

# İlk İdame İşletme Hesaplamasındaki Tamirlik Malzemelere Yönelik Talep Miktarının Belirlenmesine İlişkin Model Önerisi: F-16 Veri Seti ile Uygulama

The Proposal of Demand Estimation of Repairable Items for the Weapon Systems During the Initial Support Period: F-16 Case Study

Bahtiyar EREN<sup>a\*</sup>, Serpil EROL<sup>b</sup>

<sup>a</sup>K.H.O. Savunma Bilimleri Enstitüsü Yöneylem A.B.D. Dikmen Caddesi, 06654, Ankara

<sup>b</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Maltepe, 06570, Ankara

Geliş Tarihi/Received : 27.03.2012, Kabul Tarihi/Accepted : 26.04.2012

## ÖZET

Bünyesinde uçak, radar, gemi, tank v.b silah sistemlerini bulunduran her ülke, silah sistemlerini faal halde tutmak amacıyla harekât ihtiyaçlarını karşılamak zorundadır. Harekât ihtiyaçları silah sistemleri envantere girmeden önce ya da envantere girdikten sonra belirlenir. Girmeden önce belirlendiğinde ilk idame ihtiyaçları, girdikten sonra ise idame işletme ihtiyaçları olarak adlandırılır. Bu çalışmada, yakın gelecekte Türkiye'nin envanterine yeni uçak gireceğinden dolayı ilk idame işletme safhasına ve ilk idame için ayrılan malzeme bütçesinin büyük çoğunluğunu tamirlik malzemeler oluşturduğu için de tamirlik malzemelere yoğunlaşmıştır. İlk idame ihtiyaçlarının belirlenmesi kapsamında, Türkiye ve ABD'de uygulanan algoritmalara göre daha iyi sonuç veren bir algoritma geliştirilmiş ve geliştirilen bu algoritmanın etkinliği miktar ve maliyet bazında F-16 uçağına ait gerçek bir veri setinde uygulanarak gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İlk idame işletme, Tamirlik malzeme, Envaner, İhtiyaç hesaplama.

## ABSTRACT

Every country that has military systems such as aircraft, radar, warship or tank has to meet the operational needs of those military systems in order to keep them ready for military operations. Logistics support needs are defined basically either before or after procurement. If they are defined before procurement, they are called "initial support requirement", otherwise called "sustainment support requirement". Due to the fact that new system will be added into the Turkish military inventory, it is focused on the initial support requirement phase. In addition to that, it is focused on repairable items since most of the material acquisition cost within the initial support budget is allocated to repairable items. In this study, within the scope of initial support requirements, the method that produces much better results in terms of quantity and cost perspective than the ones used in Turkey and USA is established and demonstrated by using real data set of F-16.

**Keywords:** Initial support requirement, Repairable item, Inventory, Logistics, Requirement computation.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde güvenlik ortamındaki belirsizlikler ve bu belirsizliklere bağlı değişimler, ülke silahlı kuvvetlerinin sürekli olarak her türlü tehdide karşı koyacak şekilde barış zamanından itibaren "harekâta hazır" olmasını zorunlu kılmaktadır. "Harekâta hazır" olunması kapsamında birçok faaliyet eş zamanlı ve sistematik olarak icra

edilmekte olup, eldeki silah sistemlerinin (savaş gemisi, savaş/ulaştırma uçağı, radar, tank, top gibi) faal halde tutulması, personelin eğitimi, tatbikat yapılması, denetleme ve değerlendirme yapılması örnek olarak verilebilir. "Harekâta hazır" olma amacıyla yürütülen faaliyetlerin sonucunda ise malzeme ihtiyacı, eğitim ve kurs ihtiyacı, teşkilat değişikliği, süreç değişikliği gibi çeşitli alanlara ilişkin ihtiyaçlar ortaya

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : erenbahtiyar@yahoo.com (B. Eren Yüksek)

çıkılmaktadır. Bu çalışmada, sadece malzeme ihtiyacı yönü ele alınmış olup, diğer ihtiyaçların giderilmesi kapsam dışında tutulmuştur. “Harekât ihtiyacı” temelde üç şekilde karşılanmaktadır (MIL-HDBK-502, 1997).

- Harekât ihtiyacının silah sistem tedariki yapılmadan mevcut harekât usulü, eğitim, teşkilat (v.b) hususlarının yeniden yapılandırılmasıyla karşılanması,
- Harekât ihtiyacının karşılanmasında yetersiz kalan mevcut silah sisteminin değişik taktik ile olduğu gibi kullanılması veya silah sisteminin modernize edilerek kullanılması,
- Yeni silah sistem tedariki yapılması.

