

## HAVA GÖREV EMRİ OPTİMİZASYON MODELİ\*

Hv.İsth.Ütğm. Okan ARSLAN\*\*  
Hv.K.K.İğği BİLKADES Ş.Md.lüğü  
okanarslan@hvkk.tsk.tr

Hv.İkm.Kur.Alb. Erol YÜCEL  
Hv.K.K.İğği BİLKADES Ş.Md.lüğü  
eyucel@hvkk.tsk.tr

*Geliş Tarihi:* 13 Haziran 2011, *Kabul Tarihi:* 13 Ocak 2012

### ÖZET

Hava hareketinin planlanması ve icrası, operatif seviyede karar ve kontrol merkezi olan Birleştirilmiş Hava Harekat Merkezleri (BHHM) tarafından gerçekleştirilmektedir. Günde 1000-1500 uçuşun planlandığı ve icrasının takip edildiği BHHM'deki hareket çevrimi, karar vericiler üzerinde bilgi yoğunluğu ve zaman baskısı oluşturmaktadır; böylesine karmaşık bir ortamda, hareketin başarısı için kritik bir öneme sahip olan karar üstünlüğünü elde bulundurmaya bir kuvvet çarpanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, seçilen hedeflere taarruz edecek uçak ve mühimmatların atama bilgilerini içeren Hava Görev Emri (HGE)'nin hareket esnasında kısa süre içerisinde hazırlanarak karar üstünlüğünün sağlanması amacıyla analitik bir model oluşturulmuştur. Modelde sezgisel algoritmalar kullanılarak hedefler seçilmiş, P-medyan modeli ile uçak ve mühimmatlar hedeflere tahsis edilmiş ve böylelikle hareket planlama sürecine tümleşik bir çözüm sunulmuştur. Ayrıca geliştirilen bir yazılımla modelin günlük hayatta uygulanabilirliği jenerik senaryolar üzerinde test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hedef Seçimi, HGE Üretimi, Ağ Problemi, Açgözlü Algoritma, P-Medyan Konuş Problemi, Dijkstra'nın Algoritması.

### AIR TASKING ORDER OPTIMIZATION MODEL

#### ABSTRACT

Combined Air Operation Center (CAOC) provides command and control in operational level in air operations planning and execution. Operation cycle in CAOC requires planning and controlling 1000-1500 flights daily and creates information overload and time pressure on the decision makers. Under such complicated circumstances, achieving the decision superiority and keeping it emerges as a force multiplier. This study proposed a decision support model to achieve the decision superiority by generating Air Tasking Order (ATO) in a short time which contains assignment information of aircraft, munitions and targets. In this context, target selection process is modeled by heuristic methods, the aircraft are assigned to the targets using P-median model and therefore a complete solution is proposed for the operations planning process. The applicability of the proposed model is tested on several generic scenarios.

**Keywords:** Target Selection, ATO Generation, Network Problem, Greedy Algorithm, P-Median Location Problem, Dijkstra's Algorithm.

### 1. GİRİŞ

Hava gücü, kısıtlı kaynaklardan oluşan, mali açıdan değeri oldukça yüksek, harekate sağladığı katkı açısından ise vazgeçilmez bir kuvvet unsurudur. Hava gücüne ait her bir silah sisteminin hareket esnasında tüm operasyonun kaderini değiştirebilecek kabiliyete sahip olmasından dolayı, bu gücün kullanımının planlanmasının da en etkin şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Hava hareketinin planlanması ve icrası, operatif seviyede karar ve kontrol merkezi olan Birleştirilmiş Hava Harekat Merkezleri (BHHM) tarafından gerçekleştirilmektedir. Harekat esnasında günde 1000-1500 uçuşun planlandığı ve icrasının takip edildiği BHHM'deki hareket çevrimi karar vericiler üzerinde bilgi yoğunluğu ve zaman baskısı oluşturmaktadır; bu ise durumsal farkındalığın zaman zaman kaybolmasına neden olabilmektedir. Böylesine karmaşık bir ortamda, hareketin başarısı için kritik bir öneme sahip olan karar üstünlüğünü elde bulundurmaya bir kuvvet çarpanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

\* Makalede ifade edilen yorum ve fikirler yazarların tamamen kendi kişisel görüşleridir ve yazarlarla ilgili kurumların fikirlerini temsil etmemektedir.

\*\* Sorumlu yazar

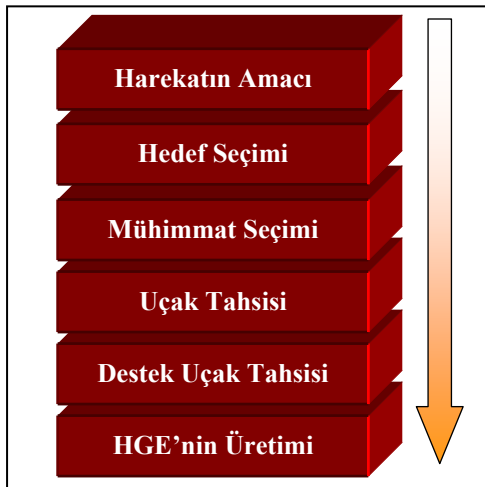
Karar üstünlüğü, planlama süreci içerisinde sürekli olarak değişen bilgilerin doğru değerlendirilmesini, hareketin nihai amacına katkı sağlayacak doğru hedeflerin seçilmesini ve envantere hazır olarak bulunan mühimmatların ve silah sistemlerinin seçilen hedeflere etkin bir şekilde tahsis edilebilmesini gerektirir. Ancak bahsedilen süreçler oldukça uzun zaman almakta, yetenekli ve deneyimli personelin sürekli istihdamını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, hareket esnasında karar üstünlüğünü sağlamak amacıyla, 72 saat süren hareket planlama çevrimi sürecinin başlangıcında, kısa süre içerisinde hedefleri seçebilen, kaynakları optimum bir şekilde hedeflere tahsis edebilen ve bütün bu atama bilgilerinden oluşan Hava Görev Emri (HGE) taslak halinde sunabilen bir metodoloji ortaya koymaktır. Çalışma neticesinde, sezgisel algoritmalar kullanılarak hedefler seçen ve P-medyan optimizasyonu ile kaynakları hedeflere tahsis eden bir model geliştirilmiştir. Model, gerçek hayatta uygulamalarının görülmesi amacıyla yazılıma dönüştürülmüştür.

Takip eden bölümde hareket planlama sürecinin genel ilkeleri ana hatlarıyla açıklanmıştır. Üçüncü bölümde hareket planlaması ile ilgili literatür kronolojik olarak incelenmiştir. Dördüncü bölümde geliştirilen analitik modeller ortaya konulmuş ve çözüm metodları incelenmiş, beşinci bölümde ise geliştirilen yazılım tanıtılarak çeşitli jenerik senaryolar üzerinden örnekleyici uygulamalar sunulmuştur. Son bölümde sonuçlar incelenerek çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılmış ve gelecek çalışmalar ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

## 2. HAREKAT PLANLAMA SÜRECİ

Hareket planlama süreci, Şekil 1’de görüldüğü gibi, karar vericilerin harekate yönelik amacını ortaya koymaları ile başlar.



Şekil 1. Hareket Planlama Süreci.

Harekatın amacı, politik değerlendirmelere dayanarak verilen ve hareket planlama sürecini yönlendiren bir karardır. Sonrasında, amaca uygun hedeflerin seçimi gerçekleştirilir. BHHM tarafından icra edilen planlama süreci bu aşamada başlar. Takip eden 3 aşama olan hedef seçimi, mühimmat seçimi ve uçak tahsisi, hareketin başarısı için en önemli aşamalar olarak değerlendirilebilir. Seçilen hedeflerin hareketin nihai amacına azami katkıyı, en kısa sürede ve en uygun kaynaklar kullanılarak sağlayacak hedefler olması gerekmektedir. Hedefler seçildikten sonra, kullanılacak uygun mühimmatlar tahsis edilir. Seçilen bir hedefte istenen operasyonel etkiyi oluşturmak için farklı sayıda ve tipte mühimmatlardan oluşan bir konfigürasyonun kullanılması gerekmektedir. İlgili hedefte aynı etkiyi oluşturabilecek farklı **mühimmat konfigürasyon alternatifleri** mevcuttur. Bu alternatifler, en muhtemel, orta ve en az muhtemel şekilde tasnif edilebilir. Üç seçenektен birincisi, hedef için en muhtemel ve istenilen mühimmat konfigürasyonu; üçüncüsü ise en az muhtemel, ancak kaynaklar yetmediği takdirde alternatif oluşturabilecek mühimmat konfigürasyonudur. Hedefin yapı malzemesine, tipine, önemine ve hedefte istenen etkiye dayanarak mühimmat konfigürasyonları uzman istihbarat ve hareket personelinin ortak çalışması ile tespit edilmektedir.

