

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN ÜS KONUMLARININ KAPSAMA ALANI PROBLEMİ OLARAK MODELLENMESİ VE ENİYİLENMESİ

Hv. İkm. Ütğm. Erhan AYÖPERKEN*
Hava Harp Okulu HUTEN Md.lüğü
Yeşilyurt / İSTANBUL
e.ayoperken@hho.edu.tr

Yrđc. Doç.Dr.Hv.Müh. Yb.Murat ERMİŞ
Hava Harp Okulu Dekanlığı
Yeşilyurt / İSTANBUL
m.ermis@hho.edu.tr

Geliş Tarihi: 25 Ağustos 2009, Kabul Tarihi: 01 Eylül 2010

ÖZET

Bu çalışmada, İHA'lar için en iyi üs konumlarının belirlenmesi Tesis Yeri Seçimi Problemi olarak modellenmiştir. Hedeflerin her biri için ayrı bir öncelik veya önem katsayısı söz konusudur. Diğer yandan, bütün aday üs noktaları maliyet, coğrafya, lojistik ve hava durumundan kaynaklanan ilave kısıtlara sahiptir. Ayrıca İHA'lar farklı tipte olup, hepsinin menzili ve maliyeti birbirinden farklıdır. En uygun üs yerlerinin belirlenmesi ve bu üs yerlerine uygun konfigürasyondaki İHA'ların atanması matematiksel olarak modellenip eniyilenmiştir. Bu amacı gerçekleştirirken, İHA'ların atandıkları üslerdeki kapsama alanı en büyükmeye çalışılmıştır. Geliştirilen 0-1 Tamsayı Programlama Modeli GAMS ile çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler : İnsansız Hava Aracı, Tesis Yeri Seçimi, Kapsama Alanı Problemi.

MODELING AND OPTIMIZING THE BASES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A SET- COVERAGE PROBLEM

ABSTRACT

In this study, the problem of finding the optimal placement for UAV bases is modeled as a Facility Location Problem. Every targets have their own priority or importance level. On the other hand every candidate point has additional constraints due to cost, geography, logistics and weather. Furthermore UAVs are heterogeneous so the range of each UAVs and it's cost is different from each other. The problem of finding the optimum UAVs' base locations and assignments of UAVs to each bases is optimized by formulating as 0-1 Binary Integer Programming(BIP) model. The main objective of the problem is the coverage of UAVs' base locations are maximized. The proposed mathematical model is coded and solved with GAMS optimization software.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle, Facility Location, Set Coverage Problems.

1. GİRİŞ

Dünyada bütün ülkeler sahip oldukları toprakları korumak amacıyla ellerinde bulunan belirli sayıda ana silah sistemlerini ülke güvenlikleri açısından stratejik öneme sahip bölgelere yerleştirirler. Ana silah sistemlerinin kısıtlı olmasından dolayı alternatif yerler arasından bir seçim yapılması gerekmektedir. Seçilmesine karar verilen bölgeler öyle yerler olmalıdır ki, o ülkenin güvenliği en üst seviyede tutabilsin. Zira ülkenin güvenliği, sahip olunan ana silah sisteminin gücünün yanında konumundan elde edilen veya edilecek olunan verime de bağlı olduğu kesindir.

İnsansız Hava Aracı (İHA) da 21'inci yüzyılın modern silah sistemlerinden birisidir. İHA'lar pilot tarafından

uçurulan uçaklar gibi bir meydana yani üsse ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla İHA üssünün nerede olması gerektiği derinlemesine düşünülmesi ve üzerinde çalışılması gereken bir konudur. Pilotlar İHA'ları üssünden kumanda ederek uçururlar. İHA'nın görevini başarı ile icra etmesi, üssünde kalkan İHA'nın uçuş sonunda tekrar üssüne dönmesi anlamına gelmektedir. İHA'nın üssünden kalkıp gidebileceği en uzak nokta İHA'nın menzil kısıtına bağlıdır. Dolayısıyla İHA konuşlandığı üs merkez nokta olmak üzere menzili kadar bir yarıçapa bağlı olarak dairesel bir kapsama alanına sahiptir. İHA bu kapsama alanı dışına çıkamaz. Şayet kapsama alanından çıkarsa görevini gerçekleştiremez, çünkü artık pilotunun kumandası altında olamaz ya da üssüne geri dönemez. İHA ne kadar özellikli olursa olsun kapsama alanı içerisinde

* Sorumlu Yazar

etkilidir ve İHA'nın kapsama alanı içerisinde bulunan her nokta ise artık kontrol altındadır.

Kapsama alanının İHA'nın etkinliğini belirlediğinden dolayı üs yerleştirilmesi yapılacak meydanlar çok önemlidir. Son derece önem taşıyan bu konunun üzerinde bir çalışma yapılması uygun görülmüştür. Çalışma, kapsama alanı problemi olan İHA'lar için uygun üs yerlerinin belirlenmesi konusunda çözüm bulmaktadır.

Bu makalenin geri kalan bölümleri şu sırada verilmektedir. Bölüm 2'de konum-tahsis problemleri ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar özetlenmiştir. Bölüm 3'de, İHA'ların üs konumlarının belirlenmesine yönelik geliştirilen matematiksel model açıklanmıştır. Bölüm 4'de ise farklı senaryolar için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve son bölümde sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

2. GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Yer bulma tarihin en eski problem sahasıdır. Zira insanoğlu ilk olarak kendisi için korunabileceği ve en önemlisi bol bol yiyecek bulabileceği yerleşim alanlarını aramaya başlamıştır. Nitekim ilk yerleşim yerleri olan medeniyetler doğal kaynaklar yönünden zengin olan bölgelerde ortaya çıkmıştır. Yer bulma tarihin her döneminde var olduğu gibi, en küçüğünden en büyüğüne kadar toplumun her kesiminde ele alınan bir problem sahasıdır. En küçük toplum olan bir aile bile ev alırken veya kiralarken o evin, çocuklarının okuluna olan uzaklığını, anne-babanın işyerlerine olan uzaklığını, hastaneye olan uzaklığını, şehir merkezine olan uzaklığını ve benzeri etkileyen faktörlere olan uzaklığını da düşünmektedir. Belki farkında olarak veya olmayarak her insan hayatının önemli bazı kararlarında bu tarihini en probleminin üzerinde düşünmektedir.

Hava araçları için yer belirleme konusu, üs yerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Çünkü hava aracı için ana meydan idame işletmesinin yapıldığı, görev sonrası dönmek zorunda olduğu yerdir. İHA'lar da bilinen hava araçlarının özelliklerine sahip olduğundan ana üsse yani eve ihtiyaç duyarlar. İHA'nın üssünün nerede olduğu onun nerelerde görev yapabileceği anlamına gelmektedir.

2.1. Tesis Yeri Analizi

Tesis yeri seçimi veya tesis yerine karar verme kısaca tesis yerinin analizini yapma tarihte ilk olarak 17'nci yüzyılda ortaya atılmıştır [1]. İlk yapılan çalışmalarda amaç, belirli bir coğrafya içerisinde merkez noktayı bulmaktır. Başlangıç matematik modeli zaman içerisinde geliştirilmiş, problem değiştirilmiş ve farklı çalışmalar yapılmıştır. Problemin yapısı değişmesine rağmen değişmeyen tek gerçek bu problemin zor bir problem olduğudur. Hali hazırda tesis yeri seçimi konusu ile ilgili yayınlanmış onlarca kitap ve yüzlerce makale vardır.