Harekât ihtiyacının karşılanmasında kullanılacak silah sistemi, yukarıda belirtilen izlenecek üç yolun ilk ikisinde envantere iken, üçüncüsünde envantere bulunmamaktadır. Uygulanacak lojistik yaklaşım, silah sisteminin envantere bulunup bulunmamasına göre değişmektedir. Envanterde bulunmayan silah sistemi için tedarik lojistiği (acquisition logistics), envanterde bulunan sistemler için ise tüketim lojistiği (consumer logistics) söz konusudur (NATO, 2007). Tedarik lojistiği kapsamında silah sistemi için “ilk idame işletme ihtiyaçları” söz konusu iken, tüketim lojistiği kapsamında sadece “idame işletme ihtiyaçları” gündeme gelmektedir. “İlk idame işletme ihtiyaçları” hesaplaması ile yeni tedarik edilecek silah sisteminin ilk birkaç yıllık (genellikle en çok üç yıl) kullanımı için gerekli sarf ve tamirlik malzemelerin belirlenmesi ve belirlenen bu miktarların sadece ana üretici firma ile yapılan “ilk tedarik sözleşmesi” ile temin edilmesi anlaşılmaktadır. “İdame işletme ihtiyaçları” hesaplaması ile de tedarik edilen ve ilk birkaç yıl kullanılan silah sisteminin envanterden çıkarılınca kadar (genellikle 20-30 yıl) kullanımı için gerekli sarf ve tamirlik malzemelerin periyodik olarak belirlenmesi ve söz konusu malzemeleri üreten ana yüklenici firma dahil diğer firmalar ile yapılan sözleşmeler vasıtasıyla malzemelerin temin edilmesi anlaşılmaktadır. Bir silah sisteminin envanterde 20-30 yıl kaldığı dikkate alındığında, ilk birkaç yıl için ilk idame yedekleri hesaplaması söz konusu iken geri kalan uzun yıllar için idame işletme hesaplamaları söz konusudur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Malzeme yönetimi kavramına yönelik sivil veya askeri havacılık sektöründe uluslararası düzeyde iki standart mevcut olup, bunlar sivil havayolları tarafından kullanılan (ATA SPEC2000, 2002) standardı ile anılan bu standardın askeri teçhizatlara özgü hale getirildiği (AECMA SPEC2000M, 2000) standardıdır. Ayrıca, ABD Savunma Bakanlığı envantere yeni girecek silah sistemlerinin ömür devri boyunca her türlü lojistik destek bilgilerini belirli bir disiplin altında tutulmasını sağlamak amacıyla standartlar (MIL-STD-1388-1A, 1983; MIL-STD-1388-2B, 1991) kullanılmaktadır. Söz konusu standartlar, ilk idame işletme ihtiyaçlarının hesaplanması için gerekli olan verileri detaylı olarak anlatmakta, ancak, ilk idame hesaplamalarının nasıl yapılacağına ilişkin bir algoritmayı içermemektedir. 1996-2005 yılları arasında tedarik zinciri kapsamında çok kademeli (multi-echelon) stok problemlerine ilişkin 62 makale (Gümüş ve Güneri, 2007), 1963-2005 yılları arasında birimler arası malzeme aktarımı (lateral transshipment) ve bekleme zamanları kapsamındaki stok problemlerine ilişkin 26 makale (Wong v.d., 2006) ve 1958-2010 yılları arasında malzeme aktarımına olanak veren envanter modelleri kapsamındaki stok problemlerine ilişkin 118 makale (Paterson v.d., 2011) incelenmiştir. Gümüş, Wong ve Paterson tarafından hazırlanan 206 literatür araştırması çalışması içinden, envanter problemlerinin idame işletme yönünü ele almış olup, bu çalışmalarda ilk idame işletme yönünün kapsamı kapsamadığı hususunda herhangi bir yoruma rastlanmamıştır. Yapılan literatür araştırmasına göre başlığında “tamirlik malzeme” ve “ilk idame seviyesi” geçen sadece bir çalışma bulunmuştur (Fortuin, 1984). Fortuin, kendi çalışmasında bu konuda çok çalışma yapılmadığını belirterek sadece beş çalışmayı referans olarak göstermiştir. Fortuin çalışmasında, televizyon, çamaşır makinesi, buzdolabı gibi ev elektronik cihazlarının tamirlik malzemelerinin gelecekte ortaya çıkacak arıza oranlarını tahmin etmiş ve ardından yeniden istek miktarlarını belirlemiştir. Sadece tamirlik malzemeyi konu alan envanter problemlerinin teori ve uygulamalarını içeren yaklaşık 70 çalışma, çözüm tekniği (tam, yaklaşık ve benzetim), kademe sayısı (tek ve çok kademeli), envanter modeli belirli