Bir sonraki aşamada, ilgili mühimmatları taşıyarak düşman hedeflerini tahrip edecek ve hareketin amacına doğrudan katkı sağlayacak olan bombardıman uçaklarının tahsisi gerçekleşir. Hareket esnasında her uçak görevini tamamladıktan sonra yeni bir hedef tahsis edilerek hedefler bölgesine yeniden görevlendirilir. Günün farklı zamanlarında icra edilen bu taarruz akımları **sorti** olarak adlandırılır. Gün içerisinde karar vericilerin görüşü, hareketin amacı ve hedeflerin yoğunluğu ile orantılı olarak kaç sorti icra edileceği değişebilmektedir. Hedeflere bombardıman uçakları tahsis edildikten sonra, son aşamada bu uçakların görevlerini başarabilmeleri için gerekli savunma ve komuta kontrol desteğini sağlayan uçaklar görevlendirilir. Son olarak seçilen hedeflere taarruz edecek uçak ve mühimmatların atama bilgilerini içeren HGE yayınlanır ve icra başlar.

Özetle, hedef seçimi ile başlayan süreç, BHHM tarafından icra edilir ve tamamı aynı problem içerisinde göz önünde bulundurulması gereken çeşitli parametrelerin eşzamanlı olarak değerlendirilmesini gerektirir. Bu çalışma kapsamında, planlama sürecinde gerçekleşen faaliyetler sırası ile modellenerek pratik çözümler önerilmiştir.

## 3. LİTERATÜR TARAMASI

HGE optimizasyonu, bir çok alt problemten oluşan ve her bir alt problemin çok çeşitli kısıtları içerdiği oldukça geniş bir problemdir. Optimizasyon problemleri içinde, tümeşik (combinatorial)

optimizasyon dalında ve karmaşıklık olarak NP-Tam (NP-Complete) kümesine dahildirler [1].

Literatürde konu ile ilgili tespit edilen ilk çalışma, 1991 yılında paket hareket konseptinin ilk olarak Irak hareketında kullanılması ve bilgisayar teknolojisinin gelişimi paralelinde 1993 yılında Dolan tarafından yapılmıştır [2]. Hazırlanan model tabrikatlarda kullanılmış ve tespit edilen çeşitli aksaklıklar üzerine Crawford tarafından yeni bir tamsayı doğrusal programlama çözümü sunulmuştur [3]. Çözümlerin yeterince hızlı olmaması, problemin oldukça yüksek çözünürlüğün düşürülerek çözüm yolların aranmasına sevk etmiştir. Bunun üzerine çeşitli seviyelerde detaylar dikkate alınmayarak süreç tekrar modellenmiştir [4]. 1994 yılı itibariyle pratikte kullanılabilen bir modelin mevcut olmadığı Hinton tarafından belirtilmiştir [5]. 1995 yılından itibaren probleme karar ağacı eklenmiş, ancak problemin çözümüne bakış açısı değişmeyecek doğrusal programlama modellemesi ile çözülmeye devam edilmiştir [6]. Problemin büyüklüğü, zaman içerisinde çeşitli farklı tamsayı programlama modellerinin geliştirilmesine yol açmıştır [7]. İlgili çalışmada çözülmeye çalışılan 100 hedefli küçük ölçekli örnek bir problemde 6 milyon 0-1 değişkeni ve 80.000 kısıt mevcuttur. İlk olarak 1998 yılında Abrahams ve diğ. amaçları hiyerarşi içerisinde değerlendirmiş, problemin doğrusal programlama ile çözülemeyecek kadar büyük olduğunu ifade etmiş ve genetik algoritmalar ile çözüm aramıştır [8]. Süreç, 1999 yılına kadar genel olarak kaynakların hedeflere tahsisi olarak ele alınmış, bu yılda Koewler tarafından problem yeniden tarif edilerek bir çizelgeleme problemi olarak çözülmüştür [9]. Gürdal ve Leblebicioğlu tarafından yapılan çalışmada ise, HGE üretiminde hedef seçim süreci sadece bir kaynak tahsis problemi olarak değil, farklı bir bakış açısıyla aynı zamanda bir ağ modeli olarak incelenmiştir [10]. Gerçek zamanlı istihbaratta meydana gelen gelişmeler, problemin daha farklı platformlarda ele alınmaya başlamasına neden olmuş, planlama sürecinin geliştirilmesi için çeşitli süreç iyileştirme metotları ortaya konmuştur [11]. Ayrıca veritabanı sistemlerinin gelişimi ve bu paralelde Hava Kuvvetleri Bilgi Sistemi'nin (HvBS) kullanıma girmesi ile, HGE'nin otomatik üretim sürecinden ziyade literatür, operatif hava hareketinin planlamasında görsel modelleme konusuna kaymış ve "HGE'nin tam otomatik olarak üretilemeyeceği" Çanlı tarafından ifade edilmiştir [12]. Çalışmada hazırlanan HGE'nin görselliğinin geliştirilerek sürecin iyileştirilebileceğine dikkat çekilmiştir.

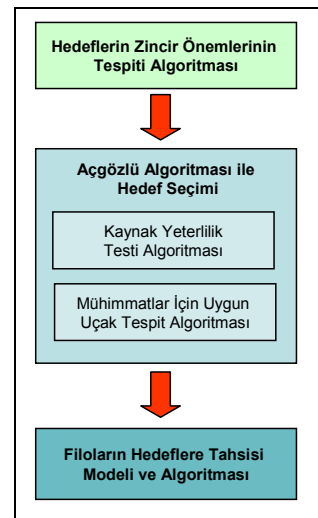
Yapılan tüm çalışmalara rağmen 2000 yılına gelindiğinde henüz kullanılan bir hedef seçim ve kaynak tahsis modelinin mevcut olmadığı Calhoun tarafından ifade edilmiştir [13]. Problem Calhoun tarafından tabu search algoritması ile çözülmüş ve çözüm süresinde iyileştirme optimal çözümden

uzaklaşarak kısmen sağlanmıştır [14]. Barth tarafından geçmiş çalışmalarda rotalama, gerçek zamanlı yeniden görevlendirme, problem boyutu veya çözüm hızı konularından en az birisinde eksik kaldığı ifade edilmiştir [15]. Castro ve Rogerio tarafından problem, hedef seçimi, silah tahsisi, paket oluşturma, görev rotalama ve çizelgelemesi ve ihtiyat planlaması olarak 5 basamak halinde incelenmiştir [16]. Bardak tarafından sürecin alt problemlerinden SEAD (Supression of Air Defense) planlaması yapılmış ve HGE'ye ithal edilmiştir [17]. Bir başka çalışma ise Arslan tarafından hava savunma uçaklarının tahsisi ile ilgili gerçekleştirilmiştir [18]. 2001 sonrası dönemde, NATO ve Koalisyon Güçleri tarafından düzenlenen Afganistan ve Irak Harekatlarından elde edilen tecrübeler doğrultusunda, hareket planlama sürecine dinamik olarak ortaya çıkan zamana duyarlı hedefler ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu noktada problem, "zamana duyarlı hedeflerin önceden hazırlanmış olan HGE'yi minimum şekilde değiştirerek optimizasyonu" olarak yeniden tarif etmiştir [19 - 21].

Problemin tanımı ve kısıtları zaman içerisinde sürekli olarak değişmesine rağmen, hareket planlama sürecinin modellenmesi ve HGE optimizasyonu literatürü sürekli meşgul etmiştir ve halen güncel bir konu olarak önemini korumaktadır. Literatürde bu alanda bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen, halihazırda yazarların ulaşabildiği açık kaynak bilgiler dahilinde HGE üretimi veya optimizasyonu ile ilgili pratikte uygulamaya geçmiş bir model veya yazılıma rastlanmamıştır.

#### 4. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde, hareket planlama sürecinin kritik üç aşaması olan hedef seçimi, mühimmat seçimi ve uçak tahsisi için geliştirilmiş olan modellerden bahsedilecektir. Geliştirilen modeller Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Geliştirilen Algoritma ve Modeller.

Hedef seçimi sürecinden önce, hedeflerin bir ağ içerisinde kıymetlendirilmesi ile gerçek önemlerinin ortaya çıkartılması gerekmektedir. “Hedeflerin zincir önemlerinin tespiti” algoritması ile, her hedef için uzmanlar tarafından verilmiş olan önem değerleri ağ mantığı ile yeniden değerlendirilmektedir. Ardından açgözlü algoritma ile hedef seçim süreci modellenmektedir. Hedef seçimi aşamasında kuvvetlerin seçilen hedefler için yeterliliğinin analiz edilebilmesi maksadıyla kaynak yeterlilik testi algoritması geliştirilmiştir. Test yürütülürken mühimmatları taşıyacak uygun uçakları tespit için algoritmalara ihtiyaç duyulur. Bu maksatla “mühimmatlar için uygun uçak tespit algoritması” kullanılmaktadır. Son olarak hedef seçim işleminin gerçekleştirilmesini müteakip, filoların hedeflere tahsisi için model geliştirilmiştir.

