

Bakım Planlama Faaliyetlerinde Tamsayı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama*

Hüseyin GÜRBÜZ**
Eser CÖMERT***

Özet

Organizasyonlar ve sistemlerin, kendilerinden beklenen talepleri karşılamak amacıyla kaynaklarını etkin ve verimli bir şekilde kullanması gereklidir. Bu kapsamda bir üretim tesisi veya bir sistemin amaçlarını yerine getirebilmesi için, faaliyetlerini sürekli olarak devam ettirilebilmesini sağlayacak bakım faaliyetleri ile planlanmasını gerçekleştirmesi son derecede önemlidir.

Çalışmada, uçakların fabrika seviyesinde bakımlarının yapıldığı bir kamu işletmesinde tamsayı doğrusal programlama tekniği kullanılarak bakım planlama modeli oluşturulmuştur. Model LINGO programında çalıştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bakım Planlaması, Tamsayı Doğrusal Programlama.

Integer Programming On Maintenance Planning Activities And An Application

Abstract

Organizations and systems must utilize their resources effectively to satisfy expected demands. Consequently, maintenance activities and planning is critically important for plants and systems in order to maintain their activities and achieve their goals.

In this study, a maintenance planning model was constituted by using integer programming in a maintenance factory of aircrafts.

Model was run with Lingo that is used as optimization program and solutions were evaluated.

Keywords: Maintenance Planning, Integer Programming.

* Bu makale Eser Cömert'in Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalında Kasım 2010 yılında kabul edilen Yüksek Lisans Tezinden uyarlanmıştır.

** Yrd. Doç. Dr. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı. hgurbuz2002@gmail.com

*** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı.

Giriş

Ekonomilerin büyük değişimler yaşaması sonrasında ortaya çıkan dışa açılım ve küreselleşme nedeniyle işletmeler arasında rekabet oldukça artmıştır. Bu rekabet ortamında işletmelerin devamlılıklarını sağlayabilmeleri için, sürekli iyileştirme sürecini benimsemeleri ve kaliteli ürün ve hizmet üretmeyi başarabilmeleri gerekmektedir. İşletmelerin yüksek kalitede ve istenilen seviyede ürün ve hizmet sunabilmesi, sahip olduğu sistem, makine ve teçhizatları etkin olarak kullanabilmelerine bağlıdır. Dolayısıyla ister ürün ister hizmet olsun, üretim yapan tüm işletmelerde bakım faaliyetleri oldukça hayati bir önem arz etmektedir. Bu nedenle tüm işletme, organizasyon ve sistemlerde, bakım faaliyetlerinin, belirli bir amaca yönelik olarak bilinçli ve planlı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

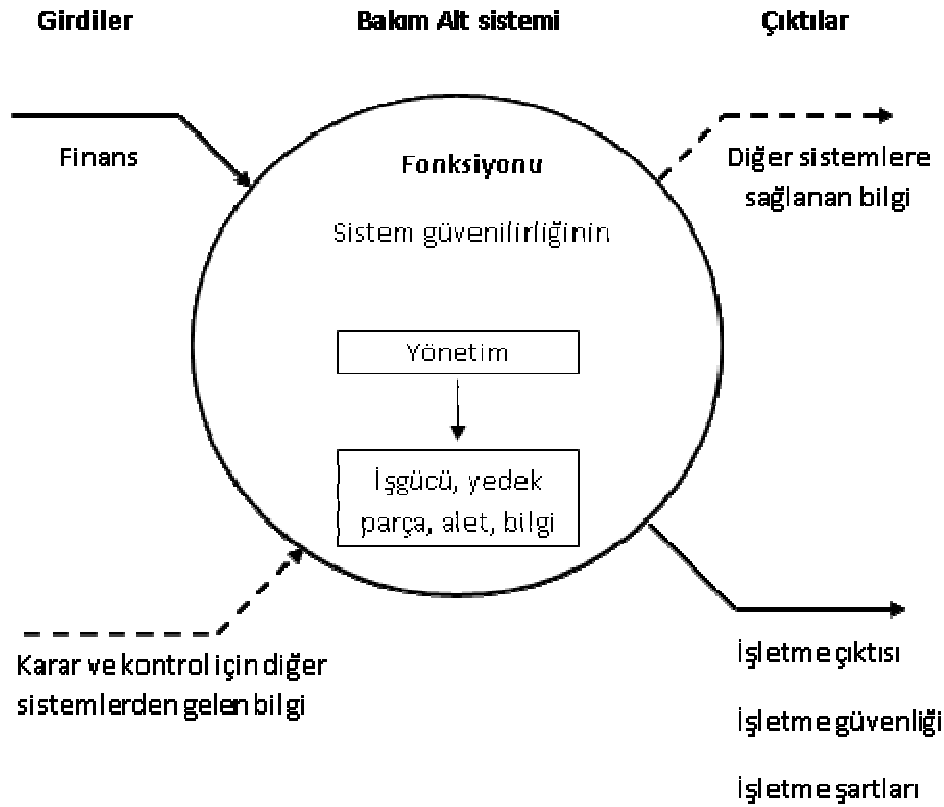
Bakım Faaliyetleri ve Planlanması

Organizasyonların içinde bulunduğumuz rekabet ortamında hayatta kalabilmeleri, sürekli gelişme ve değişime açık olmaları ve problemleri çözebilme kabiliyetlerine bağlıdır. Bir üretim tesisi veya bir sistemin amaçlarını yerine getirebilmesi için, faaliyetlerini sürekli olarak devam ettirebilmesi en temel gereksinim olmaktadır. Bu noktadan yola çıkarak, tesis veya sistemin bakım ihtiyaçlarının karşılanması vazgeçilmez bir faaliyet olarak ortaya çıkmakta, bu faaliyetlerin önceden tasarlanması, alternatif çözümler üretilmesi, ortaya çıkabilecek sorunların öngörülmesi ve ilgili önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bakım, genel anlamda, “canlı ya da cansız bütün varlıkların ve cisimlerin iyi durumlarının korunması ve devamının sağlanması ile ilgili tedbir ve faaliyetlerin sürekli olarak yerine getirilmesi” olarak tanımlanabilmektedir. Makine, teçhizat ve üretim sistemleri açısından değerlendirildiğinde ise bakım, tüm üretim sistemini veya belirli bir teçhizatı faal tutabilmek için uygulanan faaliyetlerdir. Bu tanımlama sadece arızaya anında müdahale gibi “reaktif” olarak değil, rutin kontrol, periyodik bakım, koruyucu bakım, yenileme ve performans izleme gibi “proaktif” görevlerinde bakım fonksiyonu içinde yer aldığını göstermektedir (Köksal, 2007, s.13).

Bakım planlaması, bakım araçlarının birçoğunun yönetilmesinde ve bir araya getirilmesinde kullanılan bir koordine aracıdır (Palmer, 1999, 140).

Bakım fonksiyonu onarım, modifikasyon, ve gerektiğinde yenisi ile değişim işlemleri ile teçhizatın güvenilirliğinin sürdürülmesi olarak da tanımlanabilir. Her bir alt sistemin, fonksiyonunu yerine getirebilmesi için diğer alt sistem veya sistemlerden veya dış çevreden bilgi ve kaynak girişinin olması gerekmektedir. Bir alt sistemin çıktısı bir diğerine girdi veya dış çevreye çıktı olabilmektedir. Bakım alt sisteminin etkilediği ve etkilendiği birçok diğer alt sistemin olduğu bir organizasyon yapısı Şekil 1’de verilmiştir:



Şekil 1: Bakım Sisteminin Fonksiyonu (Kelly, 2006, s.7)

Bakım fonksiyonunda özel öneme sahip iki durum söz konusudur:

- Güvenilirlik ve sürdürülebilirliği etkileyen sistem/teçhizatın temin fonksiyonu, bakım fonksiyonunda kayda değer bir etkiye sahiptir.
- Bakım ve diğer organizasyon alt sistemleri (üretim v.b.) arasındaki ilişki açıkça belirlenmeli, bakım alt sistemi veya onun parçalarının çalışma tanımı oluşturulmalıdır (Kelly, 2006: 7-8).

