(A), 3(B),41(C)	14-49	1-13,50,51,52	234	69.23
2	1	1	32(A), 44(A), 2 (B), 19(C)	1-49	50-52	238	94.23
1	2	1	16(A), 3(B),50(B) 39(C)	1-52	-	249	100
1	1	2	7(A), 50(B) 14 (C), 41(C)	2-52	-	262	98.07
2	1	2	3(A),51(A) 23 (B) 10(C), 39(C)	1-52	-	271	100

10.2. Maksimum Beklenen Kaplama Senaryoları

Bu bölümde Tablo-13' deki Değişen Hava Şartları ve koşullara Göre Hizmet Verememe Olasılık Değerleri kullanılarak oluşturulan beklenen kaplama değerinin maksimize edilmesi senaryolarının çözümleri incelenecektir.

10.2.1. Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı ($p=0,15$) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km)

Bu senaryoda 20 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının olmadığı, görüşün açık, hafif derecede sis ve rüzgar hızının 15 knot dan az olduğu şartlarda bayraktar mini İHA nın hizmet verememe olasılığının 0,15 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2,6,11,15,26,36,44,48 numaralı talep noktalarına kurulan 8 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Aşağıda Tablo-17' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir.

Tablo-17 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,15) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km)				
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN İSTEK NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	26	14-32	1-13,33-52	104.40
2	26,44	14-50	1-13,51,52-	158.40
3	26,36,48	14-52	1-13	197.55
4	6,26,36,48	2-52	1	222.65
5	6,14,26,36,48	2-52	1	239.67
6	6,11,15,26,36,48	2-52	1	251.19
7	6,11,15,26,36,44,48	2-52	1	256.59
8	2,6,11,15,26,36,44,48	1-52	-	261.27

10.2.2. Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,5) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km)

Bu senaryoda 20 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının ve hafif derecede sisin olduğu, görüşün kısıtlı, rüzgar hızının 15 ile 25 knot arasında olduğu şartlarda bayraktar mini İHA'nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,5 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2,6,7,11,14,16,25,26,34,36,39,44,48,49 numaralı talep noktalarına kurulan 14 adet İHA istasyonu konuşturmakla mümkün olduğu görülmüştür. Aşağıda Tablo-18' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir.

**Tablo-18 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,5) Durumu Senaryosu
(Kaplama Mesafesi 20km)**

İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	26	14-32	1-13,33-52	58
2	26,44	14-50	1-13,51,52	88
3	25,26,44	14-50	1-13,51,52	116
4	15,26,36,48	14-52	1-13	139.75
5	16,26,32,44,48	14-52	1-13	155.50
6	6,16,26,32,44,48	2-52	1-13	170
7	6,14,25,26,36,44,48	2-52	1-13	184.37
8	6,14,25,26,36,39,47,48	2-52	1-13	195.62
-	-	-		-
-	-	-		-
-	-	-		-
14	2,6,7,11,14,16,25, 26,34, 36, 39,44 48, 49	1-52		235.312

10.2.3. Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,8) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 20km)

Bu senaryoda 20 km lik kaplama mesafesi içinde sağanak yağmur yağışının ve yoğun derecede sisin olduğu, görüşün az, rüzgar hızının 25 ile 35 knot arasında olduğu şartlarda bayraktar mini İHA nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,8 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelse de

model tüm talep noktalarının kaplaması 2,6,7,14,15,16,19,20,25,26,27,3,32, 36,38,39,44,45,47,48,49,50 numaralı talep noktalarına kurulan 22 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Her ne kadar tam kaplamanın 22 İHA olduğu sağlanmış olsa da, İHA sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olmalarından dolayı bu kadar yüksek miktarda İHA'nın aynı anda hudut hattı boyunca konuşlandırılmasının mümkün olmadığı değerlendirilmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-19' da bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir

Tablo-19 Bayraktar İHA hizmet Verememe Olasılığı (p=0,8) Durumu Senaryosu
(Kaplama Mesafesi 20km)

İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN İSTEK NOKTA	BİRDEN ÇOK KAPLANAN NOKTALAR	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	26	14-32	1-13,33-52		23.20
2	25,26	14-50	1-13		41.12
3	15,25,26	14-32	1-13,33-52	14-17,19- 21,23-29	54.60
4	15,25,26,44	14-50	1-13,51,52	14-17,19- 21,23-29	66.60
5	15,25,26,31,44	14-50	1-13,51,52	14-17,19- 32,23-31	77.84
6	15,16,25,26,32, 44	14-50	1-13,51,52	14-17,19- 31,23-29	88.08
7	15,16,25,26,32,44,48	14-52	1-13	14-17,19- 31,26-29	97.80
8	6,14,25,26,36,39,47,48	2-52	1	14- 17,19,20,23- 32	195.62
- - -	- - -	- - -		- - -	- - -
22	2 , 6 , 7 ,14 ,15 ,16 ,19 20 ,25,26,27,3,32, 36,38,39,44,45,47 , 48 ,49 ,50	1-52			183.53

10.2.4. Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe olasılığı (p=0,1) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km)

Bu senaryoda 15 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının olmadığı, görüşün açık, hafif derecede sis ve rüzgar hızının 15 knotdan az olduğu şartlarda dönerkanat mini İHA' nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,4 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2 , 11, 19,26, 35, 43,50 numaralı talep noktalarına kurulan 7 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-20' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-20 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,1) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km)				
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	23	14-27	1-13,28-52	76.50
2	19,30	14-35	1-13,36-52	125.10
3	19,30,45	14-49	1-13,50,51,52	169.20
4	19 , 30,41, 49	14-51	1-13,52	194.40
5	2,19 , 30,41, 49	1-51	52	216.90
6	2,11,19,30,41,49	14-50	1-13,51,52	230.40
7	2 , 11, 19,26, 35, 43,50	1-52	-	243.63

**10.2.5. Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,4)
Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km)**

Bu senaryoda 15 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının ve hafif derecede sisin olduğu, görüşün kısıtlı, rüzgar hızının 15 ile 25 knot arasında olduğu şartlarda dönerkanat mini İHA nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,4 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2,11,19,30,41,49 numaralı talep noktalarına kurulan 6 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-21' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-21 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,4) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km)				
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN İSTEK NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	23	14-27	1-13,28-52	73
2	19,30	14-35	1-13,36-52	83.40
3	19,30,45	14-49	1-13,50,51,52	112.80
4	19 , 26,35, 45	14-49	1-13,50,51,52	135.36
5	19,26,35,43,50	14-52	1-13	150.48
6	2,11,19,30,41,49	1-52	-	165.48

10.2.6. Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,7) durumu senaryosu (Kaplama Mesafesi 15 km)

Bu senaryoda 15 km lik kaplama mesafesi içinde sağanak yağmur yağışının ve yoğun derecede sisin olduğu, görüşün az, rüzgar hızının 25 ile 35 knot arasında olduğu şartlarda dönerkanat mini İHA nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,7 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2,14,19,23,26,30,35,43,45,50 numaralı talep noktalarına kurulan 10 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür.

Her ne kadar tam kaplamanın 10 İHA olduğu sağlanmış olsa da, İHA sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olmalarından dolayı bu kadar yüksek miktarda İHA'nın aynı anda hudut hattı boyunca konuşlandırılmasının mümkün olmadığı değerlendirilmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-22' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-22 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,7) Durumu Senaryosu Kaplama Mesafesi 15 km)					
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN İSTEK NOKTA	BİRDEN ÇOK KAPLANAN NOKTALAR	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	23	14-27	1-13,28-52	-	25.50
2	19,26	14-29	1-13,30-52	-	44.49
3	19,23,30	14-35	1-13,36-52	-	59.55
4	19,23,30, 45	14-49	1-13,50,51,52	-	74.25
5	19,23,26,30, 45	14-49	1-13,50,51,52	14-17, 19, 23-27	87.31
6	19,23,26,30,35, 45	14-49	1-13,50,51,52	14-17, 19, 23-27	98.23
7	19,23,26,30,35, 45,47	14-50	1-13,51,52	14-17,19, 23-27	108.46
8	14,19,23,26,30,35,45, 47	14-50	1-13,51,52	14-17,19, 23-27	117.11
9	14,19,23,26,30,35,43,45, 50	14-52	1-13	14-17,19, 23-27,47	124.95
10	2,14,19,23,26,30,35,43,45, 50	1-52	-	14-17,19, 23- 27	132.45

10.2.7. Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,15) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km)

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılmasıyla 40 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının olmadığı, görüşün açık, hafif derecede sis ve rüzgar hızının 15 knotdan az oldu yağmur yağışının olmadığı, görüşün açık, hafif derecede sis ve rüzgar hızının 15 knotdan az olduğu şartlarda bayraktar mini İHA' nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,5 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen

kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 9,29,43 numaralı talep noktalarına kurulan 3 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Aşağıda Tablo-23' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir.

Tablo-23 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,15) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km)					
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BİRDEN ÇOK KAPLANAN NOKTALAR	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	29	9-42	1-8,43-52	-	151.30
2	26,43	9-52	1-8,43-52	18,31-42	208.25
3	9,29,43	1-52	-	9-11,13,18,28,29,31-42	241.57

10.2.8 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,5) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km)

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılmasıyla 40 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının ve hafif derecede sisin olduğu, görüşün kısıtlı, rüzgar hızının 15 ile 25 knot arasında olduğu şartlarda bayraktar mini İHA'nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,5 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 9,10,29,31,39,43 numaralı talep noktalarına kurulan 6 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu

görülmüştür. Aşağıda Tablo-24' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir.