Endüstriyel Devrim iş dünyasında tesislerin taşıma maliyetlerini en aza düşürmenin yollarını arama zorunluluğunu göstermiştir. Bunun için, müşterilere en yakın bölgelere tesis kurmanın yolları aranmıştır. 1929'da ortaya atılan ve yazılı kaynaklarda Weber Problemi olarak bilinen bu çözüm öne sürülen ilk tesis yeri seçiminin öncü çalışmasıdır. Problemin matematiksel formülasyonunda amaç, seçilen bir noktaya göre en kısa mesafeyi bulmak veya en az ağırlıklandırılmış öklit mesafesindeki noktayı bulmak denilebilir. Probleme maliyet ve mesafe doğru orantılıdır. Amaç mesafeleri kısaltmak dolayısıyla maliyetleri düşürmek olarak ele alınmıştır [2]. İlk yapılan çalışmaların tümü tek bir tesisin müşterilere olan uzaklığını en aza indirebilmek için nereye konuşlanması gerektiği konusunda olmuştur. 1950-60'lı yıllarda ise bazı akademisyenler tesisin kurulması ve iç yerleşiminin tasarlanması konularında çalışmışlardır [1].

Tesis yeri analizi araştırmacılar için gerçek hayatta oldukça fazla uygulama imkânı bulunabilecek ilgi çekici bir alandır. Genel olarak tesis yeri problemlerinde amaç, verilen senaryoya göre en uygun tesis yeri yerleşimini yapabilmektir. Söz konusu bu tesisler; fabrikalar, dağıtım merkezleri, yangın söndürme istasyonları, süpermarketler, hastaneler, helikopter iniş pistleri, havaalanları, polis karakolları veya farklı olarak bir fabrika içerisindeki robotlar, makineler ve benzeri iş istasyonları olarak düşünülebilir [3]. Silahlı Kuvvetler için uygulama alanı çok geniş bir yer tutmaktadır. Harekât kabiliyetini en üst düzeye taşıyabilmek için askeri üslerin yerlerinin belirlenmesi, hava savunma bünyesinde olan füze, uçaksavar, radar ve benzeri ana silah sistemlerinin yerlerinin belirlenmesi, arama kurtarma birimlerinin yerlerinin belirlenmesi, jandarma sınır karakollarının yerlerinin belirlenmesi gibi konular bu problem sahasında analiz edilip çözüm bulabilirler.

Tesis yeri seçimi problemleri yapısı itibarı ile bir eniyileme problemidir. Problemlerde tesis yeri olarak alınabilecek bölge sayısı, ya da müşterilerin sayısı arttıkça çözüm kümesi artmaktadır, dolayısıyla çözüm de zorlaşmaktadır. Diğer bir deyişle bu tip problemler yapısı itibarı ile üssel olarak zorlaşmaktadır. Bu problemler optimizasyon teknikleri ile ya da sezgisel yöntemlerle çözülebilmektedir. Optimizasyon teknikleri, kesin çözümün sağlanmasına olanak sağlamakla birlikte, problemin boyutu büyüdüğünde pratik olarak uygulanamamaktadır. Sezgisel yöntemler ise özellikle problemi çözmenin çok zaman alacağı durumlarda tercih edilirler. Ancak sezgisel yöntemler en iyi çözümü garanti etmezler. En iyiyi, bölgesel en iyiyi yada en iyiye yakın bir çözümü verirler. Dolayısıyla problemin çözümü kabul edilebilecek bir zaman içerisinde gerçekleştiği durumlarda sezgisel yöntemler yerine kesin çözüm veren optimizasyon teknikleri tercih edilmelidir.

2.2. Tesis Yeri Seçimi Problemleri

Tesis yeri seçimi problemleri en ayrıntılı bir sınıflama ile 8 başlık altında toplanabilirler [4]. Bunlar; kapsama alanı problemi, en fazla kapsama alanı problemi, p -merkez konum problemi, p -dağılım problemi, p -ortanca problem, sabit maliyet problemi, merkez üs problemi, maxisum problemlerdir [5,6,7,8,9,10,11]. Her bir problem tipinin uygulama sahası farklı olup, farklı matematiksel modele sahiptir. Ayrıca bu sekiz sınıfa da dahil olmayan Klamroth ve Hamacher'ın öncü çalışanlar olduğu, bariyerli arazilerde yapılan tesis yeri seçimi çalışmalarında vardır [12]. Yapılan makale çalışması en fazla kapsama alanı problem tipine örnek teşkil etmektedir.

2.2.1. En Fazla Kapsama Alanı Problemi ve Yapılan Öncel Çalışmalar

En fazla kapsama alanı probleminde amaç, belirli bir coğrafyada mevcut olan hedeflerin en fazlasına ulaşabilecek tesis yeri yerleşimini bulmaktır. Bu problemlerde tesis sayısı kısıtlaması vardır. Maliyet, arazinin yapısı, eldeki mevcut personel ve teçhizat yönünden veya benzeri kısıtlardan dolayı konuşlanabilecek tesis sayısı bellidir. Amaç bu tesislerin yerleştirmesini yaparken en fazla sayıda hedefi kapsamaktır. Bu tip problemlerde hedeflenen bütün noktalar da kapsandığı takdirde problem kapsama alanı problemi biçimine dönüşmüş olur. Kapsama alanı ve en fazla kapsama alanı problemleri tesis yeri seçiminde kullanılan önemli problem tipleridir. Yangın söndürme istasyonlarının, hastanelerin, otobüs duraklarının, hava alanlarının, askeri birimlerin yerlerinin belirlenmesi bu yöntemlerle yapılmaktadır.

İlk kapsama alanı problemi Revelle ve Church tarafından 1974 yılında ele alınmıştır [13]. Problem doğrusal programlama modeli olarak formüle edilmiştir. Arkasından yapılan öncü çalışmalar Mark S. Daskin'e aittir [3]. Kendisi evrensel bilime kabul edilebilecek yüzdeye sahip kapsama alanı problemlerini kazandırmıştır. Çalışmasında kabul edilebilecek yüzdede kapsama alanına ulaşmak için minimum sayıda tesis yeri kurmak üzerinde durmuştur.

En fazla kapsama alanı problemlerine örnek olarak 2000 yılında AFIT'te yapılan bir tezde, Türkiye'nin Akdeniz ve Ege kıyılarında Arama-Kurtarma Üsleri için konuşlanma yerlerinin belirlenmesi çalışılmıştır [14]. Burada dikkat çeken üs konuşlanma yapılabilecek aday bölge sayısının 152 gibi yüksek bir rakam olmasıdır. Hedef bölge sayısı ise 100 alınmıştır. Problem için tek tip helikoptere sahip olduğu farz edilmiştir. İlk önce helikopterin menzili 80 deniz mili, sonra 120 deniz mili ve en son 150 deniz mili olarak alınmıştır. Bunun yanında hedeflenen noktalara öncelik değeri atanmıştır. Her aday üs noktaları için coğrafya, lojistik ve hava şartları olmak üzere katsayı puanlamaları verilmiştir. Problemde mesafeler gerçek

değil, rassal olarak ele alınmıştır. Problemin modeli tamsayı programlama ile kurulmuş ve LINGO'da kodlanmıştır.

Başka bir örnek; 2003 yılında Kanada'da G. Laporte ve arkadaşları tarafından Kanada'nın en kalabalık bölgesi olan Montreal için özellikle sağlık hizmetlerinde acil durumlarda ambulansların hastaya ulaşma zamanlarını kısaltmak için, bu araç yerlerinin belirlenmesi çalışmasıdır. Konuyla ilgili Montreal şehrini kapsayacak ambulans araçlarının konuşlanması problemi çalışılmıştır [15]. Problemde daha önceki ambulans araçlarının kullanım olasılıklarından faydalanılmıştır. Ambulans aracının ortalama saatte 60 kilometre hızla gittiği ve 8 dakikadan az bir sürede olay yerine varması durumunda başarılı olduğu farz edilmiştir. Problem tamsayı programlama modeli ile modellenmiş ve CPLEX 7.0 ile çözülmüştür. Sonuç olarak daha önce ambulans isteği yapılmış olan bölgelerin % 95 ini kapsayan bir konuşlanma önerisi sunulmuştur.