İşletme kendi bakım sisteminin tanımını yaparken, ihtiyaç ve kaynaklarını göz önünde bulundurmalıdır. Bakım faaliyetlerinin en iyi şekilde yürütülmesi için kurulacak olan bakım departmanlarının organizasyon yapısındaki yeri, tesisteki üretim sistemi tipine göre farklılık göstermektedir. Söz konusu farklılık, üretim tipine göre bakım departmanının bilgi alışverişinde bulunduğu ve karşılıklı sorumluluk yüklediği departmanların farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Bakım Faaliyetlerinin Planlanmasında Kullanılan Teknikler

Organizasyon ve sistemlerin üretim ve bakım faaliyetlerinin planlanmasında, yöneylem araştırmasına ait tekniklerin geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Yöneylem araştırması kısıtlı kaynakların dağıtımını gerektiren koşullar altında, bir sistemin en iyi tasarımını ve işletimini araştıran bilimsel yaklaşımdır (Öztürk, 2004, s.6).

Yöneylem araştırması, sistemlerin performansını iyileştirmeyi, bu sistemlerin kontrolünde ortaya çıkan problemlerin çözümleri amacıyla bir sistematik yaklaşımı, kantitatif teknikler ile organizasyon planlamalarının gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Bu durum, kullanılabilir en efektif ve karlı çözüm sonucunu veren mantıklı kararın elde edilmesi ile gerçekleştirilmektedir (Siemens, Marting ve Greenwood, 1973, s.3-5).

Organizasyonlarda karşılaşılan karar verme ve planlama problemlerinin çözümünde yöneylem araştırması tekniklerinden doğrusal programlama modelleri, yaygın olarak kullanılmaktadır.

Doğrusal programlama, belirli kısıtları karşılayacak şekilde mevcut kaynakların olabilecek en iyi seviyede dağıtılmasını sağlayacak çözüm tekniğidir. Malzeme, teçhizat ve insan gibi sınırlı kaynakların bir araya getirileceği karar verme problemlerinde, kar ve maliyet gibi sayısal değerleri maksimum veya minimum yapacak şekilde kısıtlı kaynakların paylaşılması amacıyla kullanılmaktadır (Rothenberg, 1979, s.1).

Bir sistemin bileşenlerine simgelerin atanarak, bu bileşenlerin birbirleri ile ilişkilerinin fonksiyonlarla gösterimleri matematiksel model, sistem yöneticisinin kontrolü altında bulunan değişkenler karar değişkeni, bu değişkenlere hangi değerlerin verilmesi gerektiğini belirlemek amacıyla kullanılan matematiksel modeller karar modeli olarak tanımlanmaktadır. (Kara, 2000, s.1-2).

Doğrusal programlama karar modeli, doğrusal eşitlik ve eşitsizliklerden oluşan kısıtlayıcı fonksiyonlar ile amaç fonksiyonu içeren bir matematiksel modeldir. (Luenberger, 2003, s.11).

Amaç fonksiyonu, kısıtlayıcı fonksiyonlar ve pozitif kısıtlama doğrusal programlama modelinin üç önemli ana unsurunu oluşturmaktadır. Doğrusal programlama modellerinde amaç fonksiyonu, en iyi seçeneğin bulunması amacıyla kullanılan başka bir ifade ile kar için maksimum, maliyet için minimum olacak şekilde doğrusal bir fonksiyondur. Doğrusal programlama modelinde kısıtlayıcı fonksiyonlar, işletmedeki kaynak kısıtlamalarını (belirli bir zamandaki üretim kapasitesi, finansman, işgücü v.b.) temsil etmektedir (Esin, 2003, s.28).

Doğrusal programlama modelinin temel varsayımlarından birisi tüm değişkenlerin sürekli olması ve karar değişkenlerinin değerlerinin tamsayı ve kesirli olmasıdır. Bazı işletme

problemlerinde ise karar değişkenlerinin, tamsayı değerli olmayan çözüm değişkenlerinin ekonomik anlamı yoktur (Öztürk, 1997, s.167)

Birtakım uygulama problemlerinde karar değişkenleri tamsayı değerlerine sahip ise çözüm anlamlı olmaktadır. Örneğin, insan, makine, teçhizat ve araç planlama problemlerinde, karar değişkenlerinin tamsayı olması gereklidir. Eğer, bir problemin doğrusal programlama formülasyonundan tek farklılığı tamsayı değerlerin elde edilmek istenmesi ise, bu durumda tamsayı programlama probleminden bahsedilebilir. Tamsayı programlamanın matematiksel modeli, doğrusal programlama modeline, değişkenlerin tamsayı olma kısıtının ilave edildiği modeldir. Eğer sadece bazı değişkenlerin tamsayı değerler alması isteniyorsa, bu model “karma tamsayı programlama” olarak nitelendirilmektedir. Tüm değişkenlerin tamsayı olması istendiği tamsayı programlama ise, “saf tamsayı programlama”, “tamamen tamsayı programlama” olarak adlandırılmaktadır (Hillier and Lieberman, 1989, s.391) (Taha, 2000, s.361).

Bazı karar verme problemleri, x parçasının y tezgahında üretilmesi/üretilmemesi gibi seçenekli olup, “evet/hayır” gibi sadece iki seçenekten oluşmaktadır. Bu tip karar durumlarında ise değişkenler sadece iki tamsayı değeri olan 0-1 değerlerini alabilirler. Tüm değişkenlerin 0 ya da 1'e eşit olmasının istendiği tamsayı programlama problemine “0-1 tamsayı programlama” problemi denilmektedir. Sırt çantası olarak adlandırılan tamsayı programlama problemleri bu türdendir. Bir dağcının tırmanırken beslenmesi için sınırlı hacme sahip sırt çantasına hangi yiyecekleri koymasına gerektiğine karar verirken 0-1 türünden tanımlanmış değişkenler söz konusudur.

Bazı değişkenlerin 0 yada 1 değerini aldığı, geriye kalan değişkenlerin ise sürekli değişkenler olarak tanımlandığı modellere “0-1 karma tamsayı programlama modelleri” denilmektedir. Bir üretim planlaması problemi bu türden olabilir. Bir üretim çevresindeki, karar değişkenlerinden birincisi, hangi ürünün hangi tezgaha atanması gerektiği, ikincisi ise bu tezgahlarda ne kadar üretim gerçekleştirilebileceğine yönelik ise karar problemi, 0-1 karma tamsayı programlama problemidir (Bakır ve Altınkaynak, 2003, s.147-151).

Doğrusal ve tamsayı programlamanın matematiksel gösterimleri en basit şekliyle aşağıdaki gibidir:

- Bir doğrusal programlama modeli en basit şekilde,

$\max \{cx : Ax \leq b, x \geq 0\}$ olarak ifade edilir.

cx : amaç fonksiyonunu,

$Ax \leq b$: kısıt fonksiyonunu,

$x \geq 0$: pozitif kısıtlamayı göstermektedir.

Modelde,

c: n boyutlu satır vektörü,

x: karar değişkenlerinin n boyutlu sütun vektörü,

A: m x n matrisi,

b: m boyutlu sütun vektörüdür.

- Bazı değişkenlerin tamsayı olmasının istendiği “karma tamsayılı program” modelinde amaç fonksiyonu ve kısıtlar,

$$\max cx + hy ,$$

$$Ax + Gy \leq b ,$$

$x \geq 0$, $y \geq 0$ ve tamsayı olarak ifade edilmektedir.

Burada ise G: m x p matrisi,

h: p boyutlu satır vektörü,

y: tamsayılı değişkenlerin p boyutlu sütun vektörüdür.

- Tüm değişkenlerin tamsayı olmasının istendiği “saf tamsayılı program” modeli,

$$\max cx ,$$

$$Ax \leq b ,$$

$x \geq 0$ ve tamsayı olarak ifade edilir.

- “0-1 tamsayılı program” ise

$$cx ,$$

$$Ax \leq b ,$$

$x \in \{0,1\}^n$ olarak gösterilir (Wolsey, 1998, s.3).

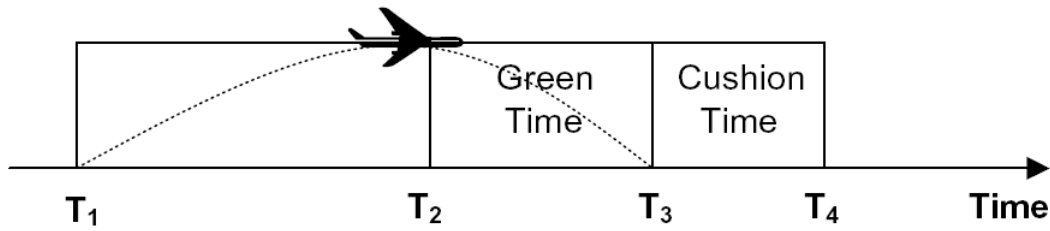
Bir doğrusal programlama probleminde sonuçların tamsayılı olması istendiği ancak tamsayı çıkmaması durumunda probleme yeni bir kısıt ekleyerek işleme devam edilebilir. Eklenen bu yeni kısıt (kesme) orijinal kısıtlar altında mümkün olabilecek tüm tamsayı çözümleri içeren yeni bir çözüm bölgesi meydana getirmesine rağmen, ilk çözümde bulunan tam sayı olmayan çözümü içermez. Tam sayılı programlamada dal-sınır ve kesme düzlemi yöntemi olmak üzere iki farklı algoritma kullanılmaktadır (<http://www.ce.yildiz.edu.tr> , 12.09.2010).