Tablo-24 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,5) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km)					
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BİRDEN ÇOK KAPLANAN NOKTALAR	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	29	9-42	1-8,43-52-	-	89
2	29,39	9-49	1-8,43-52-	-	138.25
3	29,39,43	9-52	1-8	10,14-43	241.57
4	10,29,31,43	5-52	2,3,4	10,14-18, 25-42	194.31
5	10,29,31,39,43	5-52	2,3,4	10,14-18, 25-42	211.03
6	9,10,29,31,39,43	1-52	-	9-11,13-18,23-43	224.34

10.2.9 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,8) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 40 km)

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılmasıyla 40 km lik kaplama mesafesi içinde sağanak yağmur yağışının ve yoğun derecede sisin olduğu, görüşün az, rüzgar hızının 25 ile 35 knot arasında olduğu şartlarda bayraktar mini İHA'nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,8 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar

beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 9,10,14,15,28,29,31,32,39 ,40,43, 44 numaralı talep noktalarına kurulan 12 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Tam kaplama 22 İHA ile sağlanmış olsa da, İHA sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olmalarından dolayı bu kadar yüksek miktarda İHA'nın aynı anda hudut hattı boyunca konuşlandırılmasının mümkün olmadığı değerlendirilmektedir.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-25' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir

Tablo-25 Bayraktar İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,8) Durumu Senaryosu (Kplama Mesafesi 40 km)					
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BİRDEN ÇOK KAPLANAN NOKTALAR	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	29	9-42	1-8-43-52	-	35.60
2	29,31	9-43	1-8,44-52	-	63.84
3	29,31,32	9-52	1-8	14-43	86.43
4	29,31,32,39	9-49	1-8,50-51-52	10,14-18, 25-42	105.96
5	29,31,32,39,40	1-8,50,51,52	9-11,13-49,	10,14-43, 25-42	121.49
6	10,29,31,32,39,40	5-50	1-4,51-52	14-43, 23- 43	135.53
7	10,28,29,31,32,39, 43	5-52	1-4,51-52	9-11,13-43	147.71
- -					
12	9,10,14,15,28,29 31,32,39 ,40,43, 44	1-52	-	9-49	190.62

**10.2.10. Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,1)
Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km)**

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılmasıyla 30 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının olmadığı, görüşün açık, hafif derecede sis ve rüzgar hızının 15 knotdan az olduğu şartlarda dönerkanat mini İHA' nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,1 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2,14,29,45 numaralı talep noktalarına kurulan 4 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür. Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-26' da bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-26 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,1) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km)				
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	29	10-39	1-9,40-52-	130.50
2	14,41	10-49	1-9,40-52-	197.10
3	8,28,41	2-49	1,50,51,52	224.73
4	2,14,29,45	1-52	-	249.75

10.2.11. Malazgirt Dönerkanat İHA hizmet verememe olasılığı (p=0,4) durumu senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km)

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılmasıyla 30 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının ve hafif derecede sisin olduğu, görüşün kısıtlı, rüzgar hızının 15 ile 25 knot arasında olduğu şartlarda dönerkanat mini İHA'nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,4 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2, 14,28,41,45 numaralı talep noktalarına kurulan 5 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Aşağıda Tablo-27' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-27 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı (p=0,4) Durumu Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km)				
İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	29	10-39	1-9,40-52	104
2	28,41	10-49	1-9,50,51,52	134
3	14,29,45	10-52	1-9	169.80
4	14,28,41,45	10-52	1-9	191.78
5	2, 14,28,41,45	1-52	-	210.98

10.2.12 Malazgirt Dönerkanat İHA hizmet verememe olasılığı (p=0,7) durumu senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km)

Bu senaryoda hudut hattında uygun arazi kesimine yerleştirilen röle sayesinde konuşlandırılacak İHA'nın kaplama mesafesinin iki katına çıkarılmasıyla 30 km lik kaplama mesafesi içinde yağmur yağışının ve hafif derecede sisin olduğu, görüşün kısıtlı, rüzgar hızının 15 ile 25 knot arasında olduğu şartlarda dönerkanat mini İHA nın hizmet verememe olasılığının artarak 0,7 olması durumunda İHA sayısına göre beklenen kaplama değeri incelenerek uygun istasyon noktalarının seçimi incelenmiştir. Her ne kadar beklenen kaplama değeri incelense de model tüm talep noktalarının kaplaması 2,14,15,27,28,29,41,44,45,46 numaralı talep noktalarına kurulan 10 adet İHA istasyonu konuşlandırmakla mümkün olduğu görülmüştür.

Konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı azaldıkça kaplama oranları önemli ölçüde azalmaktadır. Aksi durumda ise konuşlandırılacak İHA istasyon sayısı arttıkça orantılı bir şekilde beklenen kaplama değerinin arttığı görülmektedir. Tam kaplama 10 İHA ile sağlanmış olsa da, İHA sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olmalarından dolayı bu kadar yüksek miktarda İHA'nın aynı anda hudut hattı boyunca konuşlandırılmasının mümkün olmadığı değerlendirilmektedir. Aşağıda Tablo-28' de bu senaryonun çözümlerinden elde edilen analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo-28 Malazgirt Dönerkanat İHA Hizmet Verememe Olasılığı ($p=0,7$) Durumu
Senaryosu (Kaplama Mesafesi 30 km)

İHA SAYISI	İSTASYON KURULAN NOKTALAR	KURULAN İSTASYONUN KAPLADIĞI NOKTALAR	KAPLAMAYAN TALEP NOKTA	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
1	29	10-39	1-9,40-52	43.50
2	28,29	10-39	1-9,40-52	74.04
3	28,29,41	10-49	1-9, 50,51,52	74.10
4	14,28,29,41	10-49	1-9, 50,51,52	118.89
5	14,28,29,41,45	10-52	1-9	136.77
6	14,27,28,29,41,45	10-52	1-9	151.27
7	14,27,28,29,41,45,46	10-52	1-9	162.97
8	14,15,27,28,29,41,45,46	10-52	1-9	173.65
9	2 ,14,15,27,28,29,41,45,46	10-52	1-9	183.25
10	2 ,14,15,27,28,29,41,44,45,46	1-52	-	191.40

12. SONUÇ

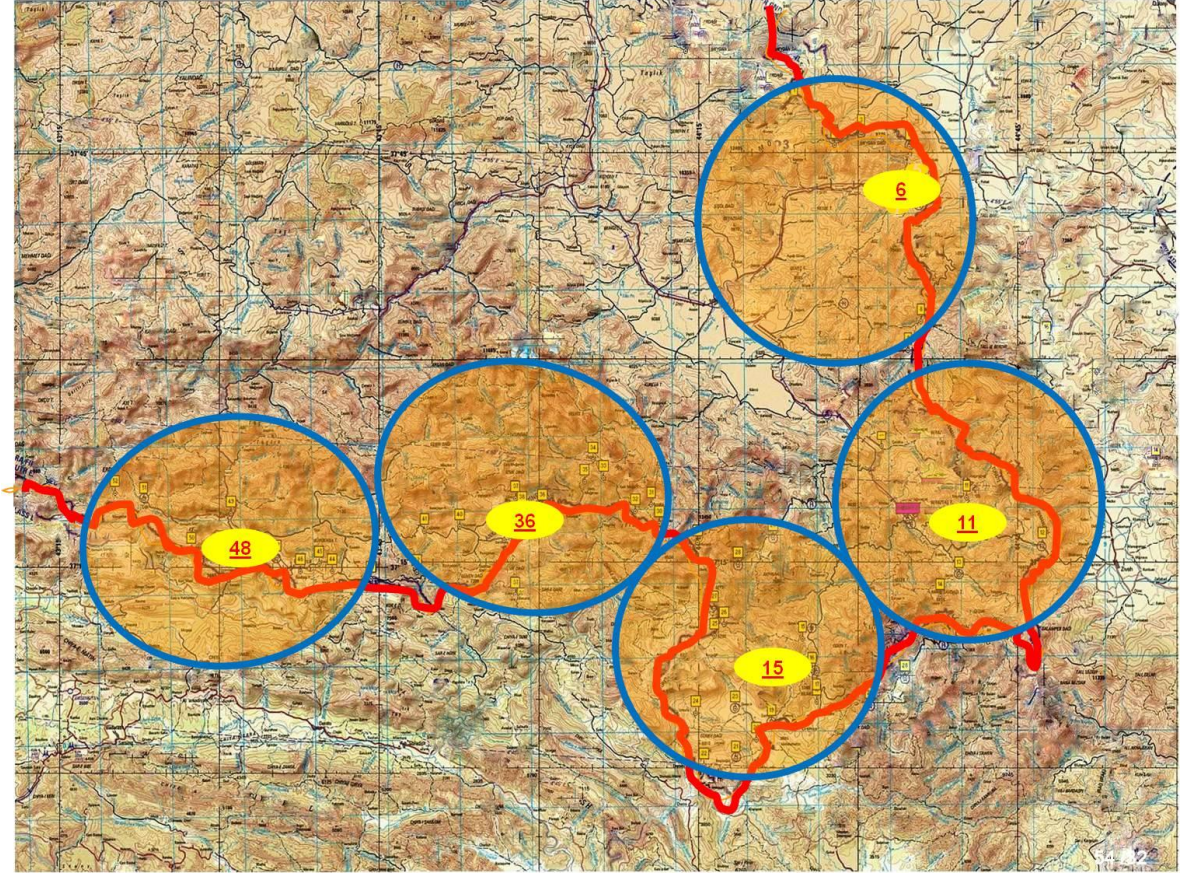
Bu çalışmada jenerik olarak seçilen sorumluluk sahası boyunca anlık İGK sağlayan İHA yer kontrol istasyonlarının yer seçimi problemi, öncelikle hava şartları ve değişen koşulların etkisi olmadan Maksimal Kaplama Problemi, daha sonra ise hava şartları ve değişen koşulların etkisinin de probleme dahil edilmesiyle ortaya çıkan hizmet verememe olasılıklarının etkisinin kullanıldığı Maksimal Beklenen Kaplama Problemi olarak iki aşamada çözümleri incelenmiştir.

Modelde teknik özellikleri itibariyle farklı kaplama mesafeleri sahip iki farklı tip İHA için öncelikle hava şartları ve değişen koşulların etkisi olmadan maksimum kaplama sağlanması amacıyla ilk dört senaryoda İHA tipleri ayrı ayrı, mevcut şartlar itibariyle mümkün olmamakla birlikte, beşinci senaryoda ise aynı anda sorumluluk bölgesinde farklı kaplama mesafelerine sahip iki ayrı İHA tipinin aynı anda farklı noktalarda konuşlandırılması incelenmiştir. Daha sonra ise hava şartları ve değişen koşulların etkisini de probleme dahil edilmesiyle ortaya çıkan hizmet verememe olasılıklarının kullanıldığı oniki senaryo olmak üzere toplamda onyedici senaryo analiz edilmiştir. Bütün senaryolarda mevcut İHA miktarlarından bağımsız olarak tam (%100) kaplama sağlanıncaya kadar çözümler aranmıştır. Maksimum kaplama senaryoların çözümlerinin karşılaştırılması sonucunda bir istek noktasının sadece bir İHA istasyonu tarafından kaplaması şartı aranmıştır.