Gerçek hayattan alınan her en fazla kapsama alanı probleminin mutlaka kendine özgü birtakım ilave kısıtları ve değişkenleri vardır. Ancak literatürde yer alan en genel kapsama alanı modeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

h_i : i noktasındaki müşteri sayısı.

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{şayet } i \text{nci müşteri kapsanıyorsa,} \\ 0, & \text{diğer durumlarda.} \end{cases}$$

En Fazla Kapsama Alanı probleminin 0-1 Tamsayı Programlama modeli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Maximize} = \sum_{i \in I} h_i \cdot z_i \quad (1)$$

$$\text{Öyle ki} \quad \sum_{j \in N} x_j - z_i \geq 0, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p_j \quad (3)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$z_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (5)$$

(1) No'lu bağıntı amaç fonksiyonu ifade etmekte olup, toplam müşterilerin en fazlasını kapsamak hedeftir.

(2) No'lu bağıntı, en önemli kısıttır. Şayet i noktasındaki müşteriler kapsanacaksa, kapsama alanına alabilecek olan noktaya bir tesis kurma zorunluluğu kısıtını ifade eder.

(3) No'lu bağıntı, konuşlanabilecek veya kurulabilecek olan tesis sayısının kısıtlanmasıdır.

(4) No'lu bağıntı, tamsayı programlamanın özelliğindedir. Şayet orada aday tesis konuşlanıyorsa 1 tam sayı, diğer durumlarda 0 değerini alma kısıtı.

(5) No'lu bağıntı, tamsayı programlamanın özelliğindedir. Şayet o hedeflenen nokta kapsanıyorsa 1 tam sayı, diğer durumlarda 0 değerini alma kısıtı.

Birbirinden farklı bütün tesis yeri seçimi problemlerinde amaç tesisler için uygun yerlerin belirlenmesidir. Problem çeşidine göre uygun matematiksel model kullanılabilir. İHA'lar için üs yerlerinin belirlenmesi konusunda kapsama alanı problemine örnektir. Kapsama alanı ne kadar büyük olursa amaç fonksiyonunu değeri de o orantıda iyileşecektir.

3. İNSANSIZ HAVA ARACI ÜS KONUMLARININ KAPSAMA ALANI PROBLEMİ OLARAK MODELLENMESİ

Belirli bir coğrafyada bulunan hedef noktaları İHA'ların menzili içerisine alacak üs konumlarının bulunması bir tesis yeri seçimi problemidir. Problemden konumları bulunacak olan üsler tesis olarak, hedef noktalar da müşteriler olarak düşünülebilir. Üslerin konuşlanabileceği aday üs bölgeleri vardır. Hedef noktalar ise İHA'ların üzerinde uçuş yapması istenen bölgelerdir. Dolayısıyla herhangi bir aday üs bölgesinden kalkan İHA'nın menzili içerisinde bulunan bir hedef nokta, kapsama alanının içerisinde yer alır. Makale kapsamında üsler için hangi konumların seçileceği belirlenirken aynı zamanda hangi hedefin hangi üssün sorumluluğunda olduğu yani hangi üsse atandığı bulunacaktır. Ele alınan problemde İHA'lar farklı menzillere ve maliyetlere sahiptirler. Amaç toplam kapsama alanını en fazla yapacak şekilde İHA'ları üslere atarken maliyeti en azda tutmaya çalışmak ve akabinde hangi hedefin hangi üssün sorumluluğunda olduğunu belirlemektir.

Önerilen modelde, kapsanan hedeflerin her biri yalnızca bir tane üssün sorumluluğuna verilmemiştir. O hedefi kapsayan ne kadar üs varsa hepsinin ortak sorumluluğunda olduğu kabul edilmiştir. Çünkü üslerde konuşlanan herhangi bir İHA periyodik bakımda, arızada veya parça bekler statüsünde olabileceği gibi ilgili meydana pist onarımında veya hava şartları uçuşa elverişsiz olabilir. Bu gibi durumlarda birbirlerini yedekleme yapabilmeleri amacıyla herhangi bir hedefin kendisini kapsayan bütün üslerin ortak sorumluluğunda olması gerektiği varsayılmıştır.

3.1. Problemin Tanımlanması

Mavi ülke silahlı kuvvetleri modernizasyon çalışması içerisinde modern savaş teçhizatları olan İHA almaktadır. Ülkenin coğrafi konumu ve ülkeye olan mevcut tehditler belirliktir. Alınacak olan İHA'ların ülke savunması için var olan tehditlere karşı caydırıcı bir unsur olarak konuşlandırılmasının yapılması gerekmektedir. Mavi ülke alacağı İHA'ları bütçesini aşmada, ülke içerisinde bulunan aday meydanlardan

hangilerine yerleştirmesi konusunda karar vermek durumundadır.

Alınacak olan İHA'lar farklı özelliklere ve farklı menzillere sahiptir. İHA sistemlerinin maliyetleri milyon dolarlar gibi çok büyük meblağlarla ifade edilmektedir. İHA'ların maliyetleri aday üslerin maliyetlerinden çok farklıdır, çünkü İHA'ların hem alım maliyetleri hem de idame işletme maliyetleri vardır. İHA'lar farklı tipte olduğundan her bir İHA çeşidinin de farklı satın alım ve idame işletme maliyetleri farklıdır.

Aday üs noktalarının halihazırdaki sabit meydanlar olduğu, hedef noktalarının da tahmini konumlarının belli olduğu varsayılmıştır. Dolayısıyla her bir hedef noktanın her bir üsse olan uzaklığı farklıdır ve bu noktaların değişmedikleri ve yerlerinin yıllarca yapılan istihbarat faaliyetleri ile belirlendiği kabul edilmiştir. Ayrıca bu hedef noktalarının her birinin ülke güvenliği için önemi farklı derecededir. Kimi hedef olmazsa olmaz önceliğe sahipken, kimisi sıradan bir hedef pozisyonunda olabilir. Bu sınıflamayı yapmak için geçmişteki tecrübelerden de yola çıkarak hedeflenen noktaların ÇOK GİZLİ, GİZLİ, ÖZEL, HİZMETE ÖZEL ve RUTİN olmak üzere 5 kategoriye ayrılmış olduğu kabul edilerek öncelik puanı verilmiştir.

Yapılan bu tanımlamalar altında problem; mevcut ekonomik bütçeyi aşmadan, en az maliyetle tehditlerden mümkün olduğu kadar çok öncelik puanına sahip olanları kapsayacak İHA üs konumlarının bulunmasıdır. Bu konuşlanmada hangi aday üslerin seçileceği, hangi aday üslere hangi İHA'ların yerleştirilmesi gerektiğini ve hangi hedeflerin hangi üslerin sorumluluğunda olduğunu bulmak esas amaçtır.

3.2. Problemin Verileri

Öncelikle mavi ülke silahlı kuvvetleri personel atamalarını dikkate aldığı anda bütçe sınırlamasını aşmasa dahi üs sayısını sınırlamayı planlamaktadır. Zira tayin edeceği personeli ona göre planlamaya almıştır.

Ülkenin İHA'ları yerleştirebileceği 20 farklı aday üs yerleri mevcuttur. Aday bölgelerin 3 tanesinin halen aktif olarak görev yapan askeri ana üs, 2 tanesinin askeri yedek meydan, geri kalan 15 adedinin ise farklı meydan kolaylıklarına sahip sivil havaalanlarıdır. Mavi ülke silahlı kuvvetlerinin bu hizmetlerin inşası ayırdığı bütçe kısıtlıdır.