Literatür Araştırması

Optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılan doğrusal programlama tekniğinin, askeri kuruluşlardaki uygulamaları ve detayları, literatürde sıklıkla yer almamaktadır. Bununla beraber, söz konusu teknik, dünyada birçok özel ve kamu işletmesinin karar verme probleminin çözümü amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılmış ve halen kullanılmakta olup, konuya

yönelik çalışmalardan (ağırlıklı olarak havacılık ve bakım sektöründeki çalışmalar) bazıları aşağıda açıklanmıştır:

Sarac, Batta ve Rump (2006), uçak bakım planlamasında, son yıllarda havayolu şirketlerinin uçak filolarının lojistik problemlerini içeren havayolu operasyonlarını optimize etmek amacıyla, uçuş ayaklarının etkin dizilimine karar verilmiş olan alt filoların her bir uçağı için, özel bir rota oluşturmayı kapsayan bir probleme odaklanmışlardır. Problem, günlük uçak bakım planlaması, bakım merkezlerinin sınırlı kaynaklara sahip olması (mevcut işgücü ve bakım süreleri) nedeniyle her bir uçağın yasal kalan uçuş saati süresinin dışına çıkılmadan günlük uçuş bakım maliyetinin minimize edilmesi amacını taşıyan bir problemdir. Bu problemin optimum çözümü, sadece toplam maliyetleri minimize etmeyi değil ve aynı zamanda personelin ve teçhizatın bir istasyondan diğerine taşınmasının azaltılmasını da hedeflemektedir. Çalışmada, Şekil.1.8'de gösterilen uçağın bakım uygulanmadan uçabileceği kalan yasal uçuş saatini (cushion time) minimize etmek yada başka bir deyişle uçağın bir sonraki bakımın gerçekleştirileceği uçuş saatini (green time) maksimumda tutmak amaçlanmaktadır.



Şekil.1.8: Uçak için Zaman Limiti Tanımlamaları (Sarac, Batta ve Rump, 2006)

T1: Son bakımın uygulandığı zaman.

T2: Uçağın bakım gereksinimi için yüksek uçuş saati olarak tanımlandığı zaman

T3: Bir sonraki bakımın gerçekleştirileceği zaman.

T4: Uçağın bakım uygulanmadan uçabileceği son zaman.

[T1,T4]: Maksimum kalan yasal uçuş saati.

Havayolu şirketlerinin günlük olarak karşılaştığı söz konusu uçak rota planlama probleminin çözümü için tamsayı doğrusal programlama algoritmalarından biri olan dal-fiyat yaklaşımı tanımlamışlardır. Bu problemin literatürdeki uzun dönemli planlamalara karşın operasyonel olarak yapılan tek çalışma olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, bir operasyonel problemin çözümünde göz ardı edilemeyecek mevcut kaynak kısıtlamalarını model içerisine dahil etmişlerdir.

Hahn ve Newman (2008) Sahil Güvenliğin, korozif çevre şartlarının etkisini azalmak amacıyla, Sikorsky HH60J helikopterleri için planladığı uçuş saatine dayalı kapsamlı koruyucu bakım programı için, her bir helikopterin bakıma alınacağı haftalara yönelik olarak programlama yapabilen bir karma tamsayı model geliştirmişlerdir. Programlamalarda farklı bakım tipleri, bakım kapasiteleri ve eş zamanlı bölgedeki devriyede bulunacak helikopterlerin sayısı gibi çeşitli faaliyet gereksinimleri de göz önünde bulundurmuşlar ve Clearwater'daki faaliyetlerden elde edilen verileri kullanarak, Unix Workstation üzerine 3 dakikanın altında hesaplama yapabilen basit bir optimum planlama modeli oluşturmuşlardır. Ocak 2005 'ten bu yana, hava istasyonundaki planlama elemanları tarafından, modelin programlama aracı olarak kullanıldığını belirtmişlerdir.

Sriram ve Haghani (2003), uçak bakım planlaması ve yeniden görevlendirme (uçuşa verme) amacıyla bir optimizasyon modeli oluşturmuşlardır. Uçak bakım planlamasının, uçağın işletmesi boyunca bir havayolu şirketinin vermek zorunda olduğu en önemli karar verme problemlerinden birisi olduğunu belirtmiş ve bakım planlamasının maliyet tasarrufunu sağlayacak anlaşılması kolay fakat çözümü zor bir problem olduğunu ifade etmişlerdir. Uçakların bakım planlaması ve problemin etkili ve hızlı çözümü için tamsayı programlama modeli çözümlerinde çözüm zamanının çok uzun sürmesi nedeniyle yeni bir formülasyon oluşturmuşlar ve çözümde ise CPLEX paket programı kullanmışlardır.

Koepke, Armacost, Barnhart ve Kolitz (2008), Amerikan Hava Kuvvetlerinin kritik görevi olan uçaklardan oluşan geniş ölçekli hava mobilize organizasyonu için programlamanın gerçekleştirilmesi ve oluşturulmasından sorumlu mobilize komutanlığının desteklenmesi için bir tamsayı programlama yaklaşımını içeren çalışma yapmışlardır. Meydanlarda MOG (Maximum On Ground) olarak tanımlanan maksimum sayıda uçağın park edilebileceği durumlar için, ünite arızası ya da hava muhalefeti gibi aksaklıklardan dolayı MOG'un kısıtlamalarının esnek olmayan yeni planlamalara sebep olabileceğini belirtmişler, oluşturdukları tamsayı programlama modelinde uçakların önemli görev önceliklerinin belirlenmesinde geniş sistem aksaklıklarının etkilerini minimize etmek amacıyla yerdeki belirli uçaklardaki gecikmeleri öneren formülasyonu oluşturmuşlardır.

Amerikan Havayollarının (American Airlines) Tulsa ve Fort Worth'da bulunan iki büyük bakım ve onarım tesisinde Boeing 727, 737, 747, 757, 767, Airbus 300, McDonnell Douglas super 80, DC-10, Md-11 uçakları için 30 farklı tipte bakım tipi programlanmıştır. Bütün bir uçağın komple onarımlarının yapıldığı büyük bakımların maliyetleri uçak tipine bağlı olarak 1.000.000 \$'a kadar çıkmakta, bakımların periyotları 18 ayda bir ile 5 yılda bir aralığında değişmektedir. Amerikan Havayolları, filosu için 5 yıllık bakım programı geliştirip uygulamakta olup, bu program uçak bakımlarının ne zaman yapılacağı, parça değişiklikleri (iniş

takımı, kanatlar v.b.) ve özel bakım ve kontrollerin izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Amerikan Havayolları daha önce bu programı elle yaparken, filonun hızlı büyümesi sebebi ve karmaşıklığın artması sebebiyle bu yöntem uygulanamaz hale gelmiştir. Amerikan Havayollarının karar teknolojileri bölümü (AADT) uçakların 5 yıllık bakım onarım planlarını oluşturmak ve güncellemek amacıyla bir karar destek sistemi geliştirmişler ve uygulamışlardır. Sistem, Apple Macintosh IIcx platformunu kullanmakta olup, C++ dilinde yazılmıştır. Sistem, filolar için gerekli planlamayı çok kısa sürelerde (1-10 dk.), gerçekleştirmekte ve farklı deneme planları oluşturabilmektedir Bu sayede onarımlar arasına geçen süre artırılarak hasılatlarda 454 milyon \$ artış, bakım maliyetlerinde ise 3 milyon \$ tasarruf sağlanmıştır. (Köksal, 2007, 81)

Amerika'nın çeşitli üslerinde bulunan 9 adet teknoloji yönetim birimini içeren Amerikan Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı (AFRL)'nin, insansız hava aracının izleme ve taarruz kabiliyetlerinin oluşturulması çalışmaları kapsamında, sistemin maksimum yıkımı gerçekleştirebilmesi için silah ve hedef ayarlanmasına yönelik optimizasyon problemi üzerinde çalışılmaktadır (<http://ormstomorrow.informs.org>, 12.04.2010).