(deterministic) ve olasılıklı (stochastic) olarak gruplanmıştır (Daniel ve Srivastava, 1997). Daniel ve Srivastava çalışmasında METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control) modelinin (Sherbrooke, 1968) ve MOD-METRIC (Muckstadt, 1973) modelinin ABD Hava Kuvvetlerinde ilk idame ve idame-işletme hesaplamalarında kullanıldığını belirtmiştir. İdame işletme dönemine ilişkin olarak ABD’de kullanılan tamirlik malzeme stok modelleri talebin bağımlı veya bağımsız olması, sabit veya dinamik olması, tek veya çok kademeli stok sisteminin olması, tek veya çok malzemenin model içinde bulunması esas alınarak gruplanmıştır (Anderson, 2009). Daniel ve Srivastava ile Anderson’un çalışmalarından hareketle, ABD Hava Kuvvetlerinde tamirlik malzemelerin idame işletmesi kapsamında hali hazırda “sistem esaslı” (METRIC) (Sherbrooke, 1968) modeli, METRIC modelinin gelişmiş hali olan Vari-METRIC Modeli (Sherbrooke, 1986), Dynamic-METRIC (Hillstad, 1982), ASM (Aircraft Sustainability Model) (Slay v.d., 1996) gibi modellerin kullanıldığı değerlendirilmektedir. Dünyanın en büyük hava gücü olan ABD, kendi uçaklarının ilk idame işletmesine ilişkin ihtiyaçların belirlenmesinde “malzeme esaslı” TOIMDR (Total Organizational or Intermediate Maintenance Demand Rate) algoritmasını kullanmaktadır (AFMCI, 2007). Bu durumda, Daniel ve Srivastava ve Anderson ile AFMCI 23-106 birlikte değerlendirildiğinde, ABD Hava Kuvvetlerinde, “malzeme esaslı” yaklaşım ile “sistem esaslı” yaklaşımın paralel bir şekilde kullanıldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Türkiye’de ilk idame işletme hesaplamaları için ayrı bir algoritma bulunmamakta olup, idame işletme ihtiyaçları için yaklaşık olarak 25 yıldır etkinlikle kullanılan “malzeme esaslı” algoritmadan faydalanılmaktadır (İDS, 1997). Türkiye’de kullanılan İDS’nin malzeme esaslı olmasından dolayı, ABD’nin malzeme esaslı AFMCI 23-106 algoritması esas alınmıştır.

### **3. ÇALIŞMANIN KAPSAMI**

Aynı uçak sistemi için bazı ülkelerin üretim lojistiği yaklaşımını uygularken diğer ülkelerin de tüketim lojistiği yaklaşımını uyguladığı Tablo 1’de görülmektedir. Türkiye’nin envanterinde bulunan bazı uçakların üretici firma ismi, üretim yılı, Türkiye’nin tedarik yılı, söz konusu uçağın kaç ülke tarafından kullanıldığı

ve anılan sistemin hangi ülke tarafından en son hangi yılda alındığı/alınacağı bilgisi Tablo 1’de yer almakta olup, anılan tablo açık kaynak verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

Açık kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında, Türkiye envanterinde de bulunan silah sistemlerini tedarik eden ülkelerin ilk tedarik maliyetleri Tablo 2’de sunulmuş olup, literatürde bu ilk tedarik maliyetlerinin yaklaşık % 5’lik kısmının yedek malzemeye ayrıldığı kabul edilmektedir (JSF COPT, 2000).

Türkiye’nin, yakın dönemde yeni silah sistemlerini envanterine katmayı planladığı dikkate alındığında, ilk tedarik maliyetleri içinde yer alan yedek malzeme ihtiyacının en doğru şekilde hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı, bu çalışmada ilk idame işletme aşaması incelenmiştir.

#### **3. 1. Tamirlik Malzemelerin Önemi**

Herhangi bir silah sistemi için yedek malzemeler genelde iki çeşit olup, bu malzemeler tamirlik ve sarf malzeme olarak gruplandırılmaktadır. Eğer malzeme arızalandıktan sonra tamir edilebiliyorsa tamirlik malzeme olarak, tamir edilemiyorsa sarf malzeme olarak adlandırılmaktadır (Muckstadt, 2005). Sarf ve tamirlik malzemelerin uçak üzerindeki kullanımlarını, talep miktarlarını ve maliyetlerini daha iyi anlayabilmek için hali hazırda F-16’da kullanılan yaklaşık 21.000 kalem malzeme örnek olarak incelenmiş ve aşağıdaki Tablo 3’te sunulmuştur.

**Tablo 1. Türkiye’de kullanılan uçaklara ilişkin bilgi.**

Uçak Adı	Üretici Firma/ Ülke	Üretim Yılı	Türkiye’nin Tedarik Yılı	Kullanıcı Ülke Sayısı	Ülke/ Tedarik Yılı
F-16	Lockheed Martin/ABD	1979	1987	25	Mısır, 2010.
KC-135R	Boeing / ABD	1957	1994	5	Şile, 2010.
COUGAR	Eurocopter/Fransa, TAI/Türkiye	1977	1997	39	Bulgaristan, 2010.
CN-235	EADS CASA/ İspanya, IPTN/Endenozya	1988	1991	30	Meksika, 2010.
SF-260D	Aermacchi/ İtalya	1964	1992	25	İtalya, 2007.