Her bir aday üssün kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Sayısal olarak ifade edilecek bu parametrelerden en önemlisi ise maliyettir. Tesis yeri seçimi problem çeşitlerinden birisi olan sabit maliyet problemleri gibi her bir tesisin dolayısıyla aday üssün kurulma maliyeti vardır. Bu problemde de her aday üssün maliyeti farklıdır. Zira aday üslerin İHA üssüne dönüştürülebilmesi için İHA'ların uçuş öncesi ve uçuş

sonrası periyodik bakımlarının yapılabilmesi için hangar ve teçhizat, idari faaliyetlerin yürütülebileceği binalar, sosyal tesisler ve birtakım meydan kolaylıklarının inşa edilmesi gereklidir. Doğal olarak aday noktaların her birine İHA üssü kurmanın maliyeti farklı olacaktır. Örneğin aktif halde olan askeri üsse sadece bir hangar ve idari binaların yapılması yeterli olabilecek iken, yedek meydan ve kullanılmayan sivil meydanlara hangar ve idari binaların yanı sıra personel için ilave iase tesislerinin de inşa edilmesi zorunluluğu vardır. Ancak mavi ülkenin de bütçesi belirlidir. Üs kurmak için tercih edilecek adayların toplam maliyetinin ülkenin inşaa için ayırdığı bütçeyi aşmaması zorunludur.

Problemde ele alınan üsler ile ilgili diğer ayırt edici özellikler ise her üssün etkinliğini belirleyen hava durumu, lojistik imkanı ve coğrafi pozisyonudur. Bir üssün etkinliği o meydana yapılabilecek sorti sayısı ile doğru orantılıdır. Uçuş yapılabilmesi için öncelikle hava şartlarının uçuş için elverişli olması gerekmektedir. Aday üslerin farklı bölgelerde olmasından dolayı her bir aday üssün hava şartları değişiklik arz etmektedir. Kimi aday üsler yılın yalnızca 30 güne yakın bir zamanı uçuşa elverişlilik göstermezken kimisi de yalnızca 30 günü uçuşa elverişlidir. Bu kadar önemli olan hava durumu koşullarının da her bir aday üs için belirlenerek matematiksel modele dahil edilmesi gerekir. Bu sebepten dolayı, aday üs bölgelerine yapılan bir yıllık gözlemler sonucunda her bölgenin hava durumu değeri belirlenmiştir. 2, 4, 6, 8 ve 10 tamsayı değerleri üssün İHA uçuşuna yılın kaç günü açık olduğuna göre verilmiştir. Buna göre 1 yıl 365 gün olarak alınmıştır. Yılın en fazla 73 gününe kadar açık olan üssüne 2 değeri, 74-146 gün arası açık olan üssüne 4 değeri, 147-219 gün arası açık olan üssüne 6 değeri, 220-292 gün açık olan üssüne 8 değeri, 293 ve üzerindeki gün kadar açık olan üssüne 10 tamsayı değer katsayısı verilmiştir.

Bir üssün etkinliği yine o meydana yapılacak lojistik desteğe bağlıdır. Lojistiğin malzeme, insan veya hizmetin istenilen yerde, istenilen zaman ve istenilen miktarda bulundurulması demek olduğu prensibinden yola çıkarak, güçlü bir lojistik desteğe sahip üssün daha etkin olacağı kesindir. Üssün lojistik desteğinin güçlü olabilmesi için en kötü şartlarda dahi ulaşımın en kısa sürede olması gerekmektedir. Herhangi bir İHA'nın bakım personeli tarafından periyodik olarak yapılan uçuş sonu bakımında önemli bir yedek parçasının arızalı olup, uçağı parça bekler durumuna düşürürse, o malzeme üsse ulaşınca kadar geçen süreçte İHA uçuş görevini yapamayacaktır. Artık bu süreçte hava durumunun, coğrafyanın, maliyetin ve benzeri değerlerin hiçbir önemi yoktur. Bu sebepten üsse olan ulaşım kolaylıkları düşünülmelidir. Şehir merkezlerine ve ikmal bakım merkezlerine olan uzaklıkları, mümkünse denizden ulaşım, demiryolu ile ulaşım ve karayolu ile ulaşım imkanları

değerlendirilerek her bir aday üsse sayısal bir değer atanmıştır. Dolayısıyla bir üs için en az hava durumu koşulları kadar öneme sahip olan bu lojistik imkan değerinin de matematiksel olarak ifade edilmesi ve modelde yer alması şarttır. Bunun için aday üs bölgelerine lojistik değerleri verilmiştir. Bu değerler 2, 4, 6, 8 ve 10 tamsayılarıdır.

Ayırt edici özelliklerden sonuncusu ise her meydanın etkinliğini etkileyen coğrafi konum değeridir. Aday üsler farklı bölgelerde olduğundan farklı coğrafi özelliklere sahiptir. Coğrafi pozisyon üssün güvenliğini de içermektedir. Sıradağlar arasında uzanan bir vadideki üssün ne kadar güvensiz olduğu ve iniş, kalkışın ne kadar zor olduğu tartışılmaz. Aksine geniş bir ovada rahat iniş, kalkış imkanı sağlayan bir meydan güvenli ve sorunsuz olabilir. Netice itibarı ile her bir aday üsse bulunmuş olduğu bölgenin coğrafyası düşünülerek sayısal bir değer atanmıştır. Bu değerler yine 2, 4, 6, 8 ve 10 tamsayılarıdır.

Mavi ülke için hedeflenen nokta sayısı belirlidir ve bunun 50 nokta olduğu kabul edilmiştir. Bu 50 adet hedef noktanın geçmiş tecrübelerden ve yapılan istatistiksel çalışmalardan sonra belirlenmiştir. 50 adet nokta coğrafyada farklı noktalardadır. Her bir noktanın her bir üsse uzaklığı farklıdır. Noktaların üsler ile olan uzaklıkları "Google Earth" programından ve "Haversine formülleri"nden faydalanılarak bulunmuştur [16, 17]. Haversine geliştirmiş olduğu formül ile girilen iki coğrafi nokta arasındaki mesafeyi öklit mesafe fonksiyonu değeri biçiminde vermektedir. Bütün hedef noktaların üsler ile olan mesafeleri farklıdır.

İlave olarak, mavi ülke için her bir hedeflenen noktanın öncelik katsayısı vardır. Hedef noktalardan ÇOK GİZLİ Hedefler 10 tamsayı katsayı puanı, GİZLİ Hedefler 8 katsayı puanı, ÖZEL Hedefler 6 katsayı puanı, HİZMETE ÖZEL Hedefler 4 katsayı puanı ve RUTİN Hedefler de 2 katsayı puanı almıştır.

İHA'nın bir görevi gerçekleştirebilmesi için yani ana üssünden kalkıp ilgili hedef noktanın üzerine gelip orada uçuşunu tamamlayıp ana üssüne geri dönebilmesi için ana üssün hedef noktaya olan uzaklığının o üs de konuşlanan İHA'nın menzilinden küçük olmalıdır. İHA'lar 4 farklı tipte olup menzilleri farklıdır. Ayrıca İHA'ların maliyetleri ile ilgili veriler vardır. Matematiksel model kurulurken maliyet gibi çok önemli bir kriterin de modele dahil edilmesi gerekmektedir. Bu sebepten, problemin modeli için İHA çeşitlerinin maliyetlerine göre bir ceza puan katsayıları yapılmıştır. En uzun menzile sahip İHA'nın satın alım ve idame işletme maliyetininin de en yüksek birim olacağı; bunun aksine en küçük menzile sahip olan İHA'nın satın alım ve idame işletme maliyetininin de en düşük birim olacağı kesindir. Dolayısıyla en uzun menzili olan yani en yüksek

maliyetli İHA'ya en yüksek ceza puanı, en düşük menzili olan İHA'ya yani en düşük maliyeti olana da en düşük ceza puanı verilmiştir. Zira maliyetleri gerçeğe yakın birim değerleri ile amaç fonksiyonuna ilave etmek mümkün değildir. İHA'ların tiplerine göre satın alım ve idame işletme ceza puanları farklıdır.