Bazargan (2007), yolcuların uçağa binış stratejisi için doğrusal programlama yaklaşımı çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, sert rekabet ve yüksek akaryakıt fiyatları sebebiyle finansal olarak zor zamanlar yaşanmakta olduğunu, rekabette kalabilmek için kontrol edebildikleri alanlarda yüksek etkinlik ve verimlilik elde edilmesinin havayolu işletmelerinin hayatta kalabilmeleri için büyük önem taşıdığını belirtmiştir. Uçağın havayolu şirketine, uçuş esnasında gelir sağlamaya başladığına değinilerek, uçağın yerde kalış süresini azaltmak amacıyla, tek koridorlu uçaklar için uçağa binış zamanlarında gecikmelere sebep olan yolcuların arasındaki karışıklığın azaltılmasına çalışmıştır. Bu karışıklığın minimize edilmesi amacıyla yeni bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuş ve bu modeli Airbus A320 uçağına uygulamıştır. Model, yolcu binış hızlarında alternatif etkili çözümler ortaya koymuştur. Uygun binış şekillerini tanımlamak amacıyla bir simülasyon modeli benimsenmiştir. Buna göre, tavsiye edilen binış şekli, diğer stratejilerden daha az karışıklığa neden olduğu gibi, bitişik yolcuların birlikte binışlerinde son derece faydalı olduğu görülmüştür.

Uçak Bakım Faaliyetleri

Uçak bakımı, bir hava aracını, eski haline getirmek yada çalışır durumda tutabilmek amacıyla servis, tadilat, revizyon, kontrol ve durum tespiti yapmak gibi işlerden oluşan faaliyetlerdir. Bakım faaliyetleri ile uçuşların emniyetle gerçekleştirilmesi ve uçak güvenilirliğinin artırılması amaçlanmaktadır.

Uçak bakım faaliyetleri, teknik emirlere, bakım planları ve el kitaplarına, üretici ve havacılık otoritesinin talimatlarına göre yürütülmektedir. Tüm bu talimatlar, uçuş güvenliğini

arttırmak ve emniyeti sağlamak amacıyla zamanla ortaya çıkmış teknik emirlerdir (<http://slonder.tripod.com/bakim.html>, 22.10.2010).

Bakımın temel amacı, hava aracını, üretimi sonrasında da performans ve güvenilirlik açısından dizayn limitlerinde tutmaktır. Uçak bakım faaliyetleri, kullanıcıya, uçağın emniyetli bir şekilde uçurulması, istenilen zamanda uçuşa verilebilmesi ve işletme giderlerinin düşürülmesi (uygun motor bakımının sağlayacağı yakıt tasarrufu) imkanını vermektedir. Bir uçak dizayn edilirken, performans, ağırlık, güvenilirlik ve maliyet gibi parametrelere ilaveten “bakım yapılabirliği” de dikkate alınarak bakıma yönelik hedefler konmaktadır. Söz konusu hedefler aşağıda verilmiştir:

- Planlı bakımlar önceden belirlenmelidir.
- Arıza giderme işlemleri basit olmalı ve hızlı olarak gerçekleştirilebilmelidir.
- Özel alet ve ekipmanlara duyulacak ihtiyaç asgari seviyede tutulmalıdır.
- Bakım gerekleri (bakım işgücü ihtiyacı, süresi, yedek parça, yer destek ekipmanları v.b.) nicel olarak belirtilmelidir.
- Ünite, komponent ve yapısal bölgelere kolay olarak erişilebilmelidir.

Bakım programları, uçağın dizayn aşamasından itibaren geliştirilmeye başlanır ve onaylanmayan konular söz konusu aşamalarda düzeltilir. Uçağın üretici firması tarafından hazırlanarak müşterilere verilen başlangıç bakım programı (MRB-Maintenance Review Board) bakımlar için ilk minimum bakım ve kontrol ihtiyaçlarını içerir ve imalatçı ülkelerin havacılık otoriteleri tarafından onaylanır. Onay sonrasında, üretici, bakım başlangıç programı raporunun (MRBR- Maintenance Review Board Report) tamamına ilaveten bakım tavsiyelerinin ve açıklayıcı bilgilerin bulunduğu bakım planlama dökümanını (MPD-Maintenance Planning Document) yayımlar. Müşteriler de üretici tarafından yayınlanan bütün dökümanları kullanarak, kendi bakım programını (CMPD-Customized Maintenance Planning Document) hazırlar ve yerel otoritelere onaylatarak kullanmaya başlar. Müşteri bakım programını zaman içerisinde şartlara göre revize edebilir. (Mercan, 1999, s.19-24)

Uçak Bakımlarının Sınıflandırılması

Uçak bakımları yapıldıkları yere, yapıldıkları süreye ve yapılaş amaçlarına göre sınıflandırılmaktadır (<http://megep.meb.gov.tr>, 15.10.2010).

Yapıldıkları Yere Göre Bakımlar

Bakımlar yapıldığı yere göre iki farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Birinci sınıflandırmada, bakım faaliyetleri, uçuş hattında yapılan veya bakım tesislerinde gerçekleştirilen bakımlardır. Diğer sınıflandırma ise, bakımın doğrudan uçak üzerinde veya

farklı bir yerde (uçak üzerinde yapılmayan) yapıldığının belirlenmesine yönelik yapılan sınıflandırmadır.

- Uçuş hattında yapılan bakım faaliyetleri, genellikle uçağın uçuşa verilebilmesi için yapılan faaliyetleri kapsamaktadır. Bunlar servis, uçuşa elverişlilik için yapılan göz ve operasyonel kontroller, uçağın uçuşa verilmesini engelleyen bir arıza olduğunda uçuş hattında değiştirilebilen ünite adı verilen LRU'ların ve motorun değiştirildiği faaliyetlerdir.

- Bakım tesislerinde yapılan faaliyetler ise, hat bakım faaliyetleri kapsamı dışında kalan ve atölyede/hangarda yapılan tüm faaliyetleri içermektedir.

- Uçak üzerinde yapılan bakım faaliyetleri, genellikle uçuş hattında yapılan değişiklikler ve bakım faaliyetleri kapsamındadır.

- Uçak üzerinde yapılmayan bakım faaliyetleri ise uçak üzerinden sökülen sistem ve ünitelerin bakımlarının ilgili atölyelerde yapılmasıdır. Atölyelerdeki bakım faaliyetlerine örnek olarak motor revizyonları, elektronik-hidrolik-mekanik ünitelerin bakım-onarım ve revizyonları verilebilir.

Yapıldıkları Süreye Göre Bakımlar

Küçük bakım, orta seviye bakım ve büyük bakım olarak sınıflandırılmaktadır.

- Küçük bakım, genellikle uçuş hatta gerçekleştirilen ve 24 saat veya daha az süren bakımları ve bu süre içinde giderilebilecek arızalara yönelik faaliyetleri kapsamaktadır.

- Orta seviye bakım, 7 güne kadar bir zaman dilimini kapsayan bakımlar olup bakım tesislerinde yapılmaktadır.

- Büyük bakım, uçağın yıllara sari yaşlanması sonucunda ortaya çıkan bakım ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla uygulanan bakımlardır. Yedi günden daha fazla zaman gerektiren büyük bakımlar, yapısal kontrol ve tamirler, gövdenin yeniden boyanması, kapsamlı tadilatlar gibi faaliyetleri kapsamaktadır. Büyük bakımlar gerekli donanıma sahip bakım tesislerinde yapılmaktadır.

Yapılma Amaçlarına Göre Bakımlar

Uçak bakımları, yapılma amaçlarına göre, koruyucu bakım ve düzeltici bakım olarak sınıflandırılmaktadır.

- Koruyucu bakım, uçak sistemleri için gerekli bakımların, sistemlerde arıza oluşması beklenmeden önce yapıldığı bakımlardır. Koruyucu bakım faaliyetleri ile uçaklarda arızaların önlenmesi amaçlanmaktadır. Planlı bakımlar, koruyucu bakım kapsamında yer almaktadır. Planlı bakımlar; üretici firma tarafından bakım kitaplarında belirlenen periyotlarda uygulanan ve uçak yapısındaki sistem, teçhizat ve ünitelerin arıza yapması beklenilmeden kontrol edilmesini hedefleyen bakımlardır. Planlı bakımların kapsamı, üretici firma tarafından

mevcut koşullara uygunluğu değerlendirilerek, gerektiğinde değiştirilmektedir. Planlı bakımlar, günlük, aylık veya yıllık olarak programlanabilen bakımlardır. Planlı bakımlar belirli sürelerde uygulanır ve çeşitli kodlara sahiptir. Zaman aralıkları ve kodlar uçağın cinsine ve bakımı uygulayan kuruluşun bakım planına göre değişiklik gösterebilir. Planlı bakım periyotları genellikle A, B, C, D şeklindeki harflerle simgelenmektedir. Her bir bakım, bir öncekinden daha kapsamlıdır ve uygulama süresi daha uzundur.