**Tablo 2. İlk tedarik maliyetindeki yedek malzeme maliyetinin önemi.**

Proje Adı	Ülke	Tedarik Maliyeti (Milyon ABD \$)	Yedek Malzeme Maliyeti (Milyon ABD \$)
24 Adet F-16	Mısır	3200	160
8 Adet CN-235	Fransa	305	15,25
27 Adet Cougar Helikopter	Fransa	314	15,7
18 Adet SF-260D	Filipinler	13.1	0,65
F-16 Modernizasyonu	Pakistan	226	11,3

Tablo 3 incelendiğinde, F-16’da bulunan malzemelerin % 73’nün sarf malzemeler olduğu, gerçekleşen taleplerin (ihtiyaç duyulan malzeme miktarının) yaklaşık % 96’sının sarf malzemelere ait olduğu görülmektedir. Ancak, ayrılan bütçenin sadece % 7’si sarf malzemeler için ayrılırken geri kalan % 93’lük kısmı tamirlik malzemelere ayrılmaktadır. Bu yüzden literatürde tamirlik malzemelere, “genellikle uçak üzerinde birinci seviyede, tedarik fiyatı pahalı ve talebi düşük” malzemeler denilmektedir (Sherbrooke, 1992). Bu çalışmada, tedarik maliyetinin % 93’ünü oluşturan tamirlik malzemeler incelenmiştir.

**Tablo 3. Yedek malzeme içerisinde tamirlik malzemelerin önemi.**

Malzeme Tipi	Miktar Yüzdesi	Talep Miktar Yüzdesi	Tedarik Yüzdesi
Sarf Malzeme	% 73	% 96	% 7
Tamirlik Malzeme	% 27	% 4	% 93

#### 4. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışma ile, envanere yeni katılacak silah sistemlerine ait yıllık tamirlik malzeme ihtiyacının belirlenmesi için hali hazırda Türkiye’de kullanılan İDS ve ABD’de

kullanılan 23-106 algoritmalarından daha gerçekçi hesaplanmasına imkân verecek yeni bir algoritma önerisinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

### 5. TÜRKİYE VE ABD’DE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR

#### 5. 1. Türkiye’de Kullanılan Algoritma (İDS)

Yıllara göre tamirlik malzeme talebinin belirlenmesine ilişkin olarak Türkiye’de İDS algoritması kullanılmaktadır. İDS’de yıllık talep miktarı günlük bazda hesaplanmakta olup, geçmiş en çok 1092 gün<sup>1</sup> esas alınmaktadır (İDS, 1997). İDS’de talep miktarı Günlük Sarf Oranı (Daily Demand Rate (DDR)) ile bulunmakta olup kullanılan DDR formülü aşağıda sunulmuştur.  $DDR = \frac{\text{Kullanılan Miktar}^2}{\text{RTS}^3 + \text{NRTS}^4} / \text{Kullanılan Gün Sayısı}^5 (1)$ .

<sup>1</sup> 1 dönem=3 ay=91 gün, 1 yıl=4 dönem, 12 dönem=1092 gün

<sup>2</sup> Kullanılan Miktar, toplam arıza sayısı anlamında kullanılmaktadır.

<sup>3</sup> RTS: İngilizce “Repairable At This Station” ifadesinin baş harflerinden oluşmakta olup, birlikte tamir edilebilen arıza sayısını göstermektedir.

<sup>4</sup> NRTS: İngilizce “Not Repairable At This Station” ifadesinin baş harflerinden oluşmakta olup, birlikte tamir edilemeyen arıza sayısını göstermektedir.

<sup>5</sup> Kullanılan gün sayısı: Tahmini yapılacak malzemenin kaç günlük geçmiş kullanımının esas alınacağı gün sayısını göstermektedir. İDS’de 1092 gün olarak kullanılmaktadır.

Talep miktarının belirlenmesi için kullanılan İDS algoritması iki adımdan oluşmakta olup, algoritma adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1. DDR değerini hesapla: Bir malzemeye ait son üç yılda meydana gelen arıza sayısını bul. Bulduğun arıza sayısını kullanılan gün sayısına bölerek DDR değerini hesapla (Formül 1).

Adım 2. Gelecek dönemde beklenen brüt arıza miktarını belirle: DDR değerini gelecek dönem gün sayısı<sup>6</sup> ile çarp. Elde edilen bu değer, gelecek dönemde meydana gelebilecek tahmini arıza sayısıdır.

### 5. 2. ABD’de Kullanılan Algoritma (23-106)

ABD tedarik edeceği silah sistemlerinin ilk idame yedeklerine ait yıllık talep miktarını hesaplamak için TOIMDR algoritmasını kullanmakta olup, hesaplamada kullanılan girdiler, formüller ve açıklamalar Tablo 4’te belirtilmiştir (AFMCI, 2007). TOIMDR değeri hesaplanırken mümkün olduğu kadar geçmişe gidilmektedir. Örneğin, sistem 10 yıldır kullanılıyor ise, 10 yıllık geçmiş dönemdeki arıza sayısı bilgisini kullanarak TOIMDR değeri hesaplanmaktadır. TOIMDR Algoritması dört adımdan oluşmakta olup, algoritma adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1. TOIMDR değerini hesapla: Malzemenin TOIMDR değeri, geçmişte yapılan her 100 saat uçuş başına düşen arıza miktarıdır.

Adım 2. PFP döneminin süresini belirle: Bu süre 3’er aylık artış gösterecek şekilde 3, 6, 9, 12, 15 (v.b) şekilde belirlenmektedir. Genelde PFP dönemi; bir, iki veya üç yıl olacak şekilde belirlenmektedir.

Adım 3. PFP döneminde yapılacak hedef uçuş saatini hesapla (OIM PROG at PFP): Malzemenin takılı olduğu her uçağın yapacağı ortalama aylık uçuş saati kabulünü/varsayımını yap. PFP döneminde yapılacak hedef uçuş saati; uçak sayısı ile aylık uçuş saati kabulü ve PFP döneminde belirlenen süre çarpılarak elde edilir.

Adım 4. PFP döneminde beklenen brüt arıza miktarını belirle (OIM ANN DEM): TOIMDR değeri, hedef uçuş saati, malzemenin kaç uçakta

<sup>6</sup> Dönem gün sayısı: Tahmini yapılacak dönem sayısına denk gelen gün sayısıdır.

takılı ve her bir uçakta kaç tane olduğu bilgisi birbirleriyle çarpılarak gelecek yıl meydana gelebilecek arıza sayısı tahmin edilir.

## 6. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMALAR

### 6. 1. Sorti<sup>7</sup> Algoritması

İDS algoritmasında geçmiş arıza miktarı gün bazında hesaplanırken, TOIMDR algoritmasında geçmiş arıza miktarını geçmiş 100 uçuş saati bazında hesaplanmaktadır. Bu iki algoritma dikkate alınarak ülkemizde kullanılabilirliği sortie algoritması adıyla yeni bir algoritma oluşturulmuştur. Bu yeni algoritma, arıza miktarının sorti bazında belirlenmesine ilişkin yeni bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Sortie algoritması dört adımdan oluşmakta olup, algoritma adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1. Sortie başına düşen arıza değerini hesapla: Uçağın uçmuş olduğu sortie sayısı ve bu sortie sayısı boyunca ortaya çıkan arıza sayısını tespit et. Arıza sayısını uçulan toplam sortie sayısına bölerek sortie başına düşen arıza miktarını hesapla.

Adım 2. Tahminde bulunulacak gelecek dönem sayısını belirle: Tahminde bulunulacak dönem sayısı ihtiyaca göre belirlenmekte olup, genelde 12, 24 veya 36 ay olacak şekilde belirlenir.

Adım 3. Gelecek dönemde yapılacak sortie sayısını belirle: Malzemenin takılı olduğu her uçağın yapacağı ortalama aylık sortie sayısı kabulünü/varsayımını yap. Örneğin, (her uçak ayda 8 sortie uçacaktır). Uçak sayısını, aylık sortie sayısı kabulünü ve tahminde bulunulacak gelecek dönem sayısını birbirleriyle çarp. Elde edilen bu değer gelecek dönemde yapılacak toplam sortie miktarıdır.

Adım 4: Gelecek dönemde beklenen brüt arıza miktarını belirle: Gelecek dönemde beklenen brüt arıza miktarı; sortie başına düşen arıza değerini gelecek dönemde yapılacak sortie sayısı ile çarp.

### 6. 2. Düzenlenmiş İDS Algoritması

İDS Algoritması sadece geçmiş üç yıllık veriyi

<sup>7</sup> Sortie, havacılıkta uçağın kalkış ve iniş sayısını göstermektedir. Bir sortie, 5 veya 10 dakika gibi kısa olabileceği gibi üç veya beş saatte olabilmektedir. Sortie süresi, uçağın icra edeceği göreve ve uçağın kapasitesine göre değişkenlik göstermektedir.

esas olarak DDR hesaplaması yapmaktadır. Algoritma adımları aynen korunarak sadece geçmiş bir yıllık veri alınarak İDS algoritması çalıştırılmıştır.

## 7. ÖRNEK VERİ SETİ

Bu çalışmada, F-16 sisteminde kullanılan 278 kalem tamirlik malzemeye ait veri seti incelenmiş ve bilgi edinilmesi amacıyla Tablo 5'te sunulmuştur. Bu veri seti, 1999-2010 yıllarına ait 11 yıllık (44 dönemlik) gerçek kullanım bilgileri, tedarik ve tamir fiyatlarını içermektedir.

## 8. UYGULAMA

Çalışmada eldeki 8 yıllık verinin (32 dönemlik veri) ilk 7 yılı (28 dönemlik veri) geçmiş kullanım verisi olarak, geri kalan son yıl verileri ise tahmin modellerinin doğruluğunu belirlemek için kullanılmıştır. İDS algoritması sadece geçmiş 3 yıllık arıza sayısını esas

olarak tahmin yaparken TOIMDR algoritması geçmiş 7 yıllık uçuş saatinde meydana gelen arıza sayısını esas olarak tahmin yapmaktadır. Yeni geliştirilen algoritma ile düzenlenmiş İDS algoritması ise sadece son 1 yılda oluşan arıza sayısını esas olarak tahmin yapmaktadır. Tahmin edilen değerler, gerçekleşen değer ile karşılaştırılarak dört algoritmanın ne kadar doğru tahmin ettiği bulunmuştur. Talep tahmin tekniklerinin değerlendirilmesinde üç ölçüm metriği kullanılmakta olup, bunlar, ortalama mutlak hata (average absolute error), ortalama kare hatası (mean-squared error) ve yüzde hatası (percentage error) (Sherbrooke, 1992). Bu çalışmada algoritmaların değerlendirilmesinde ortalama mutlak hata ölçüm metriği esas alınmıştır. Söz konusu dört algoritmanın ortalama mutlak hata ölçüm değerleri aşağıdaki Tablo 6'da sunulmuş olup, Geliştirilmiş İDS algoritması ile yeni geliştirilen sorti esaslı algoritmanın hali hazırda ABD ve Türkiye'de kullanılan algoritmalarından daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 4. TOIMDR algoritmasının girdi parametreleri.**

Kavram	Formül/Açıklama
OIM ANN DEM <sup>8</sup>	TOIMDR X APPL PCT X QPEI <sup>9</sup> X (OIM PROG at PFP)
TOIMDR <sup>10</sup>	Malzemenin 100 uçuş saatinde veya kullanıldığı tüm silah sistemlerinde (end-item) yapmış olduğu arıza sayısını göstermektedir.
APPL PCT <sup>11</sup>	İhtiyaç duyulan malzeme, envanterdeki 10 uçağın sadece beşinde takılı ise APP. PCT=%50'dir.
OIM PROG at PFP <sup>12</sup>	Örneğin, 1 yıllık ilk idame işletme antlaşması imzalanacak ise PFP bir yıldır ve o yıl uçulacak toplam uçuş saati de "OIM PROG"a denk gelir.

<sup>8</sup> OIM ANN DEM : İngilizce "Organizational or Intermediate Maintenance Annual Demand" ifadesinin kısaltması olup, Hat/Birlik Seviyesindeki Yıllık Bakım Talep Miktarını göstermektedir.

<sup>9</sup> QPEI : İngilizce "Quantity Per End Item" ifadesinin kısaltması olup, silah sisteminde, o malzemeden kaç tane olduğunu gösterir.

<sup>10</sup> TOIMDR: İngilizce "Total Organizational or Intermediate Maintenance Demand Rate" ifadesinin kısaltması olup, Toplam Hat/Birlik Seviyesindeki Bakım Talep Oranı göstermektedir.

<sup>11</sup> APPL PCT : İngilizce "Application Percent" ifadesinin kısaltması olup, söz konusu malzemenin ihtiyaç hesaplaması yapılan silah sistemlerinin kaçında kullanıldığını gösteren yüzdendir.

<sup>12</sup> OIM Prog at PFP : İngilizce "Organizational or Intermediate Maintenance Program at Program Forecast Period" ifadesinin kısaltması olup, tahmin dönemi içindeki planlanan toplam uçuş saatini göstermektedir.

**Tablo 5. Çalışmada kullanılan veri seti.**

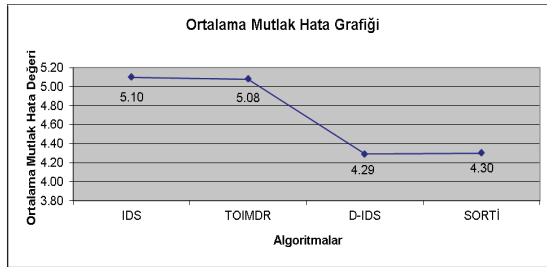
Dönem	Kullanım Verisi								
	1	2	3	4	5	....	44		
MLz.Nu.	Tedarik Fiyatı (TL)	Tamir Fiyatı (TL)	1999/4 <sup>13</sup>	2000/1 <sup>14</sup>	2000/2 <sup>15</sup>	2000/3 <sup>16</sup>	2000/4	....	2009/3
MLz-1	253,624	80,000	0	4	1	1	2	...	0
MLz-2	118,549	58,814	0	0	0	0	0	...	1
.....	...	...	...	...	...	...	...	...	...
MLz-278	884	108	0	1	1	1	2	.....	1

**Tablo 6. Algoritma sonuçlarının karşılaştırılması.**

Ortalama Mutlak Hata	
İDS	5,10
TOIMDR	5,08
Düzenlenmiş İDS (D-İDS)	4,29
Sorti Algoritması	4,30

Ortalama mutlak hata değeri dikkate alındığında, yeniden düzenlenmiş İDS ve yeni geliştirilen sorti esaslı algoritma, mevcut algoritmalara göre yaklaşık 1 birimlik daha iyi talep tahmin sonucu vermektedir.

Bu çalışmada kullanılan algoritmaların ortalama mutlak hata değerindeki iyileşmeleri aşağıdaki Şekil 1’de grafikte sunulmuştur.