3.3. Problemin Modellenmesi

İHA üs konumlarının belirlenmesi kapsama alanı problemi olarak tamsayı programlama ile formüle edilmiş ve GAMS bilgisayar programında kodlanarak çözüme ulaşılmıştır. Bu problem ikinci bölümde açıklanan tipik bir tesis yeri seçimi problemlerinden en fazla kapsama alanı problem olarak düşünülebilir. Ancak modelde amaç fonksiyonu klasik en fazla kapsama alanı problemlerinden farklıdır. Modellemede amaç, en fazla hedef noktayı kapsayacak bir İHA üs konuşlanmasını bulurken, İHA maliyetlerini de hesabın içerisine dahil etmektir.

Problemde kabul edilen varsayımlar şunlardır:

1. Problemlerle ilgili alınan verilerin hepsi; örneğin ülkenin ayırdığı bütçe, kurulabilecek toplam üs sayısı, İHA'ların menzili gibi rakamlar gerçek veriler değildir.

2. Ele alınan problemde İHA'ların istenen bölgeye olan uzaklığı Öklid mesafe fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. İrtifa problemde ele alınmamıştır.

3. Hedeflenen noktaların statik olduğu ve değişmediği kabul edilmiştir.

4. Problemde uçakların her zaman faal ve göreve hazır olduğu kabul edilmiş olup, arıza yapmaları, bakıma girmeleri, parça bekler duruma düşmeleri gibi durumlar hesaba alınmamıştır.

Matematiksel modelde kullanılan değişken ve parametreler aşağıda verilmiştir:

x : Aday Üs.

y : Hedeflenen Nokta.

j : Hangi aday üs noktası olduğunu belirten indeks

t : Hangi hedef nokta olduğunu belirten indeks.

k : Hangi İHA olduğunu belirten indeks.

c_j : j nci Aday üs noktasının maliyeti.

w_j : j nci Aday üs noktasının Hava durumu değeri.

l_j : j nci Aday üs noktasının Lojistik durumu değeri.

g_j : j nci Aday üs noktasının Coğrafi durumu değeri.

p_t : t nci Hedef noktanın önceliği.

r_k : k tipli İHA'nın menzili.

cp_k : k tipli İHA'nın satın alım ceza puanı.

cvp_k : k tipli İHA'nın idame işletme ceza puanı.

d_{tj} : t nci Hedeflenen noktanın j nci üsse uzaklığı.

B : Silahlı Kuvvetlerin ayırmış olduğu bütçe.

GEO : Üs noktalarının sahip olacağı minimum coğrafi değeri.

LOG : Üs noktalarının sahip olacağı minimum lojistik değeri.

WEA : Üs noktalarının sahip olacağı minimum hava durumu değeri.

N : Ülkenin kurabileceği en fazla üs sayısı.

H : Sahip olunan toplam İHA sayısı.

$x_{jk} \begin{cases} 1, \text{Şayet } k \text{ tipli İHA } j \text{ aday üs noktasına atanmışsa} \\ 0, \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$

$y_{tjk} \begin{cases} 1, \text{Şayet } t \text{ hedefli } j \text{ üssüne atanan } k \text{ tipli İHA} \\ \text{tarafından kapsanıyorsa} \\ 0, \text{Diğer durumlarda.} \end{cases}$

Verilen bu bilgiler altında 0-1 Tamsayı Programlama modeli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Maks. } Z = \sum p_t \cdot y_{tjk} - (cp_k + cvp_k) \cdot x_{jk} \quad (1)$$

$$\text{Öyle ki } \sum c_j \leq B \quad (2)$$

$$\sum w_j \geq WEA \quad (3)$$

$$\sum l_j \geq LOG \quad (4)$$

$$\sum g_j \geq GEO \quad (5)$$

$$\sum x_j \leq N \quad (6)$$

$$\sum IHA_k \leq H \quad (7)$$

$$d_{tj} \leq r_k \text{ (range)} \quad (8)$$

$$x_{tj} \geq y_{tjk} \quad (9)$$

$$j = \{1, 2, 3, \dots, 20\} \quad (10)$$

$$t = \{1, 2, 3, \dots, 30\} \quad (11)$$

$$\forall t \in I, \forall j \in J \quad (12)$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\} \quad (13)$$

$$y_{tjk} \in \{0, 1\} \quad (14)$$

$$\forall x_{jk} = 1 \quad (15)$$

(1) No'lu bağıntı, amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Amaç öncelik değerine bağlı en fazla hedef noktayı kapsamayı sağlarken en az satın alım ve idame işletme ceza puanına sahip İHA'ları seçecektir.

(2) No'lu bağıntı, toplam bütçe kısıtını ifade etmektedir ve kurulacak olan aday üs noktalarının toplam maliyeti mavi ülke silahlı kuvvetleri tarafından ayrılan bütçeyi geçmemelidir.

(3) No'lu bağıntı, Sahip olunması istenen hava durumu değer kısıtı kurulacak olan aday üs noktalarının toplam hava durumu değeri WEA katsayısından büyük olmamasını ifade eder.

(4) No'lu bağıntı, sahip olunması istenen lojistik değer kısıtı kurulacak olan aday üs noktalarının toplam coğrafi değeri LOG katsayısından büyük olmamasını ifade eder.

(5) No'lu bağıntı, sahip olunması istenen coğrafi değer kısıtı kurulacak olan aday üs noktalarının toplam coğrafi değeri GEO katsayısından büyük olmamasını ifade eder.

(6) No'lu bağıntı, konuşlanılabilecek en fazla üs sayısı kısıtını ifade eder.

(7) No'lu bağıntı, sahip olunan insansız hava aracı toplam sayısı kısıtını ifade eder.

(8) No'lu bağıntı, İHA'nın menzil kısıtı j 'nci aday üs de konuşlanan k tipi İHA'nın i hedefini kapsamaları için menzilin, i hedefinin j üssüne olan uzaklığından büyük olması gerektiğini ifade eder.

(9) No'lu bağıntı, her hedefin en az bir adet üsse atanması gerektiği kısıtını ifade eder.

(10) No'lu bağıntı, toplam aday üs sayısını ifade eder.

(11) No'lu bağıntı, toplam hedeflenen nokta sayısını ifade eder.

(12) No'lu bağıntı, bütün i 'lerin I , bütün j 'lerinde J kümesinin elemanı olması zorunluluğunu ifade eder.

(13) ve (14) No'lu bağıntılar, tamsayılı programlamanın özelliğinden dolayı değerlerin yalnızca 0 veya 1 tamsayı olabileceğini göstermektedir.

(15) No'lu bağıntı, bütün İHA çeşitlerinin yalnızca bir kere kullanılabileceğini belirten kısıtı ifade eder.

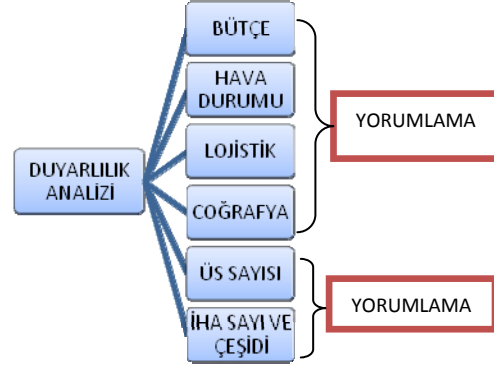
3.4. Uygulanan Yöntem ve Çözüm

Problem GAMS Bilgisayar programında kodlanmış olup en iyi değerleri sağlayan İHA-ÜS konumları bulunmuştur. Program DELL Latitude D505 serisi 512 MB RAM işlem hafızalı dizüstü bilgisayarda koşturulmuştur. Program bütün sonuçlara 0.600 saniyenin altında ulaşmıştır. GAMS Programının 20.5 sürümü kullanılmıştır.