Planlı bakımlar servis, kontrol, çalışma ve fonksiyon kontrolleri ile yapısal kontrolü kapsamaktadır. A, B, C bakımlarında, tüm uçak sistemleri (motor, kumanda sistemleri, iniş takımları vs.) kontrol, servis ve test işlemlerinden geçirilir. Kanatlar, motor, kuyruk bölgesinde dışarıdan görülemeyen yerlere erişilerek kontroller yapılmakta, hasarlı bulunan parçalar yenilenmekte, gerekli servis ve test işlemlerinden sonra açılan bölgeler tekrar kapatılmaktadır. Bakım çıkışında tüm sistemler ve uçağın kalbi sayılabilecek motorlar detaylı bir test bir programından geçirilmekte ve tüm sonuçların, bakım kitaplarındaki değerleri karşılaması durumunda uçak uçuşa verilebilmektedir.

Büyük bakımlar; D ve daha sonraki bakımları kapsar. Bu tip bakımlar, daha çok yapısal kontrol ve tamirlerin uygulandığı ağır bakımlardır. Uçağın bu bakımlarda yerde kalış süresi uçağın yaşı ve uçuş saati ile doğru orantılıdır. Bakım süresi on beş günden üç aya kadar uzayabilmektedir. Korozyon kontrolü ve giderilmesi, iniş takımı gibi asamblelerin revizyonu ve değişimi, büyük çaplı modifikasyonların uygulanması da bu bakımlarda yapılır. Bakım ekibi, bakım uygulamasının dışında, bakım esnasında yapılan tüm işlemleri, yapan kişinin imzası, numarası, iş yapılırken kullanılan uçak imalatçısının dokümanlarının ismi, işin yapıldığı gün, saat ve çalışılan toplam sürenin kaydedildiği yazılı formları düzenlemekten sorumludur. Söz konusu formlar, toplanmakta ve uçağın siciline kaydedilmek üzere saklanmaktadır.

- Düzeltici bakımda (acil bakım) oluşan arızalar giderilir. Arıza yapma olasılığı zamana bağlı olmayan elemanları kapsar. Plansız bakımlar düzeltici bakım kapsamında yer almaktadır. Bir parçanın bilinen veya tahmin edilen arızasının düzeltilerek belirlenen duruma geri getirmek için yapılan bakım faaliyetleri olan plansız bakımlar, ortaya çıkan arızaların veya hasarların giderilmesi amacıyla uygulanırlar. Uçuş esnasında veya kontroller esnasında uçuş emniyetini tehlikeye düşürücü herhangi bir arızanın oluşması durumunda, plansız bakım ve onarım işlemlerinin hemen uygulanması gerekmekte ve düzeltici işlem gerçekleştirilmeden uçağın servise verilmesi mümkün olmamaktadır. Kuş çarpması, sert inişler, savaş uçakları için aşırı g (over-g)'ye maruz kalma gibi olaylar, plansız bakım ihtiyacının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu bakımlarda, uçağın bakım işlemlerinin ne kadar süreceği dolayısı ile uçağın uçuştan ne kadar süre alıkonulacağı bilinmemektedir.

Çalışmanın Yapıldığı İşletmenin Tanıtılması ve Bakım Faaliyetleri

Savunma sanayine hizmet vermekte olan kuruluşta uçak motorlarının fabrika (Depot Level-D) seviyesi bakım, onarım, yenileme, modernizasyon faaliyetleri ile lojistik sistemin idamesi için gerekli olan ünitelerin bakım, onarım, revizyon faaliyetleri gerçekleştirilmektedir.

Kuruluş, silah/savunma sistemlerinin, destek sistemlerinin ve bunların teçhizatının;

- Fabrika seviyesi bakımlarını, onarımlarını, kalibrelerini yapmak, sistem, teçhizat ve yedek malzemeleri imal etmekte ve kalite güvencesini sağlamakta,
- Uçuş emniyetine, idamesine, araştırma-geliştirmesine, test ve değerlendirmesi ile kalite güvencesinin teminine yönelik mühendislik desteğini yerine getirmekte, uçak arıza giderme faaliyetlerini gerçekleştirmekte,
- Sistemlerin emniyetle kullanılmasını sağlamakta ve kullanım ömürlerini uzatmak için gerekli modifikasyon ve modernizasyonları geliştirmekte ve uygulamakta, havacılık alanında teknik, uzman ve bağımsız bir danışma kurumu görevi yapmakta,
- Modernizasyon veya geliştirme amaçlı sözleşme ve projeleri yürütmekte ve bizzat uygulamakta ve bu tür görevlerde ana üstlenici rolünü üstlenmektedir.

Fabrika bünyesinde bulunan farklı müdürlüklerde,

- Uçak motorlarına ait uçak aksesuar ve ünitelerinin (teçhizat) bakımı, modifikasyonu, onarımı ve testleri yapılmakta,
- Uçakların tahribatsız kontrolleri (NDI), boyama ve boya sökümü, hidrolik, pnömatik, mekanik, elektrik, aviyonik ve yapısal bakımları gerçekleştirilmekte,
- Farklı tipteki turbofan, turbojet ve turboprop/turboshaft motorlara ait bakım, test, onarım, modifikasyon, parça değişimi ve imalatı ile kontrolleri yapılmakta,
- Uçaklara ait elektronik ünitelerin bakımı, modifikasyonu, onarımı ve fonksiyonel testleri yapılmakta,
- Uçak yapısal parçaları, motor parçaları, boru, kablo, hortum ile fikstür gibi yedek parçaların imalatları yapılmakta,
- Uçaklarda meydana gelen teknik sorunların çözümü, uçuş emniyetini sağlanması ile idame ve geliştirilmesine yönelik mühendislik faaliyetleri gerçekleştirilmekte,
- Faaliyetlerin daha az kaynak kullanımı ile daha ekonomik olarak yerine getirilmesini desteklemek amacıyla; işgücü, iş yükü, tesis, teçhizat, malzeme, eğitim, mali kaynak, planlama, programlama hizmetleri yürütülmekte,
- Kalite faaliyetleri yürütülmekte,
- Geliştirme ve yenileme projeleri yürütülmektedir.

Ayrıca fabrika, AQAP-2110, AQAP-160, ISO 9001:2000, ISO 14001, JAR-145, GE uygunluk kalite belgelerine sahiptir.

Uçakların belirli periyotlardaki D seviyesi bakımları, genel olarak ilerleyen kısımlarda açıklanan faaliyetler uygulanarak gerçekleştirilmektedir.

Uçakların, ilk olarak sıcak ve soğuk keşifleri yapılarak genel arıza ve kusurları tespit edilmektedir. Keşif, gerekli bakım ve onarım türlerini saptamak, uçakların kullanıcı birliklerden geldiği şekli ile hata, kusur ve arızalarını tespit etmek, malzeme ve ünite ihtiyaçlarını belirlemek ve teminlerinin yapılmasını sağlamak amacıyla yapılan göz, faaliyet ve ölçüm kontrollerini kapsayan işlemlerdir. Keşif faaliyetleri, gövde, elektrik, yapısal, kanopi, sandalye, silah, havalandırma, telsiz, borda, radar, otopilot ve motor ihtisaslarına sahip keşif ekipleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Sıcak keşif faaliyetleri, elektronik sistemlerin performansını görebilmek için yapılan işlemleri içeren keşif safhasıdır. Elektronik cihazların hassasiyeti sebebiyle boya söküm ve yıkama işlemleri öncesinde söküm işlemleri yapılmaktadır. Söz konusu cihazların keşif işlemi bu safhada yapılmaktadır. İlerleyen safhada, yabancı madde hasarı olmadığına karar verilen ve uçuş saatini doldurmayan motorların performanslarını ve uçak ile uyumunu kontrol amacı ile motor sıcak keşfi gerçekleştirilmektedir. Yakıt keşfinde ise, yakıt sistem ünitelerinin çalışma, yakıt boruları ve depolarının kaçak ve yakıt transfer testleri yapılmaktadır. Soğuk keşif aşamasında ise, uçağa harici takat verilerek uçak üzerinde bulunan bütün sistemlerin faaliyetleri test edilmekte, ünite, sistem ve komple uçağın fiziki durumu değerlendirilerek gözle görülebilen kusurları kaydedilmektedir.