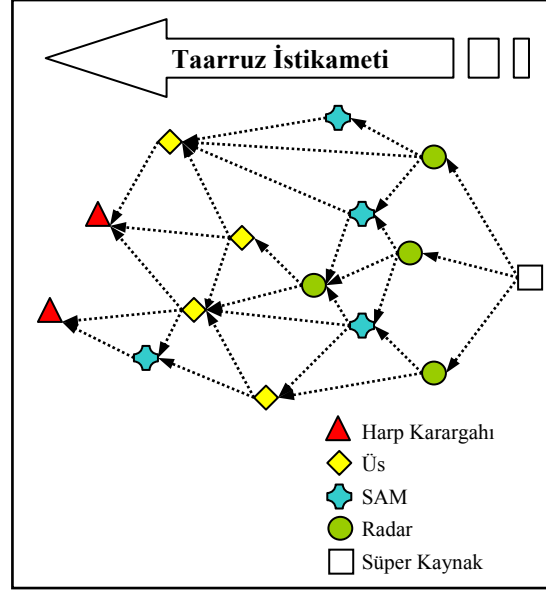
Aşağıda tarif edilen algoritmalarda  $s_{max}$ , planlama yapılan sorti sayısını;  $u_{max}$ , uçak tipi sayısını;  $f$ , filo değişkenini;  $h$ , hedef değişkenini;  $m$ , mühimmat konfigürasyonu değişkenini;  $s$ , sorti değişkenini ve  $u$ , uçak değişkenini ifade eder.

#### 4.1. Hedeflerin Zincir Önemlerinin Tespiti

Harekat bölgesinde bulunan her hedef, hareketin amacına sağlayacağı katkı seviyesiyle doğru orantılı bir öneme sahiptir. Her hedefin sahip olduğu bu önem, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak gizlilik dereceli bir çalışma neticesinde uzman personel tarafından barış döneminde tespit edilebilmektedir. Her hedefin sahip olduğu müstakil önem, imhası halinde dost kuvvetlerin elde edecekleri kazancı ifade eder. Ancak hedeflerin hareket bölgesinde birbirinden bağımsız olarak imhası mümkün değildir. Çünkü hareketin amacına katkı sağlayacak hedefler çeşitli silah sistemleri tarafından korunmaktadır. Her biri ayrıca birer hedef olan bu silah sistemlerinin konusu, hareket bölgesinde derinliğine bir hiyerarşi yaratmaktadır (Şekil 3). Dolayısıyla hedeflerden herhangi birisini tahrip edebilmek için, kendisinden önce tahrip edilmesi gereken bir hedef grubu mevcuttur. Her hedef, kendi önemine ilave olarak, hedefler arası bağlantılar ve karşılıklı etkileşimler göz önünde bulundurulduğunda, ilişkili olduğu diğer hedefler nedeniyle de önem kazanabilmektedir. Bir ağ oluşturacak şekilde coğrafi olarak dağılmış bulunan hedeflerin, analizlerde kullanılmak üzere tespit edilmesi gereken gerçek önemi (zincir önemi), ancak hedefler arasında bulunan hiyerarşinin değerlendirilmesi ile ortaya çıkar.

Şekil 3'te örnek bir hedef ağı gösterilmektedir. Taarruz istikameti değerlendirildiğine, seçilen bir hedefi vurmadan önce rota üzerinde bulunan üslerin, onu koruyan SAM sistemlerinin ve tehdit uçağı tespit için kullanılan radarların imhası gerekmektedir. Dolayısıyla hareketin amacına katkısı çok düşük olan bir hedefin dahi hedef seçimi çalışması aşamasında, hedef hiyerarşisi nedeniyle seçilmesi

gerekebilmektedir. Bu nedenle bir hedefin zincir önemi, kendisine ulaşılması için vurulması gereken hedefler grubunun toplam önemi olmalıdır.



Şekil 3. Örnek Hedef Ağı.

Her hedefin önem değerinin yanında, savunma kapasitesi ile doğru orantılı olarak bir risk seviyesi mevcuttur. Herhangi bir hedefe ulaşmak için alınması gereken risk, kendisine ulaşmak için vurulması gerekli olan hedefler grubuna ve kendisine taarruzlarda başarılı olma ihtimallerinin çarpımının birden çıkarılması ile elde edilir:

$$tr_h = 1 - \prod_{i \in \{h, G_h\}} (1 - r_i) \quad (1)$$

Burada  $r_i$ ,  $i$ 'nci hedefin riskini;  $(1-r_i)$  terimi,  $i$ 'nci hedefe başarılı taarruz ihtimalini;  $tr_h$ ,  $h$  hedefine başarı ile ulaşmak ve taarruz etmek için alınması gereken toplam riskini ve  $G_h$  ise  $h$  hedefine ulaşılması için seçilmiş olan hedefler kümesini ifade eder. Eğer  $tr_h$  değeri karar vericiler tarafından hareketin başlangıcında tarif edilmiş maksimum risk seviyesini aşılıyor ise hedef seçilmemelidir.

Hedef ağının büyüklüğü hareket alanında 500 hedefe kadar büyüebilmektedir. Dolayısıyla bir hedefe ulaşabilmek için sayılamayacak kadar fazla farklı hedef grubu seçilebilir. Bu noktada zincir önemi en yüksek olan hedeflerin seçilmesi, hareketin amacına azami katkıyı sağlayacaktır. Dolayısıyla herhangi bir hedefe ulaşılması için zincir önemi diğer alternatiflerden daha fazla olan hedeflerin seçilmesi gerekmektedir. Diğer bir ifade ile, her hedef için bu alternatif hedef gruplarından önem maksimizasyonu yapılarak seçim işlemi gerçekleştirilmelidir. Ayrıca bu noktada riskin karar vericiler tarafından tarif edilmiş maksimum risk seviyesinin altında bulunması gerekir. Dolayısıyla  $h$  hedefi için  $tr_h$  değeri tarif edilmiş

maksimum risk seviyesini geçiyorsa alternatif hedef gruplarına bakılması gerekir. Eğer risk seviyesi herhangi bir şekilde kabul edilebilir seviyenin altına düşürülemez ise hedef reddedilir. Kabul edilebilir risk seviyesinin altında kalarak en önemli hedef grubunu tespit edebilmek maksadıyla modifiye edilmiş Dijkstra'nın algoritması kullanılmıştır.  $E$  sayıda ayrıt ve  $V$  sayıda düğüm olan bir ağda, Dijkstra'nın algoritmasının karmaşıklığı  $O(|E|+|V|\log|V|)$  olarak ifade edilir [22]. Dolayısıyla Dijkstra'nın algoritması polinomsal zaman içerisinde koşan ve hedef sayısının artmasıyla çözüm süresinin üstel olarak artmadığı bir metot olarak kullanılabilir.

Dijkstra'nın algoritması her ne kadar mesafe minimizasyonu maksadıyla kullanılsa da, düğüm noktaları arası mesafe değerleri negatif olarak verildiği takdirde algoritma, maksimizasyon algoritması olarak kullanılabilir. Mevcut problemde, düğüm noktaları hedeflerdir. Algoritmaya iki farklı düğüm noktası arasındaki mesafe değeri olarak, hedef hiyerarşisinde taarruz istikametine göre "sonra" yer alan hedefin önem değerinin negatifi verildiği takdirde, algoritma herhangi bir hedefe ulaşmak için en fazla önemi olan hedefler grubunu tespit etmekte ve buna uygun olarak her bir hedefin zincir önem değerini ortaya çıkarmaktadır. Modifiye edilmiş Dijkstra'nın Algoritmasında herhangi bir düğüm noktasına olan mesafe (hedefe ulaşmak için toplam önem) tespit edilirken risk testine tabi tutulur. Eğer hedefe ait toplam risk kabul edilebilir maksimum riskin üstündeyse, ilgili hedef seçilmez ve önem

değeri sıfır olarak atanır. Ağda bulunan hedefler için modifiye edilmiş Dijkstra'nın algoritmasının koşurulması ile de ağdaki her hedefin kabul edilebilir maksimum risk seviyesinin altında kalmak koşuluyla zincir önem değerleri ( $Z_h$ ) ve  $h$  hedefine ulaşılması için seçilmiş olan hedefler kümesi ( $G_h$ ) tespit edilmiş olur.

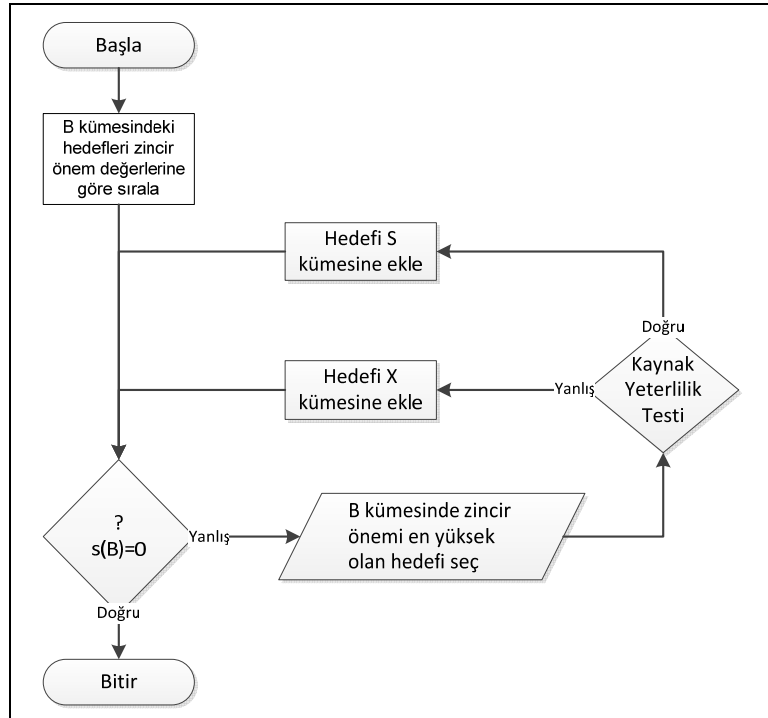
Dijkstra algoritmasının çalışabilmesi için, bir başlangıç noktası gerekmektedir. Bu maksatla, hedeflere başlangıçta hayali olarak eklenen bir "Süper Kaynak"tan gidilecektir (Şekil 3). Süper kaynak, dost bölgede konuşlu olan uçakların uğradığı bir nokta olarak düşünülebilir. Algoritma, bu süper kaynaktan başlayıp önem maksimizasyonu yaparak her hedefin zincir önemini tespit etmektedir.

#### 4.2. Ağözlü Algoritma ile Hedef Seçimi

Ağözlü algoritma,  $n$  hedef sayısı olmak üzere,  $O(n \log n)$  karmaşıklığına sahip ve çok hızlı çözüm üreten bir tekniktir [23]. Hedef seçim sürecinde zamanın kritik bir parametre olması nedeniyle, ağözlü algoritma kullanılmıştır (Şekil 4).

Şekil 4'te  $BH$ , bütün hedefler kümesini;  $S$ , kabul edilen hedefler kümesini;  $X$ , reddedilen hedefler kümesini;  $B$ , henüz kontrol edilmemiş hedefler listesini ifade eder. Burada  $B$  kümesi bütün hedefler ile henüz kabul veya ret edilmemiş hedeflerin farkına eşittir:

$$B = BH \setminus (S \cup X) \quad (2)$$



Şekil 4. Ağözlü Hedef Seçim Algoritması.

$S$  kümesinde bulunan hedefler ile birlikte  $h$  hedefi ve  $G_h$  kümesine bulunan hedefler, uçak ve mühimmatlardan oluşan kaynakların yetip yetmediğinin kontrol edilmesi maksadıyla takip eden başlıkta detayları sunulan kaynak yeterlilik testi algoritmasına gönderilir. Eğer testin cevabı *doğru* ise,  $h$  hedefi ve  $G_h$ ,  $S$  kümesine ilave edilir. Eğer kaynaklar yetmiyorsa,  $h$  hedefi  $X$  kümesine eklenir. Algoritma bu şekilde  $B$  kümesinin eleman sayısı sıfıra eşit oluncaya, diğer bir ifade ile, test edilmeyen hedef kalmayana kadar devam eder. Algoritma tamamlandığında,  $S$  kümesine dahil tüm hedefler seçilmiş ve kaç uçak ve hangi mühimmat ile taarruz edileceği tespit edilmiştir.

#### 4.3. Kaynak Yeterlilik Testi

Kaynak yeterlilik testi, basit bir şekilde toplam uçak ve mühimmat sayılarının ihtiyaçlarla karşılaştırılmasından daha karmaşık bir prosedürdür. Algoritma, verilen bir  $H$  hedefler kümesinde bulunan tüm hedefler için yeterince kaynağın olup olmadığını kontrol eder ve *doğru* veya *yanlış* olarak bir değer döndürür. Buna ilave olarak ilgili hedef grubunda bulunan her hedefe kaç uçakla ve hangi mühimmat konfigürasyonu kullanılarak taarruz edileceği testin sonucunda tespit edilmiş olur. Şekil 5'te gösterilen algorithmada 1 numara hedef döngüsü, 2 numara mühimmat konfigürasyonu döngüsü ve 3 numara ise sorti döngüsüdür. Algoritmanın başlangıcında  $h$ ,  $m$  ve  $s$  için 1 değeri atanmıştır.  $h$  değişkeninin alabileceği değerler  $\{1, 2, \dots, |H|\}$ ,  $m$  için  $\{1, 2, 3\}$  (en muhtemel, orta, en az muhtemel konfigürasyonlar) ve  $s$  için  $\{1, 2, \dots, s_{max}\}$  şeklindedir. İlk değerler atandıktan sonra,  $h$ 'inci hedef için  $m$ 'inci mühimmat konfigürasyonu  $s$ 'inci sortide taarruz edilmek üzere seçilir. Takip eden aşamada seçilen mühimmatlar ile kullanılmış olan mühimmatların toplamı mevcut mühimmat sayısı ile karşılaştırılır:

$$MK_m \leq MM_m \quad \forall m \in MT \quad (3)$$

Burada  $MT$ , mühimmat tipleri kümesini;  $MK_m$ , kullanılan  $m$  tipi mühimmat sayısını ve  $MM_m$  ise mevcut  $m$  tipi mühimmat sayısını ifade eder.

Eğer mühimmat yetmiyor ise farklı bir mühimmat konfigürasyonunu aynı hedef için denemek

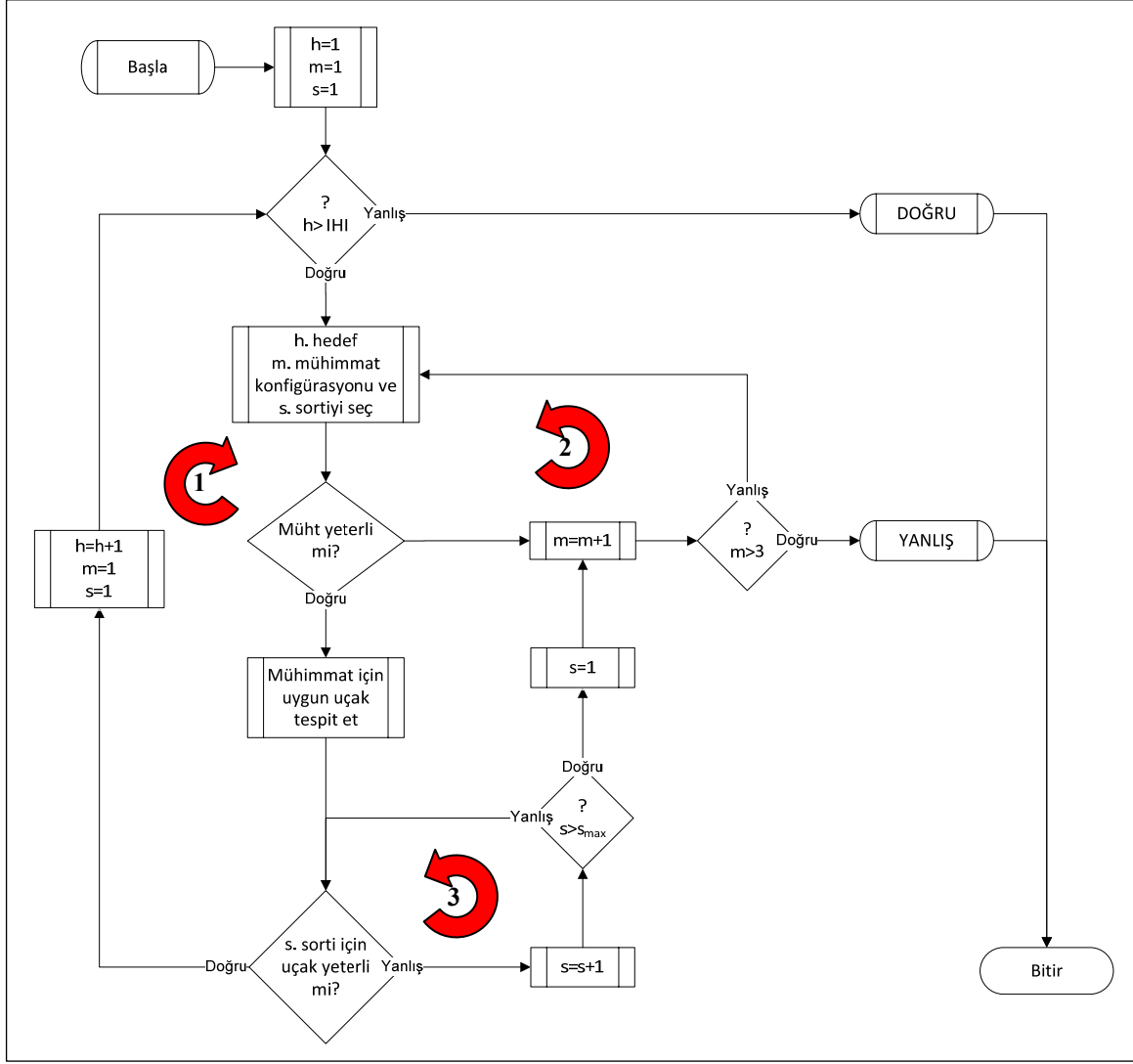
maksadıyla  $m$  artırılır (2'nci döngü). Her 3 mühimmat konfigürasyonu için envanterde yeterli mühimmatın bulunmaması, bu hedefe taarruz edilemeyeceğini ifade etmektedir. Dolayısıyla, kaynak yeterlilik değeri *yanlış* olarak döndürülür. Eğer herhangi bir mühimmat konfigürasyonu için envanterde bulunan mühimmat yetiyorsa, bu mühimmatları hedefe taşıyacak uçaklar seçilir. Uygun uçak seçim işlemi ayrı bir algoritma olarak aşağıda açıklanacaktır. Bu algoritma sorti içerisinde ilgili mühimmatları kullanarak taarruz edecek olan en uygun uçağı tespit eder. Ardından seçilen uçakların envanterde mevcut olduğu kontrol edilir.

$$UK_u \leq UM_u \quad \forall u \in UT \quad (4)$$

Burada  $UT$ , uçak tipleri kümesini;  $UK_u$ , kullanılan  $u$  tipi uçak sayısını ve  $UM_u$  ise mevcut  $u$  tipi uçak sayısını ifade eder.

Eğer  $s$ 'inci sortide yeterli sayıda uçak mevcutsa, sıradaki diğer hedefi kontrol etmek maksadıyla  $h$  artırılır ve sorti ve mühimmat konfigürasyonu değişkenleri 1 olarak ayarlanır (1'inci döngü). Bu işlem, yeni hedef için en uygun mühimmatın ilk olarak denenmesini ve birinci sortiden itibaren uçakların tahsis edilmesini sağlar.  $s$ 'inci sortide yeterli uçağın mevcut olmaması durumunda ise, öncelikle takip eden diğer sortilerde yeterli uçağın olup olmadığına bakılır (3'üncü döngü). Herhangi bir sortide uçak bulunamaması durumunda, farklı tip mühimmat konfigürasyonu farklı uçak sayısına ihtiyaç duyabileceğinden ve bu durumda mevcut uçak sayısı yeterli olabileceğinden dolayı, farklı mühimmat konfigürasyonlarını denemek maksadıyla  $s$  değerine 1 atanır,  $m$  değeri 1 artırılır ve 2'nci döngüye tekrar dönlür. Diğer bir ifade ile aynı hedef için farklı bir mühimmat konfigürasyonu, uçaklara birinci sortiden itibaren planlama yapılacak şekilde seçilir.

Bakılan hedefler tamamlandığında, yani 1 numaralı hedef döngüsünde  $h$  değeri hedef sayısını geçtiğinde, tüm hedefler için gerekli tahsis yapılmış demektir ve kaynak yeterlilik değeri *doğru* sonucunu olarak algoritma sonlandırılır. Eğer hedefler henüz bitmediyse, üzerinde çalışılan hedef için tahsis yapılmış demektir ve  $h$  artırılarak bir sonraki hedefe geçilir.



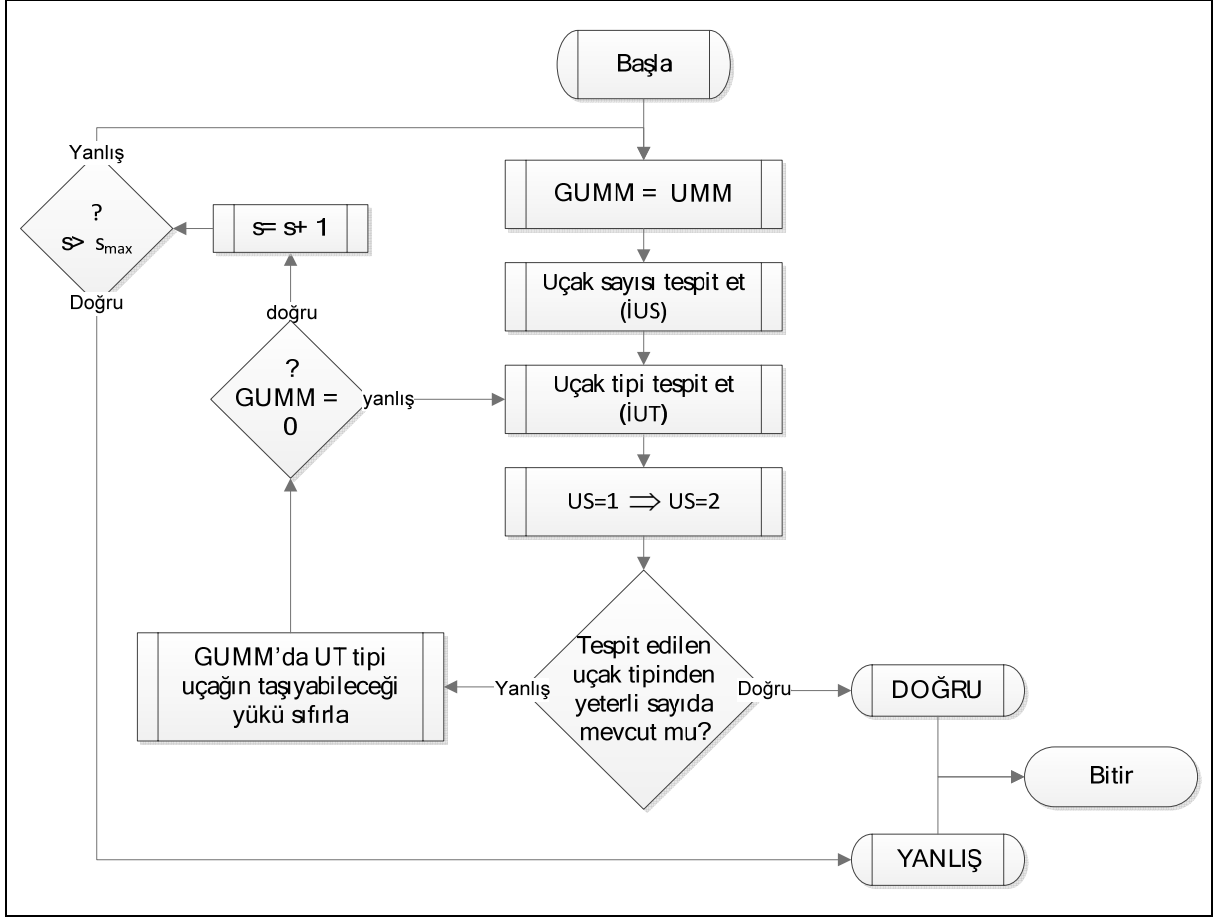
Şekil 5. Kaynak Yeterlilik Testi Algoritması.

#### 4.4. Mühimmatlar İçin Uygun Uçak Tespit Algoritması

Mühimmatları taşıyacak uçakları tespit etmek için “kuvvet tasarrufu prensibi” dikkate alınır. Prensip gereği, aynı mühimmatı taşıyacak farklı tip uçaklar arasında en az sayıda uçuş ile görevi icra edecek uçak tipi seçilmelidir. Örneğin Z tipi mühimmattan A tipi uçak 5 adet, B tipi ise 2 adet taşıyabiliyor ise, 12 adet Z tipi mühimmatı 3xA veya 6xB uçağı taşıyabilir. Dolayısıyla A tipi daha avantajlıdır. Eğer birden çok uçak tipi aynı mühimmatı aynı sayıda uçak ile taşıyabiliyor ise, bu durumda atıl kapasitenin ortaya çıkmaması için doluluk oranı en fazla olan uçak tipi seçilmelidir. Yukarıdaki örnekte, C tipi uçağın Z tipi mühimmat taşıma kapasitesi 4 ise, 3xC uçağına

ihtiyaç duyulmaktadır. A tipi ile karşılaştırıldığında, uçakların doluluk oranlarından ötürü C tipi uçak ile mühimmatın taşınması gerekmektedir. Çünkü A tipi 3 uçaktan sonuncusu sadece 2 adet mühimmat taşırken, C tipi uçaklar tam kapasite ile kullanılacaktır.

Mühimmatların hangi uçak tipi tarafından atılacağını tespit ederken, eğer planlama yapılan sorti içerisinde en uygun uçak tipinden kalmadıysa, ondan sonra gelen uygun uçak tipi seçilir. Yukarıdaki örnekte, ilgili sorti içinde C tipi uçak kalmadığı takdirde, sırası ile önce A tipi ve ardından B tipi uçağın seçilmesi gerekir. Mühimmatın hangi uçak tarafından taşınacağını tespitini bahsedilen prensipleri modelleyerek gerçekleştiren algoritma Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Mühimmatlar İçin Uygun Uçak Tespit Algoritması.

Şekil 6'da  $MT$ , mühimmat tipleri kümesini;  $UT$ , uçak tipleri kümesini;  $UMM$ , uçak mühimmat matrisini;  $GUMM$ , geçici uçak mühimmat matrisini;  $GUMM_{um}$ ,  $u$  tipi uçağın  $m$  mühimmatı taşıma kapasitesini (diğer bir ifade ile  $GUMM$  matrisinin  $(u \times m)$  elemanı);  $DO_{umw}$ ,  $u$  uçağının  $w$  adet  $m$  tipi mühimmat ile doluluk oranını;  $İUS$ , ihtiyaç duyulan uçak sayısını ve  $İUT$ , ihtiyaç duyulan uçak tipini ifade eder.

Uçakların farklı tip mühimmatlar için taşıma kapasitelerini gösteren  $(UT \times MT)$  boyutunda uçak mühimmat matrisi  $(UMM)$  mevcuttur. Algoritmada öncelikle geçici  $UMM$  ( $GUMM$ ) oluşturulur. Bu noktada,  $w$  adet  $m$  tipi mühimmatı taşımak için  $u$  tipi uçağa ait doluluk oranı tarif edilebilir:

$$DO_{umw} = \frac{w}{GUMM_{um}} \quad (5)$$

Söz konusu  $w$  adet  $m$  tipi mühimmatı taşıyacak uçak sayısı, ondalıklı uçak olamayacağından dolayı minimum doluluk oranına sahip uçağın doluluk oranı değerinin üst tamsayısına yuvarlanmış halidir:

$$İUS = \left\lceil \min_{u \in UT} (DO_{umw}) \right\rceil \quad (6)$$

Bu noktada  $İUS$  sayıda uçağın  $w$  adet  $m$  tipi mühimmatı taşıyacağı tespit edilmiştir. Hangi tip uçağın ilgili mühimmatı taşıyacağı sorusunu cevaplarken ise doluluk oranının en iyi olduğunun garanti edilmesi gerekmektedir. Aynı mühimmatı taşıyacak farklı uçak tiplerinden aynı uçak sayısına ihtiyaç duyan alternatifler arasından doluluk oranı en **yüksek** olan seçenek uçak tipi olarak tespit edilmelidir. Dolayısıyla  $w$  adet  $m$  tipi mühimmatı taşımak için uçak tipi olarak,  $İUS$  değerinden daha küçük ancak bu değere en yakın doluluk oranına sahip olan uçak tipi seçilmelidir:

$$İUT = u \left| \left( (İUS \geq DO_{umw}) \wedge \min_{u \in UT} (İUS - DO_{umw}) \right) \right. \quad (7)$$

Bir hedefe taarruz edilirken, emniyet gerekçelerinden ötürü tek uçak ile görev icra edilmez ve her hedefe en az iki adet uçağın görevlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla hedef için gerekli uçak sayısı 2'den az ise, 2 yapılır.

$$US = 1 \Rightarrow US = 2 \quad (8)$$

Ardından, tespit edilen uçak tipinden sorti içerisinde yeterli sayıda mevcut olup olmadığı sorgulanır. Eğer bu uçaktan yeterli sayıda varsa, bu uçak seçilir ve algoritma sonlandırılır. Eğer yeterli sayıda yoksa, ilgili



uçağın bir daha seçilmemesi gerekmektedir. Bu maksatla  $GUMM$  matrisinde  $u$ 'uncu satırın tamamına sıfır değeri atamak suretiyle ilgili uçağın taşıma kapasitesi tüm mühimmatlar için sıfırlanır. Diğer bir ifade ile  $u$  tipi uçak tespit edilmiş olan sortide artık herhangi bir mühimmatı taşıyamaz ve dolayısıyla algoritma, tekrar  $u$  tipi uçağı bir daha seçmeyecektir.

Eğer  $GUMM$  matrisinde tüm uçakların taşıma kapasiteleri sıfırlandıysa, ilgili sortide mühimmatı taşıyacak uçak kalmamış manasına gelir ve bir sonraki sortie bakılması gerekir. Yeni sortide, aynı uçakların takip eden sortide mevcut olmaları halinde,  $GUMM$  tekrar başlangıç değeri olan  $UMM$ 'ye eşitlenir. İlgili hedefe taarruz edebilmek için sortilerin tamamında yeterli uçağın mevcut olmaması durumunda fonksiyona *yanlış* değeri atanır.

#### 4.5. Filoların Hedeflere Tahsisi Modeli ve Algoritması

Uçakların her sorti için mevcut olduğu kaynak yeterlilik algoritmasında toplam uçak sayıları kontrol edilerek teyit edilmiştir. Ancak yukarıda sunulan modellerde, uçakların üs, filo ve konuş bilgisi sunulmamıştır. Kaynak yeterlilik testi yapılırken, her sorti için toplam uçak sayısına ihtiyaç duyulmuş ve uçaklar hedeflere tip ve sayı bazında tahsis edilmiştir. Tahsis edilen uçakların konuşlarının tespiti, mesafe ile ilgilidir. Herhangi bir üste konuşlu uçakların hareket esnasında herhangi bir hedefe tahsis edilmesini mühimmatları taşıyabildiği sürece engelleyecek tek parametre hareket yarıçapıdır. Ancak günümüzde modern hava kuvvetlerinin sahip olduğu havadan yakıt ikmali (HAYİK) kabiliyeti ile hareket yarıçapı artık bir problem olmaktan çıkmaktadır. Problem dolayısıyla yeniden tarif edilmekte ve HAYİK uçaklarına asgari seviyede ihtiyaç duyacak şekilde planlama yapılması amaç haline gelmektedir.

Çalışma kapsamında, hedeflere uçakların planlanması, ağ problemlerinde kullanılan P-medyan modellemesi ile gerçekleştirilmektedir. P-medyan modeli, ağda tüm uçaklar tarafından kat edilen toplam mesafeyi ve dolayısıyla HAYİK ihtiyacını minimize eder.

Mevcut problemde hedefler talep noktası, üsler ise arz noktaları olarak kabul edilmektedir. Arz noktalarında bulunan uçaklardan talep noktalarında bulunan hedeflere toplam mesafe minimizasyonu ile tahsisi gerçekleştirilmektedir. Aşağıda sunulan model, tek bir uçak tipi ve sorti için çözüm üretmektedir.

Aşağıda  $BH$ , bütün hedefler kümesini;  $F$ , filolar kümesini;  $e_f$ ,  $f$  filusunda mevcut uçak sayısını;  $i_h$ ,  $h$  hedefinin uçak ihtiyacını;  $u_{fh}$ ,  $f$  filosundan  $h$  hedefine

tahsis edilen uçak sayısını;  $x_{fh}$ ,  $f$  filosundan  $h$  hedefine uçak tahsis edildiğini gösteren 0-1 değişkenini;  $d_{fh}$ ,  $f$  filosunun konuşlu olduğu meydan ile  $h$  hedefi arasındaki mesafeyi ifade eder.

Amaç Fonksiyonu:

$$\min \sum_{f,h} d_{fh} x_{fh} \quad (9)$$

Kısıtlar:

$$\sum_f u_{fh} \geq i_h \quad \forall h \quad h \in BH \quad (10)$$

$$\sum_h u_{fh} \leq e_f \quad \forall f \quad f \in F \quad (11)$$

$$u_{fh} \geq 2x_{fh} \quad \forall h, \forall f \quad f \in F, h \in BH \quad (12)$$

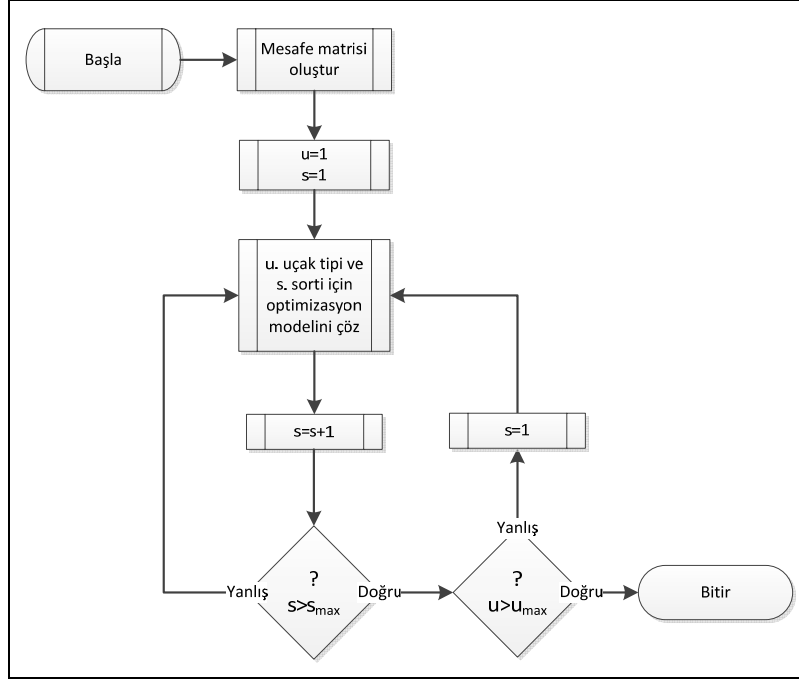
$$M \cdot x_{fh} \geq u_{fh} \quad \forall h, \forall f \quad f \in F, h \in BH \quad (13)$$

$$x_{fh} \in \{0,1\} \quad \forall h, \forall f \quad f \in F, h \in BH \quad (14)$$

$$u_{fh} \text{ Tamsayı} \quad \forall h, \forall f \quad f \in F, h \in BH \quad (15)$$

Amaç fonksiyonu, toplam katedilen mesafeyi minimize etmekte, (10) numaralı kısıt her hedef için ihtiyaç duyulan asgari seviyedeki uçağı tahsis etmekte ve (11) numaralı kısıt her filodan mevcut uçaktan fazla uçak tahsis edilmemesini garanti etmektedir. Kaynak yeterlilik testi algoritmasında da açıklandığı üzere, bir filodan herhangi bir hedefe tek uçak ile görev yapılamamaktadır. (12) numaralı kısıt, 2 uçak sınırlamasını gerçekleştirmektedir. (13) numaralı kısıt mantık operatörleridir ve  $M$  değeri  $u_{fh}$  değerine göre çok büyük pozitif bir sayıdır.  $u_{fh}$  değeri sıfırdan farklı bir değer aldığı zaman  $x_{fh}$ 'nin 1 olmasını sağlar.  $u_{fh}$  0 iken  $x_{fh}$ 'nin 0 olmasını gerektirmez ancak amaç fonksiyonu minimizasyon olduğundan ötürü, model 1 değeri almayan her  $x_{fh}$  değerine 0 atayacaktır. (14) numaralı kısıt  $x_{fh}$ 'nin 0-1 değişken olduğunu ifade etmektedir. (15) numaralı kısıt ise, uçak sayısının tamsayı olması gerektiğini belirtmektedir.

Yukarıda açıklanan model sadece bir sorti içinde mevcut tek bir uçak tipi içindir. Dolayısıyla aynı problemin farklı uçak tipleri ve sortiler için çözülmesi ve sonuçların birleştirilerek kullanıcıya sunulması gerekmektedir. Bu maksatla geliştirilen algoritma Şekil 7'de gösterilmiştir. Algoritmada öncelikle, hedefler ile filoların konuşlu olduğu üsler arasındaki mesafe matrisi çıkarılmakta, ardından ilk sorti ve ilk uçak tipi için optimizasyon problemi çözülmektedir. Sonrasında sırası ile ilgili uçak tipine  $s_{max}$  sorti içinde ihtiyaç duyulan hedefler tahsis edilir ve ardından diğer tip uçağın tahsis işlemi başlar. Tüm uçaklar için tahsis gerçekleştirildiğinde sonuçlar birleştirilerek kullanıcıya sunulur.



Şekil 7. Filo Tahsis Algoritması.

## 5. YAZILIM VE ÖRNEK UYGULAMA

### 5.1. PlanKARDES Yazılımı

Modelin gerçek hayatta kullanılabilirliğini sağlamak üzere Visual Basic for Applications® (VBA) programlama dili kullanılarak Planlama Karar Destek Modeli (PlanKARDES) isimli yazılım geliştirilmiştir. Algoritmaların geliştirilmesi amacıyla VBA®, verinin depolanması amacıyla Excel® ve doğrusal programlama modellerinin çözümü için ise ticari bir optimizasyon yazılımı olan LINGO® programı kullanılmaktadır. VBA®, Microsoft® uygulamaları ile optimizasyon programlarını bir arada kullanım imkanı verdiği için ötürü tümleşik bir çözüm sunmaktadır. Excel® hücrelerinde oluşturulan modeller LINGO® programına gönderilebilmekte ve çözümler geri alınarak işlenebilmektedir.

Yazılım esnek bir yapının sağlanması amacıyla veri üretimi ve problem çözümü olmak üzere iki ayrı modül olarak tasarlanmıştır. Kullanıcı tarafından sırası ile girilen sorti, uçak, üs, filo, mühimmat ve hedef bilgileri, PlanKARDES VÜM (Veri Üretim Merkezi) tarafından bir Excel® dosyası olarak kaydedilmekte, üretilen bu dosya PlanKARDES ÇÖM (Çözüm Merkezi) tarafından okunarak geliştirilen modeller vasıtasıyla çözüm yapılmaktadır. Bu esnek yapı, gelecekte ihtiyaç duyulduğunda verinin farklı veritabanlarından aynı formatta otomatik olarak üretilebilmesine de olanak tanımaktadır.

PlanKARDES yazılımı ile harita üzerinde sorti ve hedef bazında tahsis edilen uçaklar incelenebilmekte

olup durumsal farkındalığa katkıda bulunmak amacıyla HGE ve yöneticilere yönelik özet tablolar Excel® dosyası olarak sunulmaktadır. Kullanıcı tarafından programın kullanımı esnasında Excel® ve LINGO® platformları görülmemektedir. Kullanıcının sadece PlanKARDES ekranı ile ilişkide olması, programın kullanılabilirliğini arttıran hususlardan biridir.

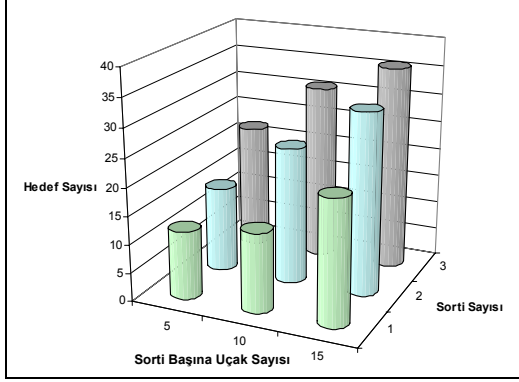
### 5.2. Örnekleyici Uygulama

Modellerin uygulanabilirliğinin gözlemlenmesi amacıyla jenerik bir senaryo için veri üretilmiş ve sanal bir harita üzerinde çözümleme yapılmıştır. Senaryo kapsamında toplam 36 adet hedef, 8 adet üs, 8 adet bombardıman filosu, 6 tip uçak ve 9 tip mühimmat mevcuttur. Mühimmat sayılarında sınırlama yapılmamıştır. Senaryo kapsamında filolar için her sorti sonunda %10 uçak kaybı öngörülmüştür. Modeller, Intel® Pentium® 4, 3.00 Ghz CPU, 1.00 GB RAM, Microsoft® Windows XP Professional® SP3 işletim sistemine sahip bilgisayarda çözülmüştür ve elde edilen sonuçlar ve çözüm süreleri toplu olarak Tablo 1’de gösterilmiştir.

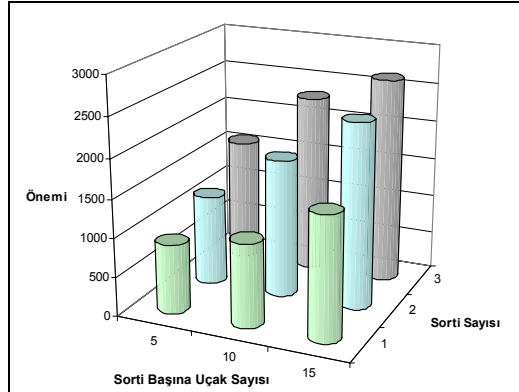
Sonuçlara göre 36 hedef için, hedeflerin zincir önem değerlerinin elde edilmesi ve hedef seçimi ortalama 22 saniye, filoların seçilen hedeflere tahsis edilmesi için gerekli modellerin üretilip çözümlenerek sonuçların geri alınması ortalama 8 saniye süre gerektirmiştir. Seçilen toplam hedef sayıları Şekil 8’de ve seçilen hedeflere ait toplam önem değerleri Şekil 9’da gösterilmiştir.

**Tablo 1.** PlanKARDES Jenerik Senaryo Çözümleri.

Senaryo Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Planlama Yapılan Sorti Sayısı	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Uçak Sayısı	5	5	5	10	10	10	15	15	15
Hedef Seçim Süresi (sn)	18	22	34	19	25	26	20	18	14
Filo Tahsis Süresi (sn)	6	7	7	6	7	9	7	9	9
Seçilen Hedef Sayısı	12	15	22	14	24	31	22	32	36
Toplam Önem	891	1160	1592	1075	1779	2308	1592	2384	2651
Toplam Zincir Önem	2598	3519	5080	3282	5634	7474	5080	7654	8555



**Şekil 8.** Senaryolar Kapsamında Seçilen Toplam Hedef Sayıları.



**Şekil 9.** Senaryolar Kapsamında Seçilen Hedeflerin Toplam Önem Değerleri.

**Tablo 2.** PlanKARDES Jenerik Senaryo Çözümleri.

Senaryo Numarası	10	11	12	13	14	15	16	17
Planlama Yapılan Sorti Sayısı	1	1	1	1	1	1	1	1
Uçak Sayısı	6	8	10	12	14	16	18	20
Hedef Seçim Süresi (sn)	23	22	21	20	20	20	18	18
Filo Tahsis Süresi (sn)	7	7	7	7	7	6	7	6
Seçilen Hedef Sayısı	11	13	16	16	16	16	16	16
Toplam Önem	762	947	1183	1183	1183	1183	1183	1183
Toplam Zincir Önem	2211	3129	3852	3852	3852	3852	3852	3852

Üretilen çeşitli senaryolar ile elde edilen sonuçların gerçek hayata uygun olduğu hareket ve istihbarat uzmanlarının değerlendirmeleri ile doğrulanmış olup

PlanKARDES'in planlama sürecinin başlamasından önce çok kısa süre içerisinde taslak bir HGE sunabilme kabiliyetine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışma neticesinde, karar üstünlüğünü sağlamak maksadıyla, hareket planlama çevriminde karar vericilerin seçim önceliklerini modelleyerek çok kısa süre içerisinde hedef seçebilen ve kaynakları hedeflere tahsis edebilen algoritmalar ve modeller geliştirilmiştir. Bu sayede,

- BHHM’de 72 saat süren hareket planlama çevrimi sürecinin başında, taslak bir HGE üretilebilir ve durumsal farkındalık geliştirilebilir,
- Planlama esnasında durumsal farkındalığın kaybolduğu, deneyimli personelin mevcut olmadığı durumlarda HGE üretimi için kullanılabilir,
- Dost kuvvetlerin hareket esnasında durumlarını gözlemek maksadıyla barış döneminde icra edilen simülasyonlarda düşman kuvvetler için HGE üretilebilir,
- Çeşitli farklı hedefler manuel olarak seçilerek kaynakların yeterliliğinin analizi yapılabilir ve yeni konseptler denenebilir.

Geliştirilen modellere gelecek çalışmalar ile çeşitli ilaveler yapılabilir. Bu kapsamda, açgözlü algoritma ile seçilen hedef kümesi başlangıç çözümü olarak kabul edilerek meta sezgisel algoritmalar ile hedef listesinin geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Hedef seçimi ve elde mevcut unsurların seçilen hedeflere planlanması problemi harp sanatının temelidir ve aslında bir muhakeme problemidir. Bu çalışma kapsamında planlama süreci topyekün olarak incelenerek analitik bir model geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen modellerin karar vericilere yalnızca bir yardımcı olabileceği unutulmamalıdır.

## 7. TEŞEKKÜR

Yücel Alver, Ahmet Kandakoğlu, Özgür Aksoy ve Mustafa Yüksel makalenin gözden geçirilmesinde değerli katkılarda bulunmuşlardır.

## 8. KAYNAKLAR

- [1] Tikveş, Ş., Hava Harekât Görevlerinde Filoların Hedeflere Atanmasının Modellenmesi Ve Gerçekleştirimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2007.
- [2] Dolan, M.H., Air Tasking Order (ATO) Optimization Model, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, 1993.
- [3] Crawford, K.R., Enhanced ATO Optimization Model, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, 1994.
- [4] Griggs, B.J., An Air Mission Planning Algorithm For a Theater Level Combat Model, Yüksek Lisans Tezi, Air Force Institute of Technology, 1994.

- [5] Hinton, D.W., A Decision Support System For Joint Force Air Component Commander JFACC Combat Planning, Yüksek Lisans Tezi, Air Force Institute of Technology, 1994.
- [6] Griggs, B.J., Parnell, G.S. ve Lehmkuhl, L.J., “An Air Mission Planning Algorithm Using Decision Analysis and Mixed Integer Programming”, Operations Research, Vol. 45, No.5, 662-676, 1997.
- [7] Van H., John C., An Integer Programming Decomposition Approach To Combat Planning, Doktora Tezi, Naval Postgraduate School, 1998.
- [8] Abrahams, P., Balart, R., Byrnes, J.S., Cochran, D., Larkin, M.J., Moran, W., Ostheimer, G. ve Pollington, A., “MAAP: The Military Aircraft Allocation Planner”, Evolutionary Computation Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence, 336-341, 1998.
- [9] Koewler, D.A., An Approach For Tasking Allocated Combat Resources To Targets, Yüksek Lisans Tezi, Air Force Institute of Technology, 1999.
- [10] Gürdal, T. ve Leblebicioğlu, K., “Harekât alanında muharip jet uçaklarının hava görev emrinin modellenmesi”, Birinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı (USMOS) Bildiri Kitabı, sf 61-75, 2005.
- [11] Saling, J.M., Dynamic Retasking the JFACC and the Airborne Strike Package, ABD Hava Harp Akademisi Tezi, Air Command and Staff College, 1999.
- [12] Çanlı, H., “Operatif Hava Harekatının Planlamasında Görsel Modelleme Dili Altyapısı”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 2, Sayı 4, 29-41, 2006.
- [13] Calhoun, K.M., A Tabu Search for Scheduling and Rescheduling Combat Aircraft, Yüksek Lisans Tezi, Air Force Institute of Technology, 2000.
- [14] Calhoun, K.M., Deckro, R.F., Moore, J.T., Chrisis J.W., Van Hove J.C., “Planning and Re-planning in Project and Production Scheduling”, Omega the International Journal of Management Science, Cilt 20, 155-170, 2002.
- [15] Barth, C.D., Composite Mission Variable Formulation For Real-Time Mission Planning, Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, 2001.
- [16] Rogerio, D. ve Castro, S., Optimization Models For Allocation of Air Strike Assets With Persistence, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, 1993.
- [17] Bardak, S.F., Automated Sead Planning for a Feasible Air Tasking Order, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2004.
- [18] Arslan, O., Developing a Tool for the Location Optimization of the Alert Aircraft With Changing

Threat Anticipation, Yüksek Lisans Tezi, Air Force Institute of Technology, 2009.

[19] Weaver, P.R., Development and Evaluation of an Automated Decision aid For Rapid Retasking of air Strike Assets in Response to Time-Sensitive Targets, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, 2001.

[20] Zacherl, B., Weapon-Target Pairing; Revising an Air Tasking Order In Real-Time, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, 2006.

[21] Li, V.C., Curry G.L., Boyd, E.A., "Towards the Real Time Solution of Strike Force Asset Allocation Problems", Computers & OR, Cilt 31, No 2, 273-291, 2004.

[22] Barbehenn, M., "A Note on the Complexity of Dijkstra's Algorithm for Graphs with Weighted Vertices", IEEE Transactions on Computers, Cilt 47, No 2, 263, 1998.

[23] Ausiello G., Crescenzi P., Kann V., Marchetti-Spaccamela A., Protasi M., Complexity and approximation: combinatorial optimization problems and their approximability properties, Springer, Berlin, 1999.

## ÖZGEÇMİŞLER

### **Hv.İsth.Ütğm. Okan ARSLAN**

1981 yılında Kırşehir’de doğmuştur. 1999 yılı Maltepe Askeri Lisesi, 2003 yılı Hava Harp Okulu Uçak Mühendisliği, 2009 yılı Air Force Institute of Technology Yöneylem Araştırması bölümü mezunudur. Halihazırda Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine devam etmektedir. Matematiksel modelleme, konumlandırma problemleri ve meta-sezgisel yaklaşımlar ile ilgilenmektedir. 2009 yılından bu yana Hv.K.K.lığı Bilimsel Karar Destek (BİLKARDES) Ş.Md.lüğü’nde analiz subayı olarak görev yapmaktadır.

### **Hv.İkm.Kur.Alb. Erol YÜCEL**

1965 yılında Kütahya’da doğmuştur. 1983 yılı Işıklar Askeri Lisesi, 1987 yılı Hava Harp Okulu İşletme bölümü, 1993 yılı Air Force Institute of Technology Yöneylem Araştırması bölümü, 1999 Hava Harp Akademisi, 2003 yılı ABD Hava Kuvvetleri Kurmay Koleji, 2004 yılında ABD Hava Kuvvetleri Harp Koleji, 2006 yılı Silahlı Kuvvetler Akademisi ve 2007 yılı Milli Güvenlik Akademisi mezunudur. 1993-2007 yılları arasında aralıklarla Hava Kuvvetleri Komutanlığı Karargahında çeşitli makamlarda stratejik planlama/analiz subayı olarak görev yapmıştır. İngilizce, Fransızca, İtalyanca ve İspanyolca bilmektedir. Dil öğrenim süreci optimizasyonu alanında çalışmalar yapmaktadır. 2007 yılından bu yana Hv.K.K.lığı Bilimsel Karar Destek (BİLKARDES) Şube Müdürü olarak görev yapmaktadır.