4. FARKLI SENARYO UYGULAMALARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, problemdeki veriler değiştirilerek farklı durumların sonuçları analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Problemde yer alan kısıtların duyarlılık analizi yapılmıştır. Problemde sonucu

etkileyen çok önemli altı adet kısıt vardır. Şekil 1'de görüldüğü üzere bu kısıtlar; bütçe kısıtı, hava durumu kısıtı, coğrafya kısıtı, üs sayısı kısıtı ve İHA sayısı kısıtıdır. Bütün kısıtlar için farklı senaryolar üretilip, bu senaryoların sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların göstermiş olduğu özellikler nedeniyle bütçe, hava durumu, lojistik ve coğrafya kısıtları için ortak bir yorumlama, üs sayısı ve İHA sayısı kısıtları için ortak bir yorumlama yapılmıştır.



Şekil 1. Duyarlılık Analizi İşleyiş Sırası.

Bundan sonra uygulanacak bütün senaryolar için İHA1'in 100 km, İHA2'nin 150 km, İHA3'ün 200 km ve İHA4'ün 250 km menzile sahip İHA'lar olduğu varsayılmıştır.

4.1. Bütçe, Hava Durumu, Lojistik ve Coğrafya Kısıtları ile İlgili Farklı Senaryolar

Bu alt bölümde bölümde 16 adet değişik senaryo üretilmiş ve bu senaryoların sonuçları test edilmiştir. İlk 4 senaryoda Bütçe kısıtı ile ilgili veriler, 5, 6, 7 ve 8nci senaryolarda Hava Durumu ile ilgili veriler, 9, 10, 11 ve 12nci senaryolarda Lojistik ile ilgili veriler, son 4 senaryoda ise Coğrafya ile ilgili veriler değiştirilerek sonuçlar test edilmiştir. Çizelge 1'de uygulanan senaryoda kullanılan veriler ve alınan sonuçlar görülmektedir.

4.2. Bütçe, Hava Durumu, Lojistik ve Coğrafya Kısıtlarının Yorumlanması

Uygulanan 16 farklı senaryonun özeti Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu alt bölüm Çizelge 1'in açıklaması olmaktadır. Bütçe kısıtının analizi için uygulanan dört farklı bütçeli ancak diğer kısıtların sabit olduğu bu senaryolarda göstermiştir ki, bütçe kısıtı kapsama alanını ve dolayısıyla amaç fonksiyonunu doğrudan etkilemektedir. Bütçe kısıtının gevşetilmesi amaç fonksiyonunu iyileştirmektedir. Zira bu sayede daha fazla hedef noktayı kapsayabilecek üsler seçilebilir Amaç fonksiyonunu en büyükleyen Senaryo 4 olup bütçenin 2500 birim olduğu senaryodur. Hava durumu kısıtını analizi için uygulanan 20, 25, 30 ve 35 tamsayı değerli ancak diğer kısıtların sabit olduğu bu 4 farklı senaryoda göstermiştir ki bu kısıt amaç fonksiyonunu doğrudan etkilemektedir. Amaç fonksiyonunu en

büyükleyen Senaryo 5 olup hava durumu kısıtının 20 tamsayı değeri olduğu senaryodur.

Çizelge 1. Kısıtlar ve Amaç Fonksiyonu Karşılaştırması.

Senaryo No	Değişken Kısıtlar		İHA Menzilleri	Sabit Kısıtlar	Kapsanan Hedef Sayısı	Amaç Fonksiyonu Değeri	Çözüm süreleri (Sn.)
1	BÜTÇE	1000	İHA1 100 KM İHA2 150 KM İHA3 200 KM İHA4 250 KM	Hava Durumu 22 Lojistik 22 Coğrafya 22	29	95	0.300
2		1500			44	250	0.540
3		2000			36	320	0.570
4		2500			42	388	0.220
5	HAVA DURUMU	20		Bütçe 2000 Lojistik 22 Coğrafya 22	42	336	0.200
6		25			42	336	0.200
7		30			31	88	0.570
8		35			0	0	0.160
9	LOJİSTİK	20		Bütçe 2000 Hava Durumu 22 Coğrafya 22	42	336	0.150
10		25			42	336	0.570
11		30			42	302	0.290
12		35			31	62	0.190
13	COĞRAFYA	20		Bütçe 2000 Hava Durumu 22 Lojistik 22	42	336	0.200
14		25			42	336	0.150
15		30			24	98	0.160
16		35			0	0	0.150

Lojistik kısıt değerinin analizi için uygulanan 20, 25, 30 ve 35 tamsayı değerli ancak diğer kısıtların sabit olduğu bu dört farklı senaryoda göstermiştir ki bu kısıt amaç fonksiyonunu doğrudan etkilemektedir. Amaç fonksiyonunu en büyük kılan senaryolar 9 ve 10ncu senaryolar olup lojistik kısıtının 20 ve 25 tamsayı değeri olduğu senaryolardır. Coğrafya kısıt değerinin analizi için uygulanan 20, 25, 30 ve 35 tamsayı değerli ancak diğer kısıtların sabit olduğu bu dört farklı senaryoda göstermiştir ki bu kısıt amaç fonksiyonunu doğrudan etkilemektedir. Amaç fonksiyonunu en büyük kılan senaryolar 13 ve 14üncü senaryolar olup coğrafya kısıtının 20 ve 25 tamsayı değeri olduğu senaryolardır.

Özetle, bütçe kısıtı amaç fonksiyonu ile doğru orantılıdır. Yani bütçe arttırıldıkça amaç fonksiyonun değeri de artmaktadır. Bunun aksine; hava durumu, lojistik ve coğrafya kısıtı amaç fonksiyonu ile ters orantılıdır. Bu kısıtların değerleri arttıkça amaç fonksiyonunun değeri azalmaktadır. Zira bu kısıtlar

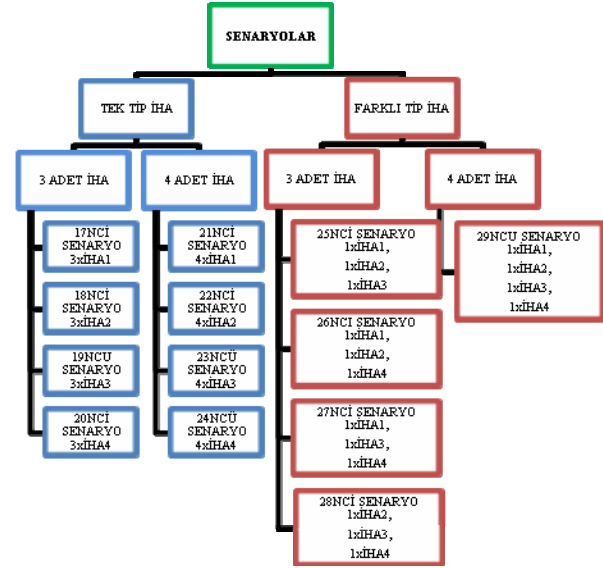
mavi ülke için bazı üsleri kullanma zorunluluğu getirmektedir.

4.3. Üs Sayısı Kısıtı

Üs sayısı kısıtı bu problem içerisinde İHA sayısı kısıtı ile paralel düşünülmelidir. Zira ne kadar İHA var ise en fazla o kadar üs kurabilme şansı vardır. Bir önceki bölümde ülke silahlı kuvvetlerinin personel atamalarını dikkate aldığı bütçe sınırlamasını aşmasa dahi en fazla üs sayısını dört yer olarak belirlemeyi planlandığı belirtilmişti. Dolayısıyla bu kısıt için bu bölüm içerisinde ayrıntılı bir analize gerek duyulmamıştır.