Sonraki aşamalarda uçağa ait yapısal, aviyonik, hidrolik ve elektrik ünitelerinin söküm işlemleri ile motor ve sandalye sökümü gerçekleştirilmekte, ünitelerin bir kısmı hasarlarına bakılmaksızın değiştirilmekte, bir kısmı faaliyet kontrolleri sonrasında yeniden uçağa takılmakta, diğer üniteler ile motorlar ise bakım ve revizyonları için ilgili müdürlüklere gönderilmektedir. Bir sonraki aşamada uçak, boya söküm ve yıkama işlemlerine tabi tutulmakta, sonrasında ise uçağın tahribatsız kontrolleri (NDI) gerçekleştirilmektedir. NDI kontrolleri, radyografi (X-ray), real-time, ultrasonik, sıvı penetrant, manyetik parçacık ve eddy current (girdap akımları) yöntemleri kullanılarak uçak yapısına zarar vermeden gözle görülemeyen hata ve kusurların tespit edilmesine yarayan kontrollerdir. Uçağa ait ölçüm kontrolleri de aynı safhalarda gerçekleştirilmektedir.

Uçak üzerinden sökülen ünitelerin bakım, onarım, fonksiyonel kontrol ve NDI işlemleri ile keşif kusurlarının giderilmesi faaliyetleri ile uçak üzerindeki yapısal onarım ve tadilatları tamamlandıktan sonra, ilgili atölyeler tarafından sökülen ünitelerin uçak üzerine yeniden montajı yapılmaktadır. Faaliyetlerin devamında, sistemlerin fonksiyonel testi, motor montajı ve takat kontrolü, ağırlık-balans ve simetri kontrolü gerçekleştirilerek uçak boya hangarında boyama işlemine tabi tutulmaktadır. Son kontroller ve tecrübe uçuşu ile uçakların fabrikadaki bakım faaliyetleri tamamlanmaktadır. Fabrika bünyesinde ayrıca, uçuş emniyetinin artırılması

amacıyla uçaklarda teknik emir uygulamaları, yapısal ömür uzatım ve yenileme programları gerçekleştirilmekte ve uçakların modernizasyon proje faaliyetleri de yürütülmektedir.

Çalışmanın Yapıldığı Müdürlükteki Bakım Faaliyetleri

Çalışmanın yapıldığı müdürlükte, uçak, uçak motoru ve yer destek teçhizatlarına ait aksesuar ünitelerinin fabrika seviyesi bakım, onarım, test işlemleri ile bakım mühendislik hizmetleri belirlenmiş standartlara göre emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmekte, iş standartları hazırlanmakta ve dönemlik üretim planları aylık ve daha alt düzeyde uygulama programlarına dönüştürülmektedir. Müdürlükte, hidrolik sistem üniteleri, pnömatik sistem üniteleri, yakıt sistem üniteleri, yağ sistem üniteleri, mekanik sistem üniteleri, elektrik sistem üniteleri ile fren ve iniş takım ünitelerinin bakımları farklı tip tezgahlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

İlgili müdürlüğün sorumluluğundaki ünitelerin onarım işlemleri, ünitelerin üreticileri tarafından hazırlanan teknik dokümanlara uygun olacak şekilde gerçekleştirilmektedir.

Bu kapsamda, bakım amacıyla müdürlüğe gönderilen bir ünite, tamamen sökülerek uygun proselere göre temizleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Ünitenin uçak üzerindeki çalışması sırasında, yapısı üzerinde çatlak, kusur v.b. meydana gelip gelmediğinin belirlenmesi amacıyla ünitenin tahribatsız kontrol işlemleri (NDI) uygulanmakta ve teknik emirlerde belirtilen limit harici kusurlar bulunması durumunda parça kal edilmektedir. Sonraki aşamada ünitelerin gerçekleştirilen fiziki keşif işlemlerinin sonucuna göre kontrol kriterlerini karşılamayan malzemelerin tekrar kullanılabilmesi için onarım işlemleri uygulanmaktadır. Onarım ve hasarlı alt parça değişimleri yapılan ünitelerin, yeniden montajı yapılmakta ve ünitenin çalışma şartlarından daha ağır koşullarda fonksiyonel testleri gerçekleştirilmektedir. Test sonuçlarının beklenen kriterleri sağlaması durumunda ünitenin gerekli emniyet montajları ve boyama işlemleri yapılmakta, son kontrolleri ve ambalajlama işlemleri ile bakımı tamamlanarak kullanıcılara sevkiyatı yapılmaktadır.

Tamsayı Doğrusal Programlama Modelinin Kurulması

Uçakların fabrika seviyesi bakım, revizyon ve yenileme faaliyetlerinin gerçekleştirildiği fabrikaya, üç aylık periyotlarla dönemlik olarak ünite bakım ihtiyaçları bildirilmektedir.

Bu kapsamda belirtilen ünite bakım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için ihtiyaçlara ait iş yükü ile iş merkezlerinin atölye/ihtisas kodu bazındaki dönemlik iş gücü kapasiteleri ölçüsünde toplam olarak en fazla (optimum) ne kadar ünitenin bakımının yapılabileceğinin belirlenmesine yönelik planlama problemi ortaya konmuştur. Böylece mevcut iş gücü kapasitesine göre, tamirlik ünitelerin optimum planlama miktarını belirleyen tamsayı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Modelin çalıştırılması ile elde edilecek çözüme göre atölye/ihtisas kodu bazında iş merkezlerinin doluluk yüzdelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Uygulama ile, kullanıcı birlik seviyesi ve fabrika seviyesinde bakıma alınan uçaklar üzerinde bulunan ve bakıma alınması gereken uçak hidrolik, pnömatik, fren, iniş takımı, elektrik, yağ, yakıt ve mekanik sistem ünitelerinden, en fazla ne kadarının bakıma alınabileceğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bir başka ifade ile, çalışmanın gerçekleştirileceği müdürlüğün sahip olduğu atölye/ihtisas kodu bazındaki mevcut işgücü kapasitesi dahilinde, bakımı gerçekleştirilebilecek toplam ünite miktarının maksimum yapacak her bir uçak ünitesi (karar değişkeni) sayısının belirlenerek, atölyelerin doluluk oranlarının hesaplanmasını sağlayacak tamsayı programlama modelinin oluşturulmasıdır.

Çalışmanın öncesinde, ünite bakımlarının yapıldığı müdürlükte gerçekleştirilecek dönemlik ünite onarım planlama faaliyetlerinin, her bir tamirlik ünitenin atölyeler (iş merkezleri) bazındaki işgören saatleri ve atölyelerin dönemlik toplam kapasiteleri dikkate alınarak, elle hesaplandığı; aynı anda hem atölyelerin doluluk oranları hem de toplam ve ünite bazındaki planlama miktarlarının tek bir iterasyonda belirlenemediği tespit edilmiştir. Çok fazla matematiksel işlem gerektiren ve sezgisel tahminlerin kullanıldığı çözüm yönteminde elde edilen sonuçlara göre ünite bazında tespit edilen miktarların çok sağlıklı olmadığı ve aynı zamanda atölyelerin doluluk oranlarının %135, %200 gibi gerçekçi olmayan değerler aldığı görülmüştür. Sonuç olarak atölyelerin işgücü kapasiteleri ölçüsünde bakım görmesi gereken ünite miktarlarının belirlenmesine yönelik olarak etkin bir planlamanın gerçekleştirilemediği tespit edilmiştir.

Problemin Tanımlanması

Karar verme problemi, uçak ünite onarım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için, ihtiyaçlara ait iş yükü ile iş merkezlerinin atölye/ihtisas kodu bazındaki dönemlik iş gücü kapasiteleri ölçüsünde tamirlik ünitelerden en fazla (optimum) ne kadarının bakıma alınabileceğinin belirlenmesine yönelik planlama problemidir.

İşletme, savunma sanayine hizmet veren bir kamu işletmesidir ve üretim sonucunda bir pazarlama söz konusu olmadığından kar amacı bulunmamakta, öncelikli olarak uçakların uçuş faaliyetlerinin aksamaması ve buna yönelik ünite bakım miktarlarının tutturulması hedeflenmektedir.

Problemin oluşturulmasında, ünite bakımlarının yapıldığı müdürlükte gerçekleştirilecek bakım faaliyetlerinde ortaya çıkan ana kısıtlayıcı kriter, işgücü (işgören saati) ihtiyacı olmaktadır. Üretim/bakım esnasında, test ve kontrol tezgahlarının kullanımlarında ve bakım esnasında ihtiyaç duyulacak yedek ve ham malzeme ihtiyacında dönemler boyunca bir kısıt söz konusu olmamaktadır.