Modelde hava şartları ve değişen koşulların etkisi olmadan yani hizmet verememe olasılıkları (p değerleri) 0 alındığında Maksimal Kaplama Problemi olarak sonuçlar alınmaktadır.

Maksimal kaplama modeli için konuşlandırılacak İHA istasyonu sayısı arttıkça amaç fonksiyonu değeri ve kaplama oranlarının arttığı görülmektedir. Ayrıca sorumluluk sahasında yüksek kaplama mesafesine sahip İHA'lar görev aldığı daha az miktarda İHA ile tam kaplamanın sağlandığı sonucu elde edilmiştir. Örneğin seçilen bölgede tam kaplama 15 km lik kaplama mesafesine sahip 7 adet Malazgirt Dönerkanat İHA ile sağlanırken aynı

bölgede 20 km lik kaplama mesafesine sahip Bayraktar İHA kullanıldığında tam kaplama 5 adet İHA ile sağlandığı ve amaç fonksiyonun değerinin 263 olduğu görülmektedir. Bu sonuç ile tek tip İHA konuşlandırılmasıyla %100 kaplamanın sağlandığı görülmektedir. Bu durum Şekil-9'da sunulmuştur.



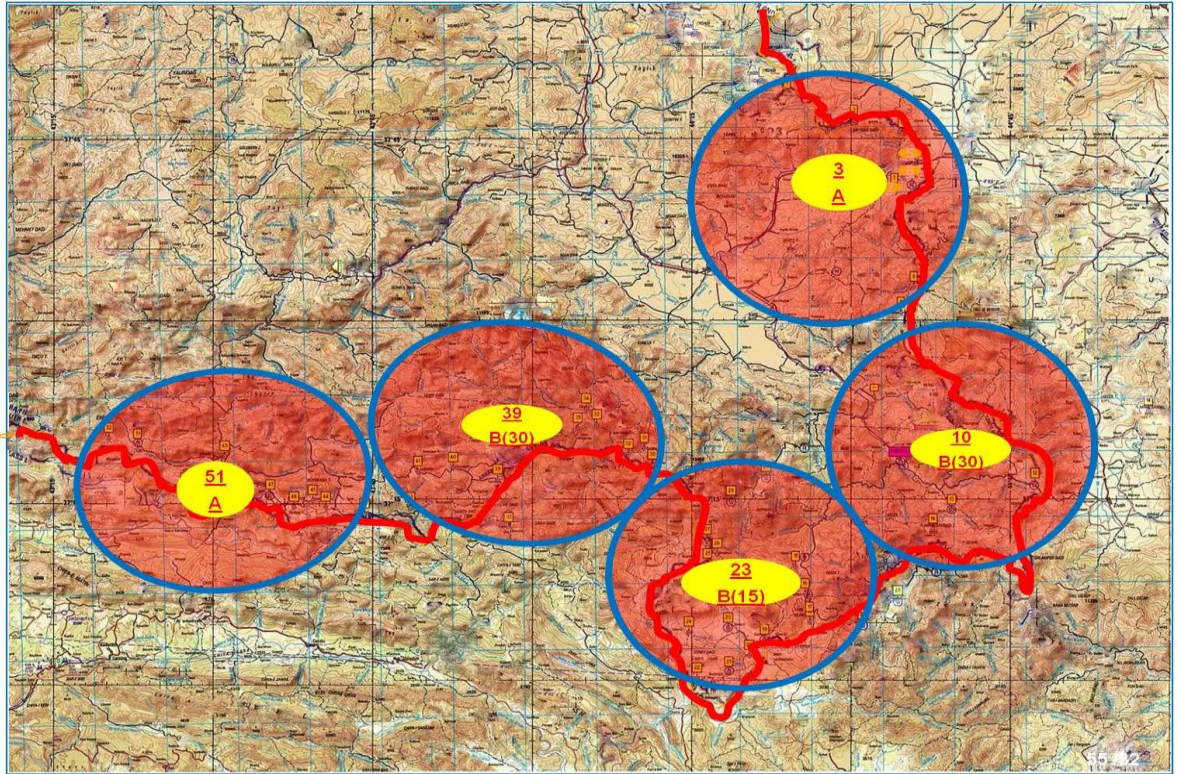
Şekil-9- Bayraktar Mini İHA İstasyonu Konuşlandırılması Senaryosu Gösterimi

Röle sistemi kullanılarak İHA'ların kaplama mesafeleri iki katına çıkarılarak modele uygulandığında, 30 km kaplama mesafesine sahip 3 adet Dönerkanat İHA ile tam kaplamanın sağlandığı, aynı şekilde 40 km lik kaplama mesafesine sahip 3 adet Bayraktar İHA ile tam kaplamanın sağlandığı görülmektedir.

Tedarik maliyetlerinin yüksek olması ve mevcut durum itibarıyla mümkün olmamakla birlikte beşinci senaryoda farklı kaplama mesafelerine sahip İHA'ların sorumluk

sahasında aynı anda konuşlandırılması senaryosu incelenmiştir. Bu senaryoda 20 km lik kaplama mesafesine sahip 2 adet bayraktar İHA, 1 adet 15 km lik kaplama mesafesine sahip Malazgirt Dönerkanat İHA ve röle sistemiyle kaplama mesafesi arttırılan 2 adet 30 km lik kaplama mesafesine sahip Malazgirt Dönerkanat İHA ile tam kaplamanın sağlandığı ve amaç fonksiyonu değerinin 271 olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil-10'da sunulmuştur.

Aynı şekilde 20 km lik kaplama mesafesine sahip 1 adet Bayraktar İHA, 2 adet 15 km lik kaplama mesafesine sahip Malazgirt Dönerkanat İHA ve röle sistemiyle kaplama mesafesi arttırılan 1 adet 30 km lik kaplama mesafesine sahip Malazgirt Dönerkanat İHA ile tam kaplamanın sağlandığı ve amaç fonksiyonu değerinin 249 olduğu görülmüştür. Maksimum Kaplama Senaryo Çözüm sonuçları Tablo-29'da sunulmuştur.



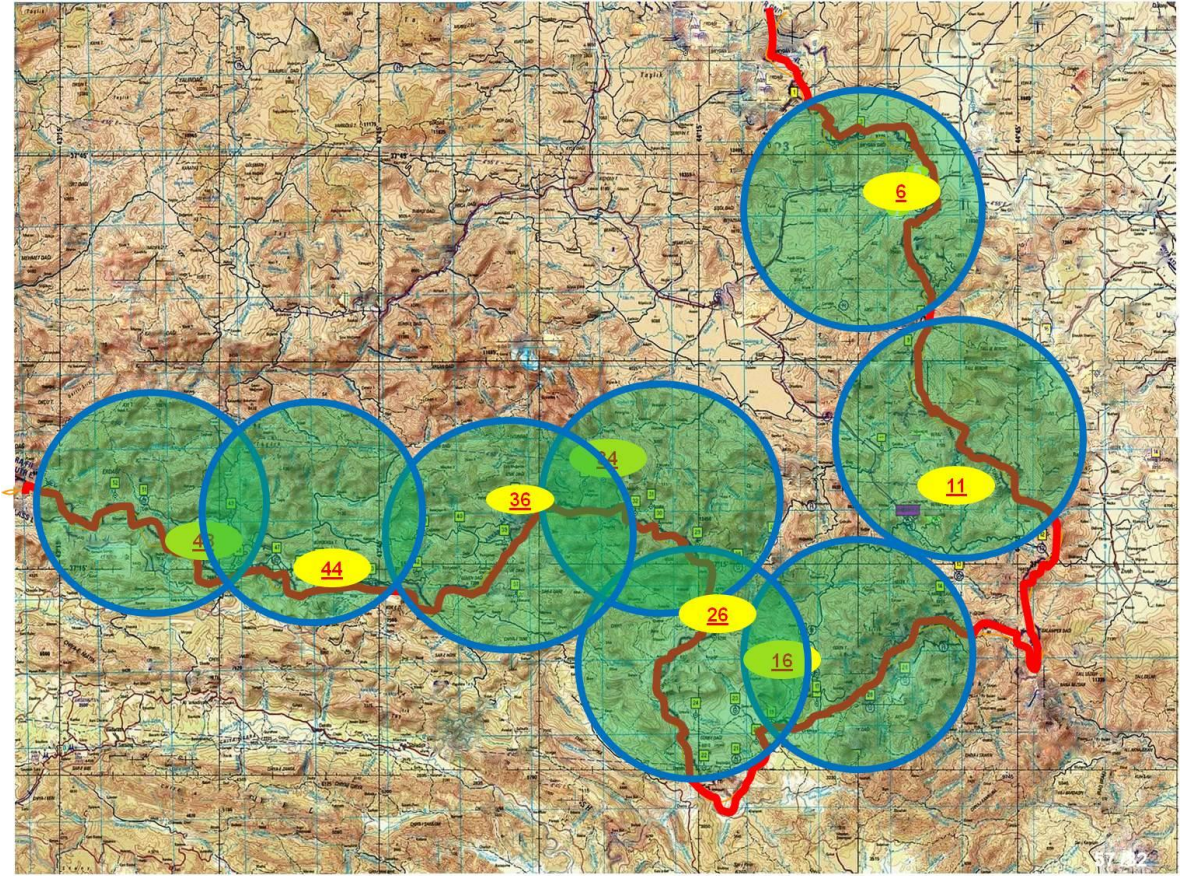
Şekil-10-. Farklı Kaplama Mesafelerine Sahip Üç İHA İstasyonunun Aynı Anda Konuşlandırılması Senaryosunun Çözümü Gösterimi.

Tablo-29 Maksimum Kaplama Senaryo Sonuç Çözümleri					
İHA TIPLERİ	KAPLAMA MESAFESİ (KM)	İHA SAYISI	SEÇİLEN KONTALAR	KAPLAMA ORANI %	AMAÇ FONKSİYON DEĞERİ
DÖNERKANAT	15	7	2,11,19,29,35,43,50	100	264
BAYRAKTAR	20	5	6,11,15,36,48		263
DÖNERKANAT	30	4	2,13,28,45		216
BAYRAKTAR	40	3	1,16,44		271
BAYRAKTAR	20	2	3,51	100	271
DÖNERKANAT	15	1	23		
DÖNERKANAT	30	2	10,39,		
BAYRAKTAR	20	1	16	100	249
DÖNERKANAT	15	2	3,50		
DÖNERKANAT	30	1	39		

Maksimum Beklenen Kaplama senaryolarında p değerleri yükseldikçe talep noktalarında maksimum kaplamanın sağlanması amacıyla daha fazla İHA istasyonu kurulması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Ancak yüksek olasılık değerinde İHA sayısı artsa bile beklenen kaplama değerlerinin düştüğü, talep noktalarının farklı İHA istasyonları tarafından birden çok defa kaplandığı görülmektedir. Model yüksek p değerlerinde İHA sayısını artmasıyla kaplama oranını yükseltmeye çalışmaktadır. Beklenen kaplama değerlerinin maksimize edilmesi senaryolarının çözüm sonuçları Tablo-30'da görülmektedir.

Örneğin model sorumluluk sahasında 20 km lik kaplama mesafesine sahip 8 adet Bayraktar İHA 'nın konuşlandırılması ve 0.8 p değeriyle çözüldüğünde tam kaplamayı ancak sağladığı ve 183.53 beklenen kaplama değerini aldığı, aynı İHA'nın röle sistemi

kullanılarak arttırılan 40 km lik kaplama mesafesi ile model çözüldüğünde 3 adet bayraktar İHA ile tam kaplama sağladığı ve beklenen kaplama değerinin 190.62 olduğu görülmektedir. Modelde en yüksek beklenen kaplama değerinin 0.15 p değeriyle 20 km'lik kaplama mesafesine sahip 8 adet İHA istasyonu konuşlandırılmasıyla, 261.27 sonucuyla sağlandığı görülmektedir. Aynı zamanda 14 ile 50 arasındaki talep noktalarının iki defa, 30,31 ve 32 numaralı talep noktalarının üç defa başka İHA istasyonları tarafından kaplandığı görülmektedir. Bu durum Şekil-11'de sunulmuştur. Bunun sonucunda kaplama mesafelerinin de beklenen kaplama değeri üzerinde olumlu etki yaptığı anlaşılmaktadır.



Şekil-11- 0.15 p Değeriyle 20 km'lik Kaplama Mesafesine Sahip 8 Adet Bayraktar İHA İstasyonu Konuşlandırılması Senaryosu Gösterimi.

Tablo-30 Maksimum Beklenen Kaplama Senaryo Sonuç Çözümleri									
İHA TİPLERİ	İHA SAYISI	p DEĞERİ	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ	İHA SAYISI	p DEĞERİ	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ	İHA SAYISI	p DEĞERİ	BEKLENEN KAPLAMA DEĞERİ
Bayraktar.(20 km)	8	0,15	261.27	14	0,5	235.31	22	0,8	183.53
Dönerkanat.(15 km)	7	0,1	243.63	6	0,4	165.48	10	0,7	132.00
Bayraktar.(40 km)	3	0,15	241.37	6	0,5	224	12	0,8	190.62
Dönerkanat.(30 km)	4	0,1	249.75	5	0,4	210	10	0,7	191.40

Bu çalışmada jenerik olarak seçilen SAFİR ile DEMİR ülkeleri hudut hattı boyunca farklı kaplama mesafelerinde İHA istasyon yerlerini temsilen aday noktaları ve bu istasyonların kapsama alanlarından gelen İGK taleplerine cevap verebileceği talep noktaları belirlenmiştir. Aday noktası seçimi, derecelendirmesi ve görev yapmış ve halen görev yapmakta olan uzman personelin görüşleri dikkate alınarak yapılmıştır. Talep noktası girişi ise bölgede meydana gelen olaylar ve yoğunlukları göz önüne alınarak yapılmıştır. Aday noktalarının seçimindeki belirsizliği en aza indirmek ve bölgesel şartların etkisini modele yansıtmak amacıyla modele istasyon kurulacak aday noktaların ağırlık değerleri ilave edilmiştir.

Model GAMS yazılımı kullanarak bilgisayarda çözülmüş, her senaryo için çözümler elde edildikten sonra parametrik analizleri yapılmış ve kullanılan kriterlere göre optimal çözümlerin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Bütün senaryolarda mevcut İHA miktarlarından bağımsız olarak tam % 100 kaplama sağlanıncaya kadar çözümler aranmıştır. Maksimum kaplama senaryoların

özmlerinin karşılaştırılması sonucunda bir talep noktasının sadece bir İHA istasyonu tarafından kaplaması şartı aranmıştır.

Model, terörle mücadele ve hudut hattının korunmasında görevli birliklerin anlık İGK isteklerine bir çözüm sunması ve geliştirilen modelin farklı arazi kesimleri ve sorumluluk sahalarında da kolayca uygulanabilmesi açısından başarılıdır.

Oluşturulan bu modelin etkinliği ve geçerliliği gerçek durumların modele mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde yansıtılmasına bağlıdır. Bu nedenle, aday noktalarının bölgesel özellik değerleri ve özellikle İHA'ların değişen hava şartları ve koşullarda hizmet verememe olasılıkları belirlenirken hudut hattı ve muharebe şartlarında İHA kullanıcısı ve komutan seviyesinde görev yapmış, yapmakta olan güvenlik birimleri ve uzman personelinin görüşlerinden faydalanılmıştır.

Modelde, kullanılan İHA tiplerinin teknik imkan ve kabiliyetlerine göre kaplama mesafeleri, esas alınmıştır. Gelişen İHA tipleri ve bu sistemlerin kullanıldığı arazi şartları değiştiğinde İHA istasyonlarının imkan ve kabiliyetlerini de değiştirecektir. Bu yüzden, değişen durumlara göre her İHA sistemlerinin kaplama mesafesinin de değişeceğinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Hava şartlarındaki değişim hava araçlarının uçuş imkan kabiliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Daha büyük hava aracı hava şartlarından daha az etkileneceğinden dolayı kaplama mesafeleri daha yüksek olmaktadır.

Dönerkanat İHA'ların herhangi bir hedef tespit ettiğinde hover (Havada askıda kalma) durumunda bekleyip üzerindeki hedefe odaklanma özelliğinden dolayı aynı özelliklere sahip sabit kanat İHA'lara göre hizmet verememe olasılıklarının daha düşük olduğu kabul edilmiştir.

Maksimal Beklenen Kaplama probleminde hava şartları ve rüzgar durumunun uçuşa tamamen müsait olması hizmet verememe olasılığının 0, yoğun kar yağışı ve fırtına

koşullarında Mini İHA'ların uçuşa müsait olmama durumu olasılığı 1 olması sebebiyle bu senaryolar incelenmemiş olup ara durumlar incelenmiştir.

Rüzgarın değişken olarak kabul edildiği durumlarda hava aracının gidiş istikametine göre 90 veya 270 dereceden geldiği kabul edilmiştir. Rüzgarın mini İHA'lara yandan gelmesi durumu uçuşunu olumsuz etkilemektedir

Bu çalışmada, geliştirilen (0/1) tamsayılı programlama modeli GAMS yazılımı ile bilgisayarda çözülmüştür.

Hava ve arazi şartlarının zor olduğu bölgelerde mini İHA sistemlerinin yüksek hizmet verememe olasılık değerlerine sahip olduğundan yüksek menzil ve havada kalma imkan kabiliyetlerine sahip İHA sistemleri veya Tethered Aerostat (yere bağlı balon) sistemleri kullanılabilir. İlerleyen çalışmalarda hudut hattında ve muharebe şartlarında görev yapan birliklerden gelecek anlık İGK taleplerinin de olasılıksal olarak ele alınabileceği problemler düşünülebilir ve çözümünde sezgisel teknikler kullanılabilir.

EKLER

EK-A Aday Noktalar Değerlendirme Katsayıları,

EK-B Talep Noktalarının Ağırlık Dereceleri,

EK-C Matematiksel Modelin GAMS Yazılımı,

EK-Ç Talep ve Aday Noktalar Mesafe Matrisi.

ADAY NOKTALAR DEĞERLENDİRME KATSAYILARI

<i>Aday Noktalar</i>	<i>İHA Uçuşuna Müsaitliği</i>	<i>Duyum Yoğunluğu</i>	<i>Kaçakçılık Olayları Yoğunluğu</i>	<i>Terör Olayları Yoğunluğu</i>	<i>Ulaşım Kolaylığı</i>
X(1)	6	2	4	3	2
X(2)	7	3	3	1	4
X(3)	3	1	2	5	5
X(4)	3	2	4	6	4
X(5)	10	7	8	7	10
X(6)	8	3	4	2	6
X(7)	3	1	2	1	6
X(8)	3	2	5	4	7
X(9)	2	2	4	3	4
X(10)	2	1	4	4	3
X(11)	10	2	3	4	3
X(12)	2	5	7	6	6
X(13)	9	3	2	5	2
X(14)	8	7	8	7	10
X(15)	10	7	9	8	10
X(16)	7	5	8	6	7
X(17)	10	8	8	7	7
X(18)	10	5	9	6	6
X(19)	6	5	10	2	10
X(20)	10	4	9	5	8
X(21)	8	7	10	8	10
X(22)	9	5	7	4	7
X(23)	5	4	3	6	10
X(24)	7	8	5	7	8
X(25)	10	7	3	9	2
X(26)	8	5	5	8	4

ADAY NOKTALAR DEĞERLENDİRME KATSAYILARI

<i>Aday Noktalar</i>	<i>İHA Uçuşuna Müsaitliği</i>	<i>Duyum Yoğunluğu</i>	<i>Kaçakçılık Olayları Yoğunluğu</i>	<i>Terör Olayları Yoğunluğu</i>	<i>Ulaşım Kolaylığı</i>
X(27)	3	10	3	8	2
X(28)	10	9	8	9	10
X(29)	3	5	6	7	3
X(30)	3	4	3	8	2
X(31)	6	7	3	7	1
X(32)	8	4	2	7	5
X(33)	10	5	3	7	2
X(34)	8	9	8	9	10
X(35)	8	4	5	4	2
X(36)	4	2	3	4	2
X(37)	6	4	5	3	4
X(38)	5	3	7	1	2
X(39)	8	3	4	2	3
X(40)	4	6	2	4	6
X(41)	4	3	2	3	8
X(42)	8	7	5	6	6
X(43)	8	7	5	7	8
X(44)	7	5	6	7	7
X(45)	5	3	7	5	6
X(46)	4	3	5	4	7
X(47)	8	9	8	9	10
X(48)	10	7	8	7	10
X(49)	3	7	8	6	9
X(50)	10	3	5	4	3
X(51)	8	4	6	7	9
X(52)	8	5	3	6	10

EK-B**TALEP NOKTALARININ AĞIRLIKLI
DEĞERLERİ**

<i>Talep Noktaları</i>	<i>Ağırlık Değerleri (wi)</i>
Y(1)	3
Y(2)	2
Y(3)	2
Y(4)	4
Y(5)	10
Y(6)	3
Y(7)	1
Y(8)	4
Y(9)	3
Y(10)	3
Y(11)	3
Y(12)	6
Y(13)	3
Y(14)	7
Y(15)	8
Y(16)	6
Y(17)	8
Y(18)	6
Y(19)	7
Y(20)	6
Y(21)	8
Y(22)	5
Y(23)	4
Y(24)	7
Y(25)	6
Y(26)	6
Y(27)	7
Y(28)	9
Y(29)	7
Y(30)	5
Y(31)	6
Y(32)	4
Y(33)	5
Y(34)	8
Y(35)	4
Y(36)	3
Y(37)	4
Y(38)	4

EK-B**TALEP NOKTALARININ AĞIRLIKLI
DEĞERLERİ**

<i>Talep Noktaları</i>	<i>Ağırlık Değerleri (wi)</i>
Y(39)	3
Y(40)	4
Y(41)	3
Y(42)	6
Y(43)	6
Y(44)	6
Y(45)	5
Y(46)	4
Y(47)	8
Y(48)	7
Y(49)	7
Y(50)	4
Y(51)	6
Y(52)	5

MATEMATİKSEL MODELİN GAMS YAZILIMI

sets

i talep noktası /t1*t52/,

m kaplanma sayısı /k1*k50/;

alias (i,j);

parameters

d(i,j) i talep noktası ile j talep noktası arasındaki mesafe,

alpha(i,j) i talep noktasına yerleştirilen A tipi İHA'nin j talep noktasının kaplama durumu,

beta(i,j) i talep noktasına yerleştirilen B tipi İHA'nin j talep noktasının kapsama durumu,

gama(i,j) i talep noktasına yerleştirilen C tipi İHA'nin j talep noktasının kapsama durumu;

table

d(i,j) i talep noktası ile j talep noktası arasındaki mesafe

i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14	i15	i16	i17	i18	i19	i20	i21	i22	i23	i24	i25	i26	i27	i28	i29	i30	i31	i32	i33	i34	i35	i36	i37	i38	i39	i40	i41	i42	i43	i44	i45	i46	i47	i48	i49	i50	i51	i52	
i1	0	7.9743	10.0491	16.9285	20.2997	21.9015	20.6928	34.2636	36.8297	48.1274	58.6019	69.0466	69.809	71.2702	72.5577	76.7339	77.2066	81.064	83.799	86.2664	89.0153	90.4225	82.3034	83.6776	72.9415	71.2546	69.3431	62.9919	61.0434	59.9634	57.9242	59.5887	57.3211	55.8119	58.9622	64.8551	66.0147	66.7633	71.5187	73.7435	77.3039	82.2532	86.474	89.5102	90.073	92.6817	93.9184	98.2624	95.2168	102.5931	104.3271	107.3476
i2	7.9743	0	4.0472	10.2911	12.6698	14.0348	12.7218	26.582	29.4131	41.4132	51.2024	61.3596	62.8491	64.6502	67.0085	71.0741	71.4965	75.359	78.5415	81.1473	84.088	85.7985	77.4455	79.2426	68.4635	66.6919	64.9558	58.3716	57.117	56.7463	54.9758	56.8418	55.3759	54.2311	57.2804	63.5538	65.1589	65.6891	70.4026	73.2722	77.1723	81.8261	86.4603	89.9046	90.6396	93.33	94.8593	99.4347	96.8613	104.1528	106.5702	109.7841
i3	10.0491	4.0472	0	6.9096	10.5004	12.4547	11.8815	26.7999	30.055	42.7403	51.6775	61.3087	63.8076	67.6651	69.0795	73.062	73.4505	77.3053	80.7537	83.4338	86.4698	88.3316	79.9798	103.4447	71.1094	69.3031	67.6398	60.9852	60.0436	59.9331	58.2636	60.1858	58.9435	57.8853	60.9051	62.2475	68.9359	69.4297	74.1225	77.1041	81.0516	85.6566	90.349	93.8419	94.5963	97.2939	98.8495	103.4447	100.895	108.1817	110.6172	113.831
i4	16.9285	10.2911	6.9096	0	5.1307	7.7327	8.6258	23.6133	27.4149	40.9035	48.2974	57.0647	61.0755	66.7953	68.2886	72.0816	72.4023	76.2179	80.1673	82.9836	86.2012	88.3749	79.7521	82.1831	71.4936	69.6237	68.1156	61.3791	61.1535	61.7039	60.2914	62.3499	61.769	60.9978	63.8994	70.439	72.4269	72.7802	77.3762	80.7862	84.9341	89.3071	94.2528	97.9918	98.8588	101.5965	103.3298	108	105.7909	113.0059	115.8264	119.1393
i5	20.2997	12.6698	10.5004	5.1307	0	2.6428	4.2874	18.5911	22.4917	36.1213	43.1879	51.9515	56.0358	62.2413	63.7595	67.4765	67.7735	71.5689	75.6882	78.5511	81.8344	84.1335	75.4563	78.0692	67.447	65.5535	64.1838	57.3756	57.5174	58.439	57.1963	59.3283	59.1937	58.6337	61.4306	68.0774	78.282	70.5259	75.0228	78.7548	83.0497	87.2202	92.359	96.2927	97.2559	100.0223	101.9124	106.7438	104.7693	111.897	115.114	118.5312
i6	21.9015	14.0348	12.4547	7.7327	2.6428	0	2.6144	15.9487	19.8637	33.5242	40.5655	49.4353	53.3935	59.7066	61.2327	64.9237	65.2132	69.0016	73.1752	76.0537	79.3554	81.7039	73.009	75.6906	65.1001	63.1983	61.8695	55.0536	55.3529	56.44	55.2774	57.4401	57.5161	57.0585	59.7997	66.4866	68.7915	68.9827	73.435	77.3073	81.6677	85.7369	89.4095	94.9867	95.9954	98.7733	100.7379	105.6182	103.7861	110.8653	104.2758	117.7424
i7	20.6928	12.7218	11.8815	8.6258	4.2874	2.6144	0	15.2378	18.8761	32.282	40.1062	49.4584	52.6393	58.2054	59.7079	63.4765	63.7913	67.6027	71.6088	74.4474	77.6998	79.9502	71.2915	73.8471	63.2073	61.1885	59.9292	53.1253	53.2306	54.1682	52.9473	55.09	55.0525	54.5535	57.3166	63.9886	66.2595	66.4679	70.9338	74.7635	79.1071	83.2041	88.4023	92.4103	93.4107	96.1866	98.1404	103.0152	101.1732	108.2547	111.6622	115.1306
i8	34.2636	26.582	26.7999	23.6133	18.5911	15.9487	15.2378	0	4.2565	18.0316	24.898	34.7905	37.4622	44.5628	46.1451	49.6189	49.8498	53.5753	58.1396	61.1211	64.5778	67.2412	58.462	61.6337	51.3752	49.4307	48.4347	41.6675	43.208	45.5395	45.0188	47.3397	48.9509	49.2419	51.4873	58.2509	61.1858	61.0097	65.0081	69.7908	74.5018	77.8228	83.5317	88.1009	89.3923	92.2063	94.6262	99.7596	98.8579	105.5441	110.1368	113.8761
i9	36.8297	29.4131	30.055	27.4149	22.4917	19.8637	18.8761	4.2565	0	13.8179	21.7953	32.4732	33.8079	40.3238	41.9003	45.399	45.6394	49.3784	53.8942	56.8704	60.3226	62.9867	54.2065	57.3988	47.175	45.2284	44.2707	37.5239	39.2609	41.8246	41.4456	43.7832	45.729	46.1943	48.3017	55.0318	58.0901	57.8319	61.7074	66.6663	71.4329	74.5769	80.37	85.0412	86.3902	89.2031	91.7159	96.8902	96.2007	102.7787	107.628	111.4206
i10	48.1274	41.4132	42.7403	40.9035	36.1213	33.5242	32.282	18.0316	13.8179	0	13.741	26.0468	21.8206	26.5609	28.1558	31.5873	31.8222	35.5619	40.1467	43.1585	46.6716	49.5003	40.7088	44.2196	34.4097	32.4627	31.8609	25.4202	28.5738	24.6602	32.8893	35.3049	38.7406	39.9964	41.3673	47.692	51.2171	50.5971	53.8086	59.4493	64.3621	66.6779	72.7536	77.7934	79.3709	82.1447	85.0111	90.2951	90.4609	96.5418	102.3483	106.3105
i11	58.6019	51.2024	51.6775	48.2974	43.1879	40.5655	40.1062	24.898	21.7953	13.741	0	12.3062	13.7729	28.105	29.7149	31.6083	31.4952	34.5269	40.6241	43.8152	47.6333	51.2977	61.8023	47.54	39.6237	37.8423	38.1285	32.9633	37.8395	42.7835	43.8441	46.0188	50.46	52.0987	53.0272	58.9067	62.6369	61.8023	64.4656	70.4661	75.3866	77.0597	83.2526	88.5008	90.2132	92.9269	96.0042	101.3092	102.0029	107.7343	114.0433	118.0936
i12	69.0466	61.3596	61.3087	57.0647	51.9515	49.4353	49.4584	34.7905	32.4732	26.0468	12.3062	0	15.7858	34.3086	35.7048	36.1986	35.8253	37.8951	44.6305	47.7168	51.2565	55.6545	48.0915	53.2775	47.168	45.6124	46.4411	42.3489	47.9095	53.2754	54.6613	56.7136	61.6041	63.4474	64.1065	69.6469	73.4681	72.5047	74.7827	80.9603	85.8443	87.0583	93.2806	98.6368	100.4384	103.0192	106.3058	111.5997	112.6797	118.1295	124.8285	128.8989
i13	69.809	62.8491	63.8076	61.0755	56.0358	53.3935	52.6393	37.4622	33.8079	21.8206	13.7729	15.7858	0	18.7245	20.0398	20.4237	20.0715	22.3584	28.988	32.1177	35.9504	39.993	32.3103	37.4947	31.8232	30.3986	31.5123	28.4221	34.5113	40.25	42.0917	43.8872	49.4232	51.6434	51.7437	56.6105	60.5112	59.3667	61.1015	67.4283	72.2172	72.9057	79.1132	84.5464	86.4323	89.0068	92.3514	97.6067	99.1526	104.2255	111.366	115.4768
i14	71.2702	64.6502	67.6651	66.7953	62.2413	59.7066	58.2054	44.5628	40.3238	26.5609	28.105	34.3086	18.7245	0	1.6521	5.4659	5.9881	9.8122	13.5876	16.6335	20.2483	23.4772	14.8695	19.4579	13.2171	11.993	13.5727	13.2066	19.4587	25.263	27.7379	28.9332	35.1207	37.7811	37.0116	40.6518	44.5372	43.1755	44.1327	50.5323	55.1315	55.2068	61.3494	66.8262	68.7873	71.2652	74.7236	79.9125	81.928	86.5885	94.139	98.2706
i15	72.5577	67.0085	69.0795	68.2886	63.7595	61.2327	59.7079	46.1451	41.9003	28.1558	29.7149	35.7048	20.0398	1.6521	0	4.3548	5.011	8.6766	11.9946	15.0138	18.6085	21.8255	13.2302	17.884	12.1916	11.1454	12.9445	13.4196	19.5125	22.727	27.7836	28.8588	35.1015	37.8118	36.9065	40.3016	44.1665	42.7677	43.5537	49.951	54.4966	54.4185	60.5342	66.0165	67.9953	70.4451	73.9301	79.0974	81.2245	85.7831	93.4252	97.5587
i16	76.7339	71.0741	73.062	72.0816	67.4765	64.9237	63.4765	49.6189	45.399	31.5873	31.6083	36.1986	20.4237	5.4659	4.3548	0	0.8035	4.3539	9.0331	12.2197	16.0264	19.7721	11.8978	17.1889	14.2771	13.742	15.9165	17.494	23.3726	28.9394	31.5834	32.4987	38.7893	41.5565	40.4684	43.4525	47.2659	45.8025	46.2385	52.607	57.0185	56.5681	62.5959	68.079	70.1002	72.4707	76.0194	81.121	83.5298	87.8227	95.69	99.8237
i17	77.2066	71.4965	73.4505	72.4023	67.7735	65.2132	63.7913	49.8498	45.6394	31.8222	31.4952	35.8253	20.0715	5.9881	5.011	0.8035	0	3.8632	9.1354	12.3259	16.1562	20.0018	12.3209	17.6746	15.0541	14.539	16.7191	18.2502	24.1555	29.7333	32.3727	33.2963	39.5856	42.3502	41.2691	44.2546	48.0669	46.6023	47.026	53.3923	57.7964	57.3225	63.3428	68.0252	70.8493	73.2135	76.7667	81.8626	84.2919	88.566	96.4486	100.5821
i18	81.064	75.359	77.3053	76.2179	71.5689	69.0016	67.6027	53.5753	49.3784	35.5619	34.5269	37.8951	22.3584	9.8122	8.6766	4.3539	3.8632	0	6.8309	9.8311	13.6305	62.0305	57.1464	55.1842	47.3448	46.7771	44.2847	41.9256	35.9108	30.5621	27.7927	27.3156	21.1524	18.2501	20.3892	22.1336	20.9373	22.3756	26.6772	26.3789	28.9185	34.3426	37.6686	40.2436	40.695	43.2734	44.5142	48.9698	46.4158	53.6674	56.6082	60.0717
i19	83.799	78.5415	80.7537	80.1673	75.6882	73.1752	71.6088	58.1396	53.8942	40.1467	40.6241	44.6305	28.988	13.5876	11.9946	9.0331	9.1354	6.8309	0	3.1912	7.0232	11.0245	5.3761	10.5732	14.0459	14.7493	17.2414	21.7175	26.2629	30.943	33.7675	34.0745	40.2887	43.1797	41.4786	43.0967	46.6593	45.0513	44.5426	50.6895	54.6848	53.3696	59.11	64.5265	66.6181	68.7911	72.4446	77.3601	80.3769	84.0478	92.364	96.4756
i20	86.2664	81.1473	83.4338	82.9836	78.5511	76.0537	74.4474	61.1211	56.8704	43.1585	43.8152</																																									

27	69.3431	64.9455	67.6398	68.156	64.1838	61.8695	59.9292	48.4347	44.2707	31.8609	38.1285	46.4411	31.5123	13.5727	12.9445	15.9165	16.7191	44.2847	17.2414	18.5852	20.4028	21.1516	13.7589	14.3363	3.6587	2.4994	0	6.8219	9.1783	13.7425	16.5518	17.0315	23.3248	26.1795	24.7825	27.5379	31.3614	29.9175	30.6098	37.0078	41.5723	41.6705	47.8334	53.3028	55.2486	57.7496	61.1845	66.3895	68.3554	73.0558	80.5668	84.6983
28	62.9919	58.3716	60.9852	61.3791	57.3756	55.0536	53.1253	41.6675	37.5239	25.4202	32.9633	42.3489	28.4221	13.2066	13.4196	17.494	18.2502	41.9256	21.7175	23.7121	26.1281	27.4558	19.3853	20.8953	10.1336	8.3217	6.8219	0	6.3742	12.2596	14.5921	15.966	22.0251	24.6253	24.0448	28.3107	32.2229	31.0114	32.6956	39.0086	43.8113	44.7319	50.9547	56.3378	58.1746	60.7978	64.071	69.3495	70.7449	75.9288	82.9539	87.0614
29	61.0434	57.117	60.0436	61.1535	57.5174	55.3529	53.2306	43.208	39.2609	28.5728	37.8395	47.9095	34.5113	19.4587	19.5119	23.3726	24.1555	35.9108	26.2629	27.7487	29.545	30.0082	22.9333	23.0008	12.7708	11.5899	9.1783	6.3742	0	5.8862	8.2814	9.5931	15.6756	18.3234	17.6701	22.1004	26.0043	24.8602	26.8745	33.0893	37.9521	39.2604	45.47	50.7765	52.5489	55.2231	58.4028	63.7001	64.8419	70.2201	77.0268	81.1193
30	59.9634	56.7463	59.9331	61.7039	58.439	56.44	54.1682	45.5395	41.8246	32.4602	42.7835	53.2754	40.25	25.263	25.2272	28.9394	29.7333	30.5621	30.943	32.0501	33.3561	33.1518	27.0317	26.0666	16.9576	16.2408	13.7425	12.2596	5.8862	0	2.8353	3.7069	9.8743	12.6171	11.7883	16.4223	20.2976	19.2477	21.6841	27.7235	32.632	34.3802	40.5357	45.7343	47.4311	50.1513	53.2232	58.5281	59.4064	64.9755	71.5542	75.6286
31	57.9242	54.9758	58.2636	60.2914	57.1963	55.2774	52.9473	45.0188	41.4456	32.8893	43.8441	54.6613	42.0917	27.7379	27.7836	31.5834	32.3727	27.7927	33.7675	34.8853	36.1742	35.9073	29.8652	28.8281	19.7915	19.0512	16.5518	14.5921	8.2814	2.8353	0	2.3518	7.4546	10.0433	9.6548	15.0627	18.8247	17.9589	20.9205	26.6862	31.6124	33.795	39.8652	44.9409	46.5585	49.3147	52.272	57.5722	58.1631	63.9338	70.249	74.2969
32	59.5887	56.8418	60.1858	62.3499	59.3283	57.4401	55.09	47.3397	43.7832	35.2049	46.0188	56.7136	43.8872	28.9332	28.8588	32.4987	33.2963	27.3156	34.0745	34.9864	36.0329	35.4791	29.9106	28.4443	20.0293	19.5082	17.0315	15.966	9.5931	3.7069	2.3518	0	6.3078	9.148	8.0885	12.9359	16.762	15.8089	18.6188	24.4591	29.3841	31.4732	37.559	42.6606	44.2971	47.0454	50.0328	55.3356	56.0232	61.7239	68.1365	72.1963
33	57.3211	55.3759	58.9435	61.769	59.1937	57.5161	55.0525	48.9509	45.729	38.7406	50.46	61.6041	49.4232	35.1207	35.1015	38.7893	39.5856	21.1524	40.2887	41.0911	41.9552	41.1171	35.9919	34.1732	26.2479	25.7931	23.3248	22.0251	15.6756	9.8743	7.4546	6.3078	0	2.9024	2.632	9.3049	12.5251	12.1139	16.1003	20.9859	25.826	28.8722	34.6454	39.4071	40.8546	43.6557	46.3764	51.6365	51.7372	57.8185	63.6913	67.6912
34	55.8119	54.2311	57.8853	60.9978	58.6337	57.0585	54.5535	49.2419	46.1943	39.9964	52.0987	63.4474	51.6434	37.8113	37.8114	41.5565	42.3502	18.2501	43.1797	43.9932	44.8501	43.9761	38.8962	37.0489	29.1363	28.6551	26.1795	24.6253	18.3234	12.6171	10.0433	9.148	2.9024	0	3.1837	9.4484	11.9561	11.9479	16.3979	20.5718	25.2608	28.7938	34.3296	38.8642	40.1959	43.0088	45.5643	50.7764	50.5343	56.8188	62.3589	66.3144
35	58.9622	57.2804	60.9051	63.8994	61.4306	59.7997	57.3166	51.4873	48.3017	41.3673	53.0272	64.1065	51.7437	37.0116	36.9065	40.4684	41.2691	20.3892	41.4786	42.1006	42.7406	41.6413	36.9917	34.81	27.499	27.2071	24.7825	24.0448	17.6701	11.7883	9.6548	8.0885	2.632	3.1837	0	6.779	9.8953	9.5307	13.6704	18.3818	23.2077	26.3457	32.0688	36.7967	38.2327	41.0353	43.746	49.0051	49.1204	55.1875	61.0897	65.0964
36	64.8551	63.5538	62.2475	70.439	68.0774	66.4866	63.9886	58.2509	55.0318	47.692	58.9067	69.6469	56.6105	40.6518	40.3016	43.4525	44.2546	22.1336	43.0967	43.2233	43.264	41.4912	38.1809	35.1029	29.6177	29.7612	27.5379	28.3107	22.1004	16.4223	15.0627	12.9359	9.3049	9.4484	6.779	0	3.9126	2.9089	6.9513	11.7739	16.6732	19.5731	25.3531	30.1871	31.6982	34.4851	37.3202	42.608	43.1021	48.9108	55.2026	59.2606
37	66.0147	65.1589	68.9359	72.4269	78.282	68.7915	66.2595	61.1858	58.0901	51.2171	62.6369	73.4681	60.5112	44.5372	44.1665	47.2659	48.0669	20.9373	46.6593	46.662	46.5305	44.5475	41.6599	38.349	33.3389	33.5498	31.3614	32.2229	26.0043	20.2976	18.8247	16.762	12.5251	11.9561	9.8953	3.9126	0	1.7121	5.8319	8.6163	13.3462	16.9453	22.3739	26.9531	28.351	31.1574	33.8513	39.1133	39.3745	45.3248	51.4309	55.4737
38	66.7633	65.6891	69.4297	72.7802	70.5259	68.9827	66.4679	61.0097	57.8319	50.5971	61.8023	72.5047	59.3667	43.1755	42.7677	45.8025	46.6023	22.3756	45.0513	45.017	44.8515	42.8455	40.0271	36.669	31.8116	32.071	29.9175	31.0114	24.8602	19.2477	17.9589	15.8089	12.1139	11.9479	9.5307	2.9089	1.7121	0	4.7932	8.8891	13.7742	16.8627	22.5382	27.3125	28.8045	31.5952	34.4141	39.7007	40.2154	46.0025	52.3304	56.395
39	71.5187	70.4026	74.1225	77.3762	75.0228	73.435	70.9338	65.0081	61.7074	53.8086	64.4656	74.7827	61.1015	44.1327	43.5537	46.2385	47.026	26.6772	44.5426	44.1701	43.6018	41.189	39.3349	35.4631	32.0022	32.546	30.6098	32.6956	26.8745	21.6841	20.9205	18.6188	16.1003	16.3979	13.6704	6.9513	5.8319	4.7932	0	6.3997	11.1162	12.9606	18.945	24.061	25.7476	28.469	31.5568	36.86	38.0515	43.3506	50.2648	54.3775
40	73.7435	73.2722	77.1041	80.7862	78.7548	77.3073	74.7635	69.7908	66.6663	59.4493	70.4661	80.9603	67.4283	50.5323	49.951	52.607	53.3923	26.3789	50.6895	50.1843	49.4193	46.773	45.4307	41.3484	38.3544	38.9305	37.0078	39.0086	33.0893	27.7235	26.6862	24.4591	20.9859	20.5718	18.3818	11.7739	8.6163	8.8891	6.3997	0	4.9263	8.5538	13.7588	18.4247	19.9262	22.7113	25.588	30.8866	31.7555	37.2683	43.9524	48.0553
41	77.3039	77.1723	81.0516	84.9341	83.0497	81.6677	79.1071	74.5018	71.4329	64.3621	75.3866	85.8443	72.2172	55.1315	54.4966	57.0185	57.7964	28.9185	54.6848	54	52.9993	50.1094	49.3697	45.0439	42.7423	43.4153	41.5723	43.8113	37.9521	32.632	31.6124	29.3841	25.826	25.2608	23.2077	16.6732	13.3462	13.7742	11.1162	4.9263	0	5.6413	9.3187	13.6083	15.0339	17.8309	20.6633	25.9608	26.9354	32.3483	39.1501	43.2648
42	82.2532	81.8261	85.6566	89.3071	87.2202	85.7369	83.2041	77.8228	74.5769	66.6779	77.0597	87.0583	72.9057	55.2068	54.4185	56.5681	57.3225	34.3426	53.3696	52.3721	51.0002	47.7793	47.9987	43.3064	42.3665	43.2735	41.6705	44.7319	39.2604	34.3802	33.795	31.4732	28.8722	28.7938	26.3457	19.5731	16.9453	16.8627	12.9606	8.5538	5.6413	0	6.2229	11.6439	13.5805	16.1021	19.5168	24.7241	27.0406	31.3853	39.1405	43.2716
43	86.474	86.4603	90.349	94.2528	92.359	89.4095	88.4023	83.5317	80.37	72.7536	83.2526	93.2806	79.1132	61.3494	60.5342	62.5959	63.3428	37.6686	59.11	57.9742	56.4135	53.103	53.734	48.8957	48.4407	49.3942	47.8334	50.9547	45.47	40.5357	39.8652	37.559	34.6454	34.3296	32.0688	25.3531	22.3739	22.5382	18.945	13.7588	9.3187	6.2229	0	5.4852	7.522	9.9165	13.424	18.5642	21.3223	25.25	33.2564	37.3732
44	89.5182	89.9046	93.8419	97.9918	96.2927	94.9867	92.4103	88.1009	85.0412	77.7934	88.5008	98.6368	84.5464	66.8262	66.0165	68.079	68.8252	40.2436	64.5265	63.3423	61.7066	58.2269	59.1511	54.2658	53.9258	54.8754	53.3028	56.3378	50.7765	45.7343	44.9409	42.6606	39.4071	38.8642	36.7967	30.1871	26.9531	27.3125	24.061	18.4247	13.6083	11.6439	5.4852	0	2.1377	4.4615	7.9454	13.0871	16.0444	19.7666	27.8456	31.9507
45	90.073	90.6396	94.5963	98.8588	97.2559	95.9954	93.4107	89.3923	86.3902	79.3709	90.2132	100.4384	86.4323	68.7873	67.9953	70.1002	70.8493	40.695	66.6181	65.4519	63.8319	60.3605	61.2423	56.3744	55.9258	56.8511	55.2486	58.1746	52.5489	47.4311	46.5585	44.2971	40.8546	40.1959	38.2327	31.6982	28.351	28.8045	25.7476	19.9262	15.0339	13.5805	7.522	2.1377	0	2.814	5.9363	11.177	13.9277	17.8095	25.7464	29.8583
46	92.6817	93.33	97.2939	101.5965	100.0223	98.7733	96.1866	92.2063	89.2031	82.1447	92.9269	103.092	89.0068	71.2652	70.4451	72.4707	73.2135	43.2734	68.7911	67.544	65.822	62.2636	63.4186	58.4749	58.3399	59.3069	57.7496	60.7978	55.2231	50.1513	49.3147	47.0454	43.6557	43.0088	41.0353	34.4851	31.1574	31.5952	28.469	22.7113	17.8309	16.1021	9.9165	4.4615	2.814	0	3.7217	8.6542	12.3105	15.3522</		

parameter

w(i) talep noktası ağırlığı /

t1	3,
t2	2,
t3	2,
t4	4,
t5	10,
t6	3,
t7	1,
t8	4,
t9	3,
t10	3,
t11	3,
t12	6,
t13	3,
t14	7,
t15	8,
t16	6,
t17	8,
t18	6,
t19	7,
t20	6,
t21	8,
t22	5,
t23	4,

t24 7,
t25 6,
t26 6,
t27 7,
t28 9,
t29 7,
t30 5,
t31 6,
t32 4,
t33 5,
t34 8,
t35 4,
t36 3,
t37 4,
t38 4,
t39 3,
t40 4,
t41 3,
t42 6,
t43 6,
t44 6,
t45 5,
t46 4,
t47 8,
t48 7,

t49 7,

t50 4,

t51 6,

t52 5/;

loop((i,j)\$ (ord(i)<ord(j)), d(j,i)=d(i,j));

loop((i,j), alpha(i,j)=1\$(d(i,j)<20));

loop((i,j), beta(i,j)=1\$(d(i,j)<15));

loop((i,j), gama(i,j)=1\$(d(i,j)<30));

parameters

A kullanilabilecek maksimum A tipi IHA sayisi /0/,

B kullanilabilecek maksimum B tipi IHA sayisi /10/,

C kullanilabilecek maksimum C tipi IHA sayisi /0/;

scalar p hizmet verememe olasiligi /0.7/;

binary variables

z(j,m) i talep noktasinin kaplanma durumu,

x(i) i talep noktasina A tipi IHA yerlestirilme durumu,

y(i) i talep noktasina B tipi IHA yerlestirilme durumu,

q(i) i talep noktasina c tipi IHA yerlestirilme durumu;;

free variable obj objective function value;

equation objective; objective.. obj=e= sum((i,m), (1-p)* (p**(ord(m)-1)) * w(i)*
z(i,m));

equation covering(j); covering(j).. sum((m),z(j,m))=l=
sum((i),alpha(i,j)*x(i))+sum((i),beta(i,j)*y(i))+sum((i),gama(i,j)*q(i));

equation maximumA; maximumA.. sum((i),x(i))=l= A;

equation maximumB; maximumB.. sum((i),y(i))=l= B;

equation maximumC; maximumC.. sum((i),q(i))=l= C;

equation atmostone(i); atmostone(i).. x(i)+y(i)+q(i)=l=1;

model proje /all/;

solve proje using mip maximizing obj ;

display z.l, x.l, y.l, q.l, alpha, w;

Talep ve Aday Noktalar Mesafe Matrisi

EK-Ç

[illegible]

KAYNAKÇA

Kitaplar

- Balakrishnan, P.V. ve J. E. Storbeck. (1991).*McTHRESH: Modeling Maximum Coverage With Threshold Constraints*: London: Pion Ltd.
- Balas E. (1965), An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables,*Operations Research*, 13, 517-546.
- Başdemir, M. M,(2000), *Locating Search and Rescue Stations in the Aegean and Western Mediterranean Regions of Turkey*, Ohio, Air Force Institute of Technology.
- Binay,S. ve diğerleri.(2001).*Yöneylem Araştırması Ders Kitabı*.Ankara:Kara Harp Okulu Basımevi.s.195-230
- Church, R. ve C. ReVelle. (1974).*The Maximal Covering Location Problem*. Papers of the Regional Science Association, XXXVI, s.101-118.
- Daskin, M.S. (1995). *Network and Discrete Location:Models, Algorithms and Applications*. New York:A Wiley-Interscience Pub.
- Department of The Army.USA.(2004). *FM 2.0 Intelligence*.May.Washington.
- Department of The Army.USA.(2012). *FM 3-35 Information Collection*.May.Washington.
- Department of The Army.USA.(2004). *FM 7-15 Conduct Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*.May.Washington. Art 1.3
- Department of Defence.UK.(2011).*The UK Approach to Unmanned Aircraft Systems*.March.London.
- Eiselt, H.A. ve Diğerleri. (2000).*Integer Programming and Network Models*.Berlin, Springer.
- Garey, M. R. ve Johnson, D. S. (1979).*Computers and Intractability: A Guide To The Theory of NP-Completeness*.New York:Freeman and Company.
- Frederic S.H., Gerald J.L.(1990).*Introduction to Operations Research*.Mc Graw Hill, New York,USA.5. Baskı.s. 517.
- Hakimi, S. L. (1964).*Optimum Locations of Switching Centers and The Absolute Centers and Medians of a Graph*.OR.12(3).s.450-459.

- Halaç,O.(1995) *Kantitatif Karar Verme Teknikleri*. 4. Baskı.İstanbul. Alfa Basım Yayım Dağıtım.s. 476.
- Jaiswal, N.K. (1997).*Military Operations Research: Quantitative Decision Making*.Boston, Kluwer Academic Pub.
- Küçükdeniz, T. (2009). *Sürü Zekası Optimizasyon Tekniği ve Tedarik Zinciri Yönetiminde Bir Uygulama*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Land, A.H. ve Doig, A. G. (1960) An automatic method for solving discrete programming problems, *Econometrica* 28, 497-520.
- Özgüven,C. (2003).*Doğrusal Programlama ve Uzantıları*.Detay Yayıncılık.Ankara. s.196-197
- Öztürk, A.(2002).*Yöneylem Araştırması*,, 8. Baskı, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, s. 167;
- Serra, D. ve C. Revelle. (1995). *Facility Location: A Survey of Articles, Applications and Methods*, Springer Series in Operations Research, New York.s.367-386.
- Sarıkaya, H.A. (2003). *Harekat Araştırması, Turizm Bölgelerindeki Jandarma Karakollarının Konuş Yerlerinin Belirlenmesi*.Ankara,Kara Harp Okulu.
- Savunma Sanayi Müsteşarlığı.(2011) *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)*, Ankara,s.39
- Sule, D. R. (2001). *Logistics of Facility Location and Allocation*, Marcel Dekker, New York, USA.
- The U.S. AIR FORCE.(2005).*The U.S. Air Force Remotely Piloted Aircraft and Unmanned Aerial Vehicle Strategic Vision*.s.3.
- Department of Defence.USA.(2011).*Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2011-2036*.s.21-22. Washington
- Taha, H.A. (1975).*Integer Programming, Theory, Applications, and Computations*.USA, Academic Press Inc.
- Taha, H.A.(1997). *Operations Research: An Introduction*. A.B.D :6. Baskı, Prentice-Hall,.
- Ulucan, A, (2004).*Yöneylem Araştırması, İşletmecilik Uygulamalı Bilgisayar Destekli Modelleme*, Siyasal Kitabevi, Ankara.211

Winston, W. L.,(1994). *Operations Research : Applications and Algorithms*, A.B.D.: 3. Baskı, Duxbury Press, s.477-500

Yılmaz,Z.(1995). *Sayısal Yöntemler*.2. Baskı, Uludağ Üniversitesi Basımevi,Bursa.1995. s.149.

Sürekli Yayınlar

- Akyürek, Yılmaz ve Taşkiran, (2012).*İnsansız Hava Araçları Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm*.Ankara.Bilge Adamlar Stratejik Araştırma Merkezi.Rapor No:53.s.4-7
- Bacanak, H. ve diğerleri.(2012).*Çoklu İnsansız Hava Aracı Simülasyonları için Altyapı Çözümü*.Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Dergisi, Mayıs.s.83-84
- Batta, R. ve Dolan,J.M.,N.N,Krishnamurthy.(1989).*The Maximal Expected Covering Location Problem*.Transportation Science.23(4).s.277-287
- Center for Security Studies (2010).*The Military Utility of Drones*. No.78. July. ETH Zurich.
- Çevik, O.(2006).*Tam Sayılı Doğrusal Programlama İle İş Gücü Planlaması ve BiR Uygulama*”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, İİBF Dergisi, C.VIII, S.1, p.157-171.
- Dakin, R. J. (1965), A Tree Search Algorithm for Mixed Integer Programming Problems, *Computer Journal*, 8,3, 250-255, 1965.
- Daskin, M. S. ve STERN, E. H.(1981). *A Hierarchical Objective Set Covering Model for Emergency Medical Service Vehicle Deployment*,.vol.2.May.Transportation Science,s.137-148
- Densham,P.J. ve Rushton,G.A.(1992).*More Efficient Heuristic for Solving Large P-Median Problems*.The Journal of The RSAI.LXXII.s.307-329.
- Drezner,Z. ve Wesolowsky, G.O.(1995).*Location on a One-way Rectilinear Grid*.Journal of the Operational Research Society, XXVI, 6, , 735-746.
- Ergülen, A, Halim,K, Muhittin, K, (2005).*İşletmelerde Dağıtım Sistemi Maliyetleri Minimizasyonu İçin Çözüm Modeli.Bir Firma Uygulaması*. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı:13,
- Glade, D.(2000).USAF.*Unmanned Aerial Vehicles: Implication for Military Operation*. Air University, Maxwell Air Force:July, Alabama.
- Gomory, R.E. (1958), Outline of an Algorithm for Integer Solution to Linear Programs, *Bulletin of the American Mathematical Society*, 64, 275-278.
- Johnson, E.L., Nemhauser, G.L. ve Savelsbergh, M.W.P. (2000), Progress in Linear Programming Based Branch-and-Bound Algorithms: An Exposition, *INFORMS Journal on Computing*, 12, 2-23.

- Kurtuluş, D., Tekinalp, F. ve Ozan.(2010).*İnsansız Hava Araçlarına Bir Bakış*.Savunma Sanayi Gündemi.Sayı 12.Ankara.
- Lorena, A. N. ve M. A., Pereira.(2001) *A Lagrangean / Surrogate Heuristic for The Maximal Covering Problem Using Hillsman's Edition*. Journal of OperationsResearch.
- Marianov, V. ve Revelle,C.(1995).*Siting Emergency Services Facility Location: A Survey of Articles, Applications And Methods, Springer Series in Operations Research*.New York, X,,s.199-222.
- Neebe,A.W.(1988).*A Procedure for Locating Emergency-Service Facilities for All Possible Response Distances*. Journal of the Operational Research Society, 39,8. s.743-748.
- Kumar,R.(1997) *Tactical Reconnaissance: UAVS versus Manned Aircraft* .Yayımlanmamış Araştırma Raporu. Air Command and Staff College.
- Oygür, L. (2012). *Durumsal Farkındalık ve Jandarma*. Jandarma Dergisi.Ocak.132.s. 8-15.
- Sünnetçi, İ.(2009) . *İnsansız Hava Araçları ve Türkiye'nin İnsansız Havadan İstihbarat Çalışmaları*..Savunma ve Havacılık Dergisi. Sayı:132, s.75-80.
- Tavakkoli, R. ve Shayan, E. (1998). *Facilities Layout Design by Genetic Algorithm*, Computers and Industrial Engineering, Vol.35, No:3-4, pp.527-530

Diğer Yayınlar

- Demir, Aslan.(1978).*Yöneylem Araştırmaları, İşletme Fakültesi Araştırma Enstitüsü Ders Notları*, No:41, Erzurum, 1978, s. 29.
- Bastı,M.(2012).*P-medyan Tesis Yeri Seçim Problemi ve Çözüm Yaklaşımları*.http://www.ajit-e.org/?menu=pages&p=details_of_article&id=43. (08 Ağustos 2014)
- Baykar Makina A.Ş.(2014).<http://www.baykarmakina.com/trTR/category/10/sistemler/1/bayraktar-mini-iha.aspx> ,(21.06.2014)
- Cook,S. (2000). *The P versus NP Problem*. [http:// www. claymath. org / sites / default / files/pvsnp.pdf](http://www.claymath.org/sites/default/files/pvsnp.pdf).(03 Ağustos 2014)
- Hunter, D.(2009).UAV's critical for Afghanistan. <https://hunter.house.gov/uavs-critical-afghanistan>. (28.06.2014)
- Hürriyet PLANET.(2012)“Böcekler İnsansız Hava Aracı Olarak Kullanılacak <http://www.hurriyet.com.tr/planet/20307382.asp>.(20 Haziran 2014).
- Katzman,Joe. <http://www.windsofchange.net/archives/002736.html>, (12 Ağustos 2014)
- Milli Savunma Bakanlığı Basın Duyurusu.(2012). *İnsanlı Keşif Uçağı*.[http:// t24.com.tr / haber / pkky-karsi-ilk-kez-insanli-kesif-ucagi-kullanildi,217372](http://t24.com.tr/haber/pkky-karsi-ilk-kez-insanli-kesif-ucagi-kullanildi,217372).(28 Haziran 2014)
- Russian Unmanned Vehicle Systems Association,.(2014).[http:// en. ruvsa. com/ catalog / category / uav/](http://en.ruvsa.com/catalog/category/uav/), (20 Haziran 2014)
- Savunma Sanayi.(2010).*ANKA başarısı ve İHA*. <http://www.savunmasanayi.net/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/>, (28 Temmuz 2014)
- Siyah,Gri,Beyaz.(2014). *Bir Süreç Yönetimi Olarak Ağ Merkezli Muharebe*. <http://www.siyahgribeyaz.com/2009/06/haftalk-baks-9-bir-surec-yonetimi.html#more>. (26 Temmuz 2014)
- Taslı,İ,T.(2011). *Terörle Mücadelede İnsansız Hava Araçları*.<http://www.bilgesam.org/incele/1215/-terorle-mucadele%E2%80%99de-insansiz-hava-araclari--iha-/#.U9LVa1sns>.(28 Temmuz 2014)
- The Guardian.(2012).*US Air Force's Hypersonic Test Aircraft Fails During Attempt to fly*. [http://www.theguardian.com/ world / 2012 /aug /14/us-air-force-test-experimental-aircraft](http://www.theguardian.com/world/2012/aug/14/us-air-force-test-experimental-aircraft) (28 Haziran 2014)

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.(2014). <https://www.tai.com.tr/tr/proje/anka>.
(10 Haziran 2014)

Uyar,T.(2010).Anka Başarı ve İnsansız Hava Araçları. <http://www.savunmasanayi.net/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari/>
(20.06.2014)