4.4. İHA Sayısı Kısıtı

İHA Üs konuşlandırma problemlerinde en önemli konu İHA sayısı ve İHA'ların menzil özelliğidir. Dolayısıyla İHA sayısı ve menzilleri konusunda farklı senaryolar üretip bunların sonuçlarını sunmak ve bu sonuçları yorumlamak gerekir. Şekil 2 bu alt bölüm dahilinde uygulanan 13 farklı senaryoyu göstermektedir. İlk sekiz senaryoda tek tip İHA olduğu, daha sonraki beş senaryoda ise farklı tip İHA olduğu varsayılmıştır. Tezin önceki bölümlerinde de bahsedildiği üzere farklı tip İHA'ların ve olması, hem menzil mesafesi yönünden hem de maliyet yönünden problemi zorlaştırmaktadır.



Şekil 2. İHA Sayına Göre Uygulanan Senaryolar.

Daha önceden belirtildiği üzere İHA1'in 100 km, İHA2'nin 150 km, İHA3'ün 200 km, İHA4'ün ise 250 km menzile sahiptir. Bu bölümdeki bütün senaryolar için problemde silahlı kuvvetlerin bütçesinin 2000 birim, hava durumu kısıtlama değerinin 22, lojistik kısıtlama değerinin 22 coğrafya kısıt değerinin 22 olduğu kabul edilmiştir.

4.5. İHA Sayı ve Menzillerinin Yorumlanması

17 ve 29ncu senaryolar arasında uygulanan 13 farklı senaryonun özeti Çizelge 2’de görülmektedir. Bu alt bölüm Çizelge 2’nin açıklaması olmaktadır.

Öncelikle tek tip üç adet İHA Üssünün olması durumunda amaç fonksiyonunu en büyükleyen 250 km menzile sahip İHA’ların yani İHA4’lerin olmasıdır. Yine tek tip 4 adet İHA Üssünün olması durumunda amaç fonksiyonunu en büyükleyen yine 250 km menzile sahip İHA’ların olmasıdır. Farklı tip 3 adet İHA Üssünün olması durumunda amaç fonksiyonunu en büyükleyen 28’nci senaryodur. Bu senaryoda ise 1 adet İHA2, 1 adet İHA3 ve 1 adet İHA4 kullanılmıştır. Farklı tip 4 adet İHA’nın olması durumu bizim asıl problemimizin verilerini teşkil etmektedir. Çizelge 2’de de görüldüğü üzere Senaryo29 farklı tip İHA bulunan senaryoların arasından en iyi değerlere ulaşandır.

Çizelge 2. İHA Sayı ve Çeşitleri Amaç Fonksiyonu Karşılaştırması.

Senaryo No	Değişken Kısıtlar	İHA Çeşitleri	Sabit Kısıtlar	Kapsanan Hedef Sayısı	Amaç Fonksiyonu Değeri	Çözüm Süreleri (Sn.)
17	TEK TİP İHA	3 ADET İHA1	BÜTÇE 2000 HAVA DURUMU 22 LOJİSTİK 22 COĞRAFYA 22	9	3	0.250
18		3 ADET İHA2		18	26	0.190
19		3 ADET İHA3		24	37	0.210
20		3 ADET İHA4		31	96	0.190
21		4 ADET İHA1		16	46	0.160
22		4 ADET İHA2		26	162	0.150
23		4 ADET İHA3		46	332	0.190
24		4 ADET İHA4		50	454	0.230
25	FARKLI TİP İHA	İHA1, İHA2, İHA3	22	54	0.160	
26		İHA1, İHA2, İHA4	29	99	0.180	
27		İHA1, İHA3, İHA4	31	92	0.140	
28		İHA2, İHA3, İHA4	31	93	0.120	
29		İHA1, İHA2, İHA3, İHA4	36	320	0.210	

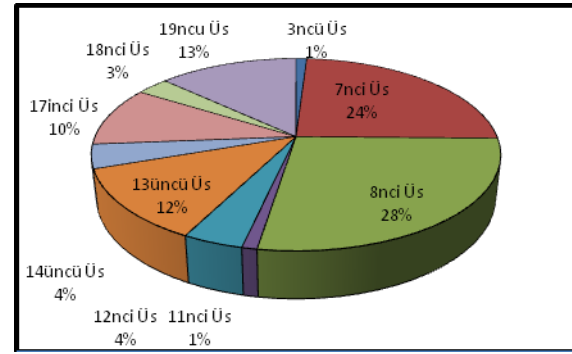
İHA’lar problemde asıl belirleyiciler konumundadır. Problemlerde İHA4 250 km menzile sahip olması sebebiyle kritik yere sahiptir. Mavi ülke geniş bir kapsama alanı istiyorsa İHA4’ten en az 1 adet satın almalıdır. Ne kadar yüksek menzile sahip İHA’lar alınırsa o kadar büyük kapsama alanına ulaşılacaktır.

Senaryo 26 ile Senaryo 27’nin sonuçları dikkatle incelenmelidir. İki senaryo arasındaki fark Senaryo 26’da İHA2, Senaryo 27’de de İHA3’ün kullanılmasıdır. Beklenen daha yüksek menzile sahip olan Senaryo 27’nin amaç değerinin fazla olmasıdır. Ancak Senaryo 27’de bulunan İHA3, Senaryo 26’da

bulunan İHA2’ye göre daha maliyetli olduğundan sonuç farklı olmuştur. Senaryo 26’nın amaç fonksiyon değeri Senaryo 27’nin amaç fonksiyon değerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durum İHA’ların satın alım ve idame işletme maliyetlerinin problemde çok önemli bir yer teşkil ettiğini göstermektedir.

4.6. Üslerin Yorumlanması

Yapılan 29 adet senaryoda toplam 99 adet üs noktası belirlenmiştir. 20 aday üs içerisinde bütün senaryolar dahil olmak üzere toplam 10 üs kullanılmıştır. Kalan 10 adet üs problem sonuçlarında söz konusu dahi olmamıştır. Adı dahi geçmeyen bu 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 15, 16 ve 20nci üsler mavi ülke için önemli değildir. Diğer kalan üslerden 7nci ve 8nci üsler mavi ülke için kritik noktalar. Zira bu üsler sırasıyla 24 ve 27’şer kez seçilerek önemlerini ispat etmişlerdir ki, en avantajlı üsler konumundadırlar. Ardından gelen 13 ve 19uncu üslerde sırasıyla 12 ve 13’er kez seçilerek mavi ülke için önemli üsler olduklarını belli etmişlerdir. Diğer üsler ile ilgili seçim sonuçlarının yüzdeleri ifade ile gösterimi Şekil 3’deki pasta dilimi grafiği gibidir.



Şekil 3. Senaryo Sonuçları Sonrası Üs Seçim Dağılımları.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İHA sistemleri, özellikle harp sahasında diğer muharebe unsurları ile birlikte etkin olarak kullanılmasından dolayı 21’inci yüzyılın modern silah sistemi haline gelmiştir. Bu modern silah sistemlerinden ülke güvenliği açısından alınacak yüksek performans ise kullanıldıkları bölgelere bağlıdır.