**Şekil 1. Ortalama mutlak hata değerinin gelişimi.**

Örnek veri setinde incelenen malzemelerin ortalama tedarik ve tamir fiyatları ile anılan fiyatların % 95 güven aralığına sahip değerleri aşağıdaki Tablo 7’de sunulmuştur.

**Tablo 7. Tedarik ve tamir maliyetleri.**

	Tedarik Fiyatı (TL)	Tamir Fiyatı (TL)
Ortalama	26.293,95	4.879,84
Standart Hata	31.84,35	538,71
% 95 Güven Aralığı (Alt Limit)	20.025,36	3.819,36
% 95 Güven Aralığı (Üst Limit)	32.562,55	5.940,32
Minimum-Maksimum	[186,56-541.842,00]	[1,08-80.000,00]

Veri setinde incelenen 278 kalem malzemenin ortalama tedarik ve tamir fiyatlarının yüksekliği dikkate alındığında 1 birimlik daha doğru tahminin anlamı daha net bir şekilde ortaya çıkacaktır. Yeni geliştirilen algoritmaların maliyet açısından getirdiği kazançları ortaya çıkarabilmek amacıyla tahmin dönemi içinde ortaya çıkan gerçek arıza miktarları ile mevcut ve geliştirilen algoritmaların tahmin miktarları gerçek tedarik ve tamir fiyatları ile çarpılmıştır.

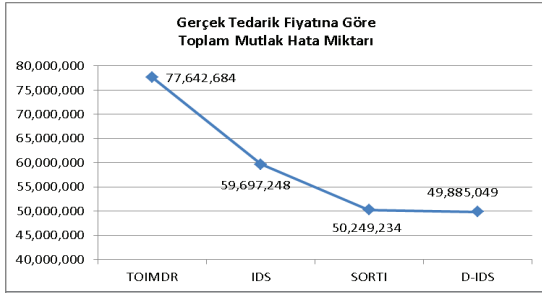
<sup>13</sup> 1999/4 ifadesi 1999 yılının 4’üncü dönemi anlamında olup, 1 Ekim-31 Aralık tarihlerini kapsar.

<sup>14</sup> 2000/1 ifadesi 2000 yılının 1’inci dönemi anlamında olup, 1 Ocak-31 Mart tarihlerini kapsar.

<sup>15</sup> 2000/2 ifadesi 2000 yılının 2’inci dönemi anlamında olup, 1 Nisan-30 Haziran tarihlerini kapsar.

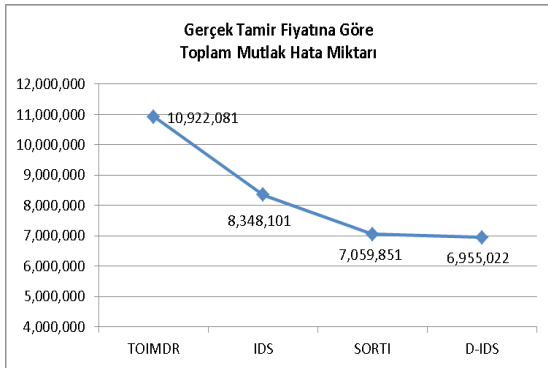
<sup>16</sup> 2000/3 ifadesi 2000 yılının 3’üncü dönemi anlamında olup, 1 Temmuz-30 Eylül tarihlerini kapsar.

Her malzeme için elde edilen tahmin maliyeti gerçek maliyetten çıkartılarak mutlak hata bulunmuş ve bu değerler toplanarak toplam mutlak hata değeri elde edilmiştir. Tedarik fiyatları kullanıldığında mevcut Türkiye’de kullanılan algoritma sonucuna göre mutlak hata değerinin yaklaşık 19 Milyon TL azaldığı Şekil 2’deki grafikte gösterilmiştir. Benzer şekilde ABD’de kullanılan algoritma sonucuna göre mutlak hata değeri yaklaşık 27 Milyon TL civarında azalmıştır.



Şekil 2. Tedarik fiyatına göre toplam mutlak hata miktarındaki düşüş.

Tamir fiyatları kullanıldığında, hali hazırda Türkiye’de kullanılan algoritma sonucuna göre yaklaşık 1.3 Milyon TL, ABD’de kullanılan algoritma sonucuna göre yaklaşık 3.9 Milyon TL toplam mutlak hata miktarında azalma olacağı Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Tamir fiyatına göre toplam mutlak hata miktarındaki düşüş.

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, silahlı kuvvetler envanterine girecek olan silah sistemlerine ait yedek tamirlik malzeme miktarının belirlenmesine yönelik Türkiye ve ABD’de kullanılan algoritmalar

incelenmiş, sorti esaslı yeni bir algoritma geliştirilmiş ve Türkiye’de kullanılan algoritma yeniden düzenlenerek ayrı bir algoritma elde edilmiştir. Anılan bu dört algoritma, F-16 uçağına ait tedarik ve tamir yeri yurtdışı olan 278 kalem malzeme üzerinde koşturulmuştur. Ortalama mutlak hata değerlerine bakıldığında, sorti veya düzenlenmiş İDS algoritmasının birbirine çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Düzenlenmiş İDS algoritması, hali hazırda Türkiye’de kullanılan algoritma sonuçlarını ortalama mutlak hata açısından yaklaşık olarak %16 iyileştirdiği görülmüştür.

Tamirlik malzemelerin tedarik ve tamir fiyatlarının yüksek olmasından dolayı %16’lık iyileştirme, hali hazırda Türkiye’de kullanılan algoritma sonuçlarına göre toplam tedarik maliyetlerinin yaklaşık olarak 19 Milyon TL daha iyi tahmin edilmesine imkan vermiştir. Bu durum tamirlik malzemeler tamiri için geçerli olup, tamir maliyetlerinin yaklaşık 1.3 Milyon TL daha iyi tahmin edilmesi imkanına kavuşulmuştur.

Yıllık talep miktarlarının daha doğru bulunması ile bütçe planlaması daha doğru yapılabilecek, ayrıca tamirlik malzemelere yönelik kaynak planlaması (iş gücü, iş yükü, malzeme, zaman v.b) daha doğru yapılabilme imkanına kavuşulmuş olunacaktır.

Ortalama mutlak hata değerleri incelenirken her malzeme için tek bir algoritmanın baskın olmadığı tespit edilmiş ve her malzeme için en iyi sonucu veren hibrit algoritmasının oluşturulması ihtiyacı ortaya çıkmış ve bu doğrultuda çalışmalara başlanmıştır.

Türkiye’de ve ABD’de kullanılan mevcut algoritmalarla göre daha iyi sonuç veren D-İDS ve Sorti algoritmalarının diğer uçak sistemlerinde de incelenmesinin faydalı olacağı, ayrıca, ortalama mutlak hata değerini daha da azaltabilecek alternatif algoritmaların araştırılmasına devam edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.



## 10. KAYNAKLAR

- AFMCI, 2007. Air Force Military Command Instruction.
- AECMA SPEC200M, 2000. Association Européenne des Constructeurs de Matériel Aérospatial Specification 2000M Issue 3.0.
- Anderson, B. 2009. "LOGM-570 Principles of Inventory Management" Ders Notları. Air Force Institute of Technology (AFIT).
- ATA SPEC2000, 2002. Air Transportation Association e-Business for Material Management SPEC2000.
- Daniel, V. and Srivastava, R. 1997. Repairable Inventory Theory: Models and applications. European Journal of Operational Research 102, 1-20.
- Fortuin, L. 1984. Initial supply and re-order level of new service parts. European Journal of Operational Research. 15 (3), 310-319.
- Gümüş, A.T. and Güneri, A.F. 2007. Multi-echelon inventory management in supply chains with uncertain demand and lead times: Literature review from an operational research perspective. J.Engineering Manufacture. Vol. 221 Part B, 1553-1570.
- Hillstad, R.J. 1982. Dyna-METRIC: Dynamic Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control. R-2785-AF. RAND Corporation.
- İDS, 1997. Hv.K.K.İği İDS Kullanıcı El Kitabı. Hv.K.K.İği Basımevi.
- JSF COST, 2000. Joint Strike Fighter Cost and Operational Performance Trade Process: Concept to Baseline.
- MIL-HDBK-502, 1997. Military Handbook Acquisition Logistics.
- MIL-STD-1388-1A, 1983. Military Standard Logistics Support Analysis.
- MIL-STD-1388-2B, 1991. Military Standard DOD Requirements for A Logistic Support Analysis Record
- Muckstadt, J.A. 1973. A model for a multi-item, multi-echelon, multi-indenture (MOD-METRIC) inventory system. Management Science 20 (4), 472-481.
- Muckstadt, J.A. 2005. Analysis and Algorithms for Service Parts Supply Chains. Springer, New York-ABD.
- NATO, 2007. Lojistik El Kitabı.
- Paterson, C., Kiesmuller, G., Teunter, K. 2011. Inventory Models with Lateral Transshipments: A Review. European Journal of Operational Research, Volume 210, 125-136.
- Sherbrooke, C. 1968. METRIC: A Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control. Operations Research. 16, 122-141.
- Sherbrooke, C. 1986. VARI-METRIC: Improved Approximations for Multi-Indenture, Multi-Echelon Availability Models. Operations Research. (34), 311-319.
- Sherbrooke, C. 1992. Optimal Inventory Modelling of Systems. John Wiley&Sons,Inc. New York.
- Slay, F.M., Bachman, T.C., Kline, R, C., O'Malley, T.J., Eichorn, F.L., King, R.M. 1996. Optimizing Spares Support: The Aircraft Sustainability Model (ASM). AF501MR1. Logistics Management Institute, Virginia-ABD.
- Wong, H., Houtum, G.J., Oudheusden, D.V. 2006. Multi-item spare parts systems with lateral transshipments and waiting time constraints. European Journal of Operational Research. (171), 1071-1093.