Ayrıca işletmede, işletmenin planlama müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalardan elde edilen işgücü verimlilik oranının %94.5 oranında olduğu varsayılarak kısıtlayıcı faktör olan atölye işgücü kapasiteleri bu değere göre belirlenmiştir.

Müdürlükte bakım faaliyetleri 9 farklı atölyede 10 farklı ihtisasa sahip personel tarafından gerçekleştirilmektedir. Müdürlük bünyesinde, dönemlik (3 aylık) bakım ihtiyacı bildirilen ünitelere yönelik işgücünü oluşturan ihtisas kodları, ünitelerin bakım göreceği atölye ve ihtisas kodları bazında 3 aylık işgücü kapasiteleri elde edilmiştir.

Tablo 1 Müdürlüğün Atölye ve İhtisas Kodları Bazında İşgücü Kapasiteleri.

Atölye Kodu	Atölye Adı	İhtisas Kodu	İş Gücü Kapasitesi (İşgören Saati)
408	1 Numaralı Hidrolik Atölyesi	FA	5377,2
409	Fren İniş Takımları Atölyesi	FO	5961,6
410	Pnömatik Sistemler Atölyesi	FH	6566
413	Uçak Elektrik Aksesuarları Atölyesi	LA	5952
418	Yağ Aksesuar Atölyesi	FB	4208,4
419	1 Numaralı Yakıt Deneme Atölyesi	FT	5394,8
420	2 Numaralı Yakıt Deneme Atölyesi	FR	7674
424	Tahrik Sistemleri Atölyesi	FJ	4408,4
424	Tahrik Sistemleri Atölyesi (Bilyalı yatak)	FP	152
446	2 Numaralı Hidrolik Atölyesi	FG	3115,2

Problemin Çözümüne Yönelik Tamsayılı Doğrusal Modelin Kurulması

Çalışma kapsamı itibariyle, belirli bir döneme ait müşteri taleplerinin dönemlik kaynak kapasiteleri ölçüsünde, işgücü kullanımını en üst seviyede tutacak şekilde en fazla ne kadarının yapılabilirliğini belirleyen bir modelleme çalışması olup; problem yapısal olarak bir “doğrusal karar modelidir.” Modelin amaç fonksiyonu bakıma alınabilecek tüm aksesuar üniteleri için toplam miktarın en iyilenmesi (maksimizasyonu) olacaktır. Çalışmada kullanılan karar modeli, ünite miktarlarının (karar değişkenlerinin) tamsayı değerler alması gerekliliğinden dolayı “tam sayılı doğrusal programlama” modelidir.

Tam sayılı doğrusal programlama modelinde kullanılan notasyonlar aşağıda verilmiştir:

- x_j : Bakıma alınabilecek j . ünite miktarı (Karar değişkeni)
- a_{ij} : j . ünitenin i . atölyedeki bakımı için gereken işgören saati.
- b_i : i . atölyenin dönemlik toplam iş gücü kapasitesi (işgören saat)
- i : Ünitenin bakım göreceği atölye çeşidi ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)
- j : Bakıma alınacak ünitenin çeşidi ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)
- US_j : j . ünite için üst kuruluş tarafından belirlenmiş bakıma alınabilecek en fazla ünite sayısı. (Üst Sınır)
- AS_j : j . üniteden dönemlik olarak bakıma alınması gereken en az ihtiyaç miktarı (Alt Sınır)

Modelin Amaç Fonksiyonunun Matematiksel Gösterimi

Problemin amacı, bakıma alınacak toplam ünite miktarının maksimum yapılması olduğundan, amaç fonksiyonu (Z_{\max}), aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$Z_{\max} = \sum_{j=1}^n x_j$$

Uçak ihtiyaç miktarına göre 2010 yılının 2. dönemi için (Nisan-Mayıs ve Haziran ayları olmak üzere 3 aylık) teklif edilen bakıma alınacak uçak ünite sayılarına fabrikada bakımda bulunan uçaklardaki üniteler (diğer müdürlük ve atölyelerden gelen) dahil edilmiştir ve dönem planlamasındaki karar değişkeni sayısı (bakıma alınacak ünite çeşidi) 679 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla

$n = 679$ olup,

x_j , $j = 1, 2, 3, \dots, 679$ olarak ifade edilebilir.

Modelin Kısıt Fonksiyonlarının Matematiksel Gösterimi

a. Atölyelerin işgücü kapasitelerinin aşamayacağını temsil eden kısıtlayıcı fonksiyonlar aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

$$i = 1 \text{ için} \quad \sum_{j=1}^n a_{1j} x_j \leq b_1 \quad (j=1,2,3,\dots, n)$$

$$i = 2 \text{ için} \quad \sum_{j=1}^n a_{2j} x_j \leq b_2 \quad (j=1,2,3,\dots, n)$$

$$i = 3 \text{ için} \quad \sum_{j=1}^n a_{3j} x_j \leq b_3 \quad (j=1,2,3,\dots, n)$$

$$\begin{array}{c}
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot
 \end{array}$$

$$i = m \text{ için } \sum_{j=1}^n a_{mj} x_j \leq b_m \quad (j=1,2,3,\dots,n) ;$$

Ünitelerin bakım göreceği müdürlük bünyesindeki ihtisas koduna göre atölye sayısı, $m = 10$ dur.

b. Bakım görecek ünite sayısının alt ve üst sınırlar arasında bulunmasını gerektiren sınırlar ise,

$$AS_j \leq x_j \leq US_j \text{ olarak gösterilecektir.}$$

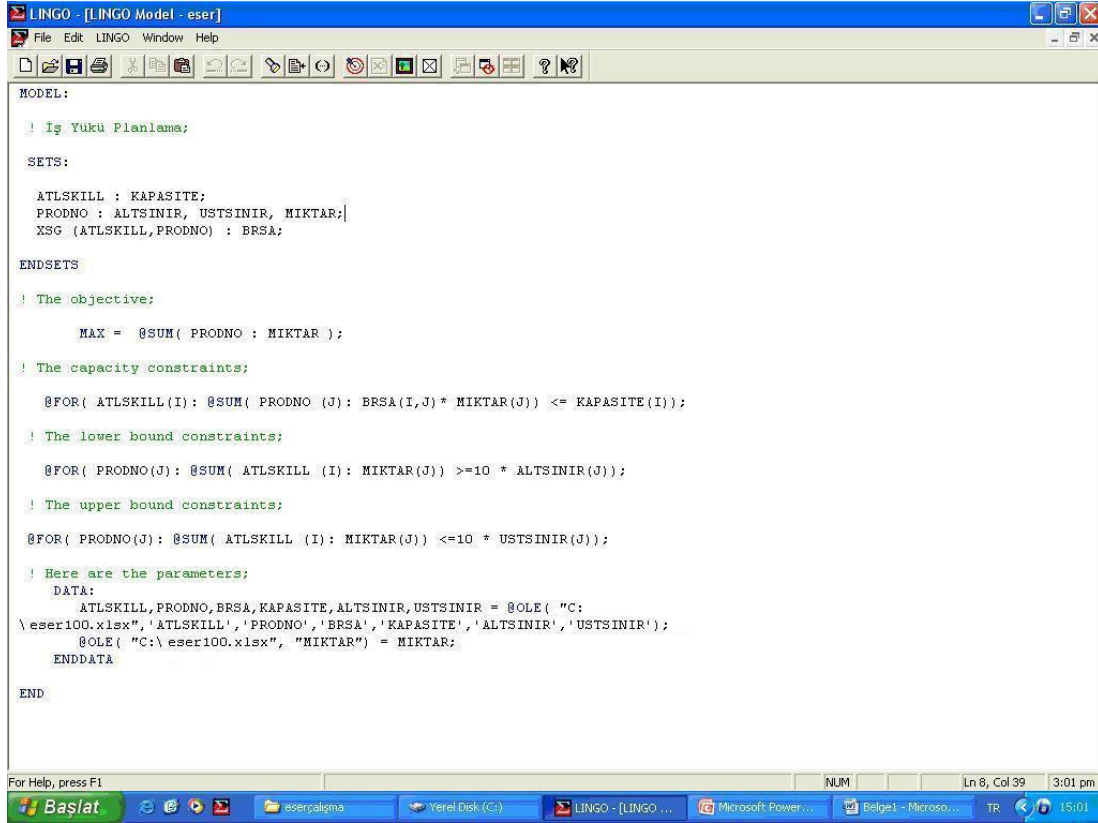
Bakım görecek ünite miktarı, AS_i ve US_i 'nin değerleri arasındaki kalacağından ve bu değerler negatif olamayacağından model, ikinci bir pozitif kısıtlama fonksiyonunu gerektirmemektedir.

Modelin LINGO Paket Programında Çözümü

Üretim döneminde değerlendirmeye alınacak 679 çeşit ünitenin her biri, kendisine ait iş emri adlarıyla temsil edilmektedir.

Karar verme problemlerinin çözümleri için birçok bilgisayar programı (LINGO, CPLEX, MPL, LINDO v.b.) geliştirilmiş olup, çalışmada, optimum ünite miktarının elde edilebilmesine yönelik oluşturulan doğrusal programlama modelinin çözümünde LINGO 8.0. paket programı kullanılmıştır.

Bu amaçla, ünitelerin bakımı için atölye ihtisas bazında gereken işgören saatleri, atölye kapasiteleri ve alt-üst sınırlardan oluşturulan veriler, Excel tabloları haline getirilerek, formüller ad yönetici ile ihtisas bazında atölye kodu (ATL&SKILL), karar değişkeni-ünite tipi (PRODNO), alt ve üst sınırlar (ALTSINIR, USTSINIR), bakım yapılacak optimum ünite miktarı (MIKTAR), her ünite bakım iş planındaki birim işgören saatleri (BRSA) ve atölye kapasiteleri (KAPASITE) parametreleri tanımlanmıştır. Oluşturulan model, excel dosyası verilerininin transfer edildiği LINGO programında çalıştırılmıştır. Oluşturulan modelin ekran görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir:



```

LINGO - [LINGO Model - eser]
File Edit LINGO Window Help
MODEL:
! İş Yüklü Planlama;
SETS:
ATLSKILL : KAPASITE;
PRODNNO : ALTSINIR, USTSINIR, MIKTAR;
XSG (ATLSKILL,PRODNNO) : BRSÄ;
ENDSETS
! The objective;
MAX = @SUM( PRODNNO : MIKTAR );
! The capacity constraints;
@FOR( ATLSKILL (I) : @SUM( PRODNNO (J) : BRSÄ(I,J) * MIKTAR(J)) <= KAPASITE (I));
! The lower bound constraints;
@FOR( PRODNNO(J) : @SUM( ATLSKILL (I) : MIKTAR(J)) >= 10 * ALTSINIR (J));
! The upper bound constraints;
@FOR( PRODNNO(J) : @SUM( ATLSKILL (I) : MIKTAR(J)) <= 10 * USTSINIR (J));
! Here are the parameters;
DATA:
ATLSKILL,PRODNNO,BRSÄ,KAPASITE,ALTSINIR,USTSINIR = @OLE( "C:
\eser100.xlsx", 'ATLSKILL', 'PRODNNO', 'BRSÄ', 'KAPASITE', 'ALTSINIR', 'USTSINIR' );
@OLE( "C:\eser100.xlsx", "MIKTAR") = MIKTAR;
ENDDATA
END

```

Şekil 2: Oluşturulan Modelin LINGO Programındaki Ekran Görüntüsü

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma ile modeldeki belirli değişkenlerin alt ve üst sınırları belirlenerek yukarıda açıklanan notasyona göre 679 karar değişkeni ve 10 kısıt satırından oluşturulan model, LINGO programında çalıştırılmıştır. Modelin çalıştırılması sonucunda, LINGO programından alınan çözüm çıktısına göre;

Modelin 1226 adet iterasyon kullanımı ile çözümü sonucunda karar değişkenini oluşturan 679 çeşit üniteden, toplamda “6466” adet bakıma alınabileceği belirlenmiş olup, söz konusu üretim döneminde, ünite tipi bazında bakıma alınabilecek optimum ünite sayısını elde edilmiştir verilmiştir.

Bakım planlaması yapılan 679 karar değişkeninden, yan atölyelerden gelen 51 adedinin Bakım-onarım işgücü açısından bir kısıt oluşturmayan iş merkezlerine giden üniteler olduğu (malzeme sevk, teslim, sayım, kontrol, temizleme, NDI, kimyasal temizleme gibi), 628 adedinin ise onarım işgücü kapasitesini etkilediği belirlenmiştir.

Birim plan ünite bazında ortaya çıkan detaylı işgücü gereksinimi ve iş gücü ihtiyacına yönelik özet sonuçlar, Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Modelin Çözümü Sonucunda Elde Edilen Atölye/İhtisas Bazındaki İş Gücü İhtiyacı ve Doluluk Oranları.

Atölye Kodu	İhtisas Kodu	Revizyon İş Gücü Kapasitesi	Modelin Çözümü Sonrasında Toplam İşgücü İhtiyacı (Optimum MiktarxBirim saat)	İşgücü Doluluk Oranı(%)
408	FA	5377,2	5203,574	96,77
409	FO	5961,6	5442,166	91,29
410	FH	6566	6565,347	99,99
413	LA	5952	5952,872	100,01
418	FB	4208,4	3530,22	83,89
419	FT	5394,8	5393,284	99,97
420	FR	7674	7070,325	92,13
424	FJ	4408,4	4410,422	100,05
424	FP	152	152,301	100,20
446	FG	3115,2	3116,677	100,05

Tablo 2'in son sütunundan anlaşılacağı gibi modelin, işgücü kapasitesinin verimli bir şekilde kullanımını gerçekleştirecek şekilde en uygun miktarda ünite bakımı planlaması gerçekleştirdiği ve atölye işgücü doluluk oranlarının anlamlı değerler aldığı görülmekte, etkin bir planlamanın gerçekleştirildiği göze çarpmaktadır. 418 FB atölyesindeki doluluk oranının diğer atölyelerden düşük olmasının sebebinin ise, bakım amacıyla belirtilen atölyeye giden yağ sistemlerine ait pompa, depo, filtre benzeri bakıma alınacak ünite miktar planlamalarının üst sınırlarda gerçekleştirilmesine rağmen, söz konusu dönemde, belirtilen ünitelerinin bakım ihtiyaç miktarlarının, diğer ünitelere göre daha az olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Müdürlükte, önceden gerçekleştirilen dönemlik bakım planlama faaliyetlerinde, ünite miktarları, her bir tamirlik ünitenin atölye bazındaki birim plan saatleri ile atölyelerin dönemlik toplam kapasiteleri dikkate alınarak sezgisel tahminler ve uzun zaman gerektiren manuel hesaplamalarla elde edilirken, doğrusal programlama modelinin çözdürüldüğü LINGO programı bu sonucu çok kısa bir sürede gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda, manuel çözüm yönteminde elde edilen sonuçların doğruluk seviyesinin düşük olması ve iş merkezlerinin dolulukları oranları %135, %200 gibi gerçekçi olmayan değerler almasına rağmen, tamsayı programlama modeli kurma çalışması sonrasında ünite miktarları ve atölye doluluk oranlarının anlamlı değerler aldığı görülmüştür.

Oluşturulan tamsayılı doğrusal programlama modeli, işgücünün verimli olarak kullanımı sağlayacak şekilde etkin bir ünite bakım planlaması ve optimum üretim miktarı ortaya koymuştur.

Uçak ünitelerinin bakım planlama faaliyetlerinde kullanılan tamsayılı doğrusal programlama modelinde, işletmenin diğer bazı bölümleri, özellikle motor revizyon planlamalarında da kullanılacak şekilde uyarlama çalışmalarının yapılabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynakça

- Bakır, M. A., Altınkaynak, B. (2003). Tamsayılı Programlama Teori Modeller Ve Algoritmalar. 1. Basım, Ankara: Nobel Yayınları, ss.147-151.
- Bazargan, M. (2007). A Linear Programming Approach For Aircraft Boarding Strategy. *European Journal Of Operational Research*, 183, pp.394-411.
- Esin, A. (2003). Yöneylem Araştırmasında Yararlanılan Karar Yöntemleri. 4. Baskı, Ankara: Gazi Kitabevi, ss. 24-28.
- Hahn R.A. ve Newman A. M. (2008). Scheduling United States Coast Guard Helicopter Deployment and Maintenance At Clearwater Air Station, Florida. *Computers&Operations Research*, 35, ss.1829-1843.
- Hillier, S. Frederick and Lieberman G. J. (1989). Introduction to Operations Research. Fourth Edition, McGraw-Hill Book Co, Singapore, ss.391-402.
- Kara, İ. (2000). Doğrusal Programlama. 2.Baskı, Eskişehir: Bilim Teknik Yayınevi, ss.