Bu çalışmada amaç, öncelik değerlerine göre en fazla hedefi kapsayacak İHA üs atamalarını bulmaktır. Bu atamalar yapılırken uyulması zorunda olunan bütçe, hava durumu, lojistik, coğrafya, üs sayısı ve İHA sayısı olmak üzere altı adet temel kısıt bulunmaktadır. Bu kısıtlardan bütçe, hava durumu, lojistik ve coğrafya kısıtları seçilecek olan üsler için belirleyici rol oynamaktadırlar. Yapılan test sonuçları ülke için bazı üslerin kullanılma zorunluluğu olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla İHA’ların üs konumları belirlenirken mutlaka üsler için ihtiyaç duyduğu

bütçeler, hava durumları, coğrafi pozisyonları ve lojistik kolaylıkları değerlendirilmelidir. Diğer kısıtlar olan üs sayısı ve İHA sayısı genişletildikçe amaç fonksiyonunun değeri de iyileşmektedir.

Havacılık çok yüksek bütçe ile idame edilen bir meslektir. İHA sistemlerinin maliyeti de milyon dolarlar gibi çok büyük meblağlarla ifade edilmektedir. Geçmiş tecrübelerden planlama safhasında yapılan küçük yanlışlıkların ülke ekonomisine büyük zararlar verdiği bilinmektedir. Dolayısıyla çok büyük bütçeler gerektiren sistemleri satın almadan önce mutlaka maliyet analizi yapılmalıdır.

Bu makale, gerçek hayatta oldukça fazla uygulama alanı bulunan kapsama alanı problemlerine örnek teşkil etmektedir. Geliştirilen model ve kodlama problem çok kısa sürede çözüm bulmakla birlikte hava savunma, jandarmanın karakolları ve arama kurtarma istasyonları gibi benzer problemler için de kullanılabilir potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- [1] Drezner Z. and Hamacher W.H. 2002. Facility Location: Application and Theory, Springer.
- [2] Fredrich C.F. and Weber A. 1957. Alfred Weber's Theory of the Location of Industries, Chicago Press.
- [3] Daskin M.S. 1979. A Maximum Expected Coverage Location Model: Formulation, Properties and Heuristic Solution, Transportation Science, Volume 17, pp. 48-70.
- [4] Dawson C.M. 2005. Minimizing Security Forces Response Times Through the Use of Facility Location Methodologies, AFIT MS Thesis, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- [5] Hakimi S.L. 1964. Optimum Locations of Switching Centers and Absolute Centers and Medians of Graph, Operations Research, Volume 12, pp.450-459.
- [6] Kara Y.B. 2007. Network Hub Location Problems: The State of Art, European Journal of Operational Research, Volume 190, pp. 1-21.
- [7] O'Kelly M.E. 1992. Hub Facility Location with Fixed Costs, Papers in Regional Science, Volume 3, pp. 293-306.
- [8] O'Kelly M.E. 1987. A Quadratic Integer Program for the Location of Interacting Hub Facilities, European Journal of Operational Research. Volume 32, pp. 393-404.
- [9] Brandeau M. and Chiu S. 1989. An Overview of Representative Problems in Location Research, Management Science, Volume 35, pp. 645-674.
- [10] Daskin M.S. and Latoya K.D. 2004. Location of Health Care Facilities, Operation Research in Health Care, Volume 1, pp. 43-76.
- [11] Revelle C.S. and Hogan K. 1989. The Maximum Availability Location Problem, Transportation Science, Volume 23, pp. 192-200.
- [12] Klamroth K. and Hamacker W.H. 1996. Planar Location Problems with Barriers Under Polyhedral Gauges, Kaiserslautern University.
- [13] Church R.L. and ReVelle C.S. 1974. The Maximal Covering Location, Papers of the Regional Science Association, Volume 32, pp. 101-118.
- [14] Başdemir M. 2000. Locating Search and Rescue Stations in the Aegean and the Western Mediterranean Part of Turkey, AFIT MS Thesis, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- [15] Laporte G., Gendreau M. and Semet F. 2003. The Maximal Expected Coverage Relocation Problem for Emergency Vehicles, Journal of Operational Society, Volume 57, pp. 22-28.
- [16] www.earthgoogle.com (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2009).
- [17] www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2009).
- [18] Schilling D., Jayarman V. and Barkhi R. 1993. A Review of Covering Problems in Facility, Location Science, Volume 1, pp. 23-55.
- [19] Marianov V. and Serra D. 1998. Probabilistic Maximal Covering Location-Allocation Models for Congested Systems, Journal of Regional Science, Volume 38, pp. 401-424.
- [20] Overholts L.D. , Bell J.B. and Arostegui M.A. 2008. A Location Analysis Approach for Military Maintenance Scheduling with Geographically Dispersed Service Areas, Omega, Volume 37, pp. 838-852.
- [21] Shetty V.K., Moises S. and Nagi R. 2008. Priority-based Assignment and Routing of a Fleet of Unmanned Combat Aerial Vehicles, Computers & Operations Research, Volume 35, pp. 1813-1828.
- [22] Winston W.L. 1993. Operations Research Applications and Algorithms, 3rd Edition, Duxbury Press.
- [23] Aksen D. 1998. Teach Yourself GAMS, Boğaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul.
- [24] Rosenthal R.E. 2008. GAMS – A User's Guide, Gams Development Cooperation, Washington, USA.
- [25] McCarl B.A. 2008. McCarl Gams User Guide, Gams Development Cooperation, Washington, USA.

[26] O'Kelly M.E. 1992. Hub Facility Location with Fixed Costs, Papers in Regional Science, Volume 71, pp. 293-306.

[27] Merrill D.L. 1989. Facility Location and Routing to Minimize the Enroute Distance of Flight Inspection Missions, AFIT MS Thesis, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

[28] Berman O. and Krass D. 2002. The Generalized Maximal Covering Location Problem, Computers Operations Research, Volume 29, pp. 563–581.

[29] Cooper J. 1990. Logistics and Distribution Planning, Kogan Page Ltd.

[30] Chan Y. 2001. Location, Transportation and Land Use, Modelling Spatial-Temporal Information, Springer.

[31] Klamroth K. 2002. Single Facility Location Problems with Barriers, Springer Series in Operation Research and Financial Engineering.

[32] Daskin M.S. 1995. Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications, New York: John Wiley & Sons, Inc.

[33] Fuller D.E. 1997. Optimizing Airborne Area Surveillance Asset Placement, AFIT MS Thesis, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

ÖZGEÇMİŞLER

Hvİkm.Ütğm.Erhan AYÖPERKEN

1980 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1994 yılında Kuleli Askeri Lisesi'ni kazanarak 4 yıllık eğitimi sonunda 1998 yılında Hava Harp Okulu'nda Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2002 yılında mezun olup teğmen rütbesiyle 2'nci Ana Jet Üs Uçuş Eğitim Merkezi Komutanlığı'na atandı. Eylül 2003 - Haziran 2004 yılları arasında, Hava Sınıf Okulları ve Teknik Eğitim Merkez Komutanlığı Gaziemir/İZMİR Kursiyer Subaylığı takiben; Haziran 2004'de 11nci Hava Ulaştırma Ana Üs Komutanlığı Etimesgut/ANKARA'da Malzeme Destek ve Koordinasyon Amiri görevlerine atandı. Eylül 2007 yılında yüksek lisans eğitimine hak kazanana kadar bu görevde bulundu. Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü'nde Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini Ağustos 2009 tarihinde başarı ile tamamlayıp, M.S.B. Dış Tedarik Daire Başkanlığı'na atanmıştır. Evli olup, bir erkek çocuğu babasıdır. Temel seviyede Rusça ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.

Yrd.Doç.Dr.Hv.Müh.Yb. Murat ERMİŞ

Boğaziçi Endüstri Mühendisliği Bölümünden ve İstanbul F.Y.O. K.'lığından 1991 yılında mezun olmuştur. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden doktora derecesi almıştır. Çalışma alanları matematiksel modelleme, konum-tahsis problemleri, meta-sezgisel yaklaşımlar ve çözelgelemedir. Halen Hava Harp Okulu Dekanlığı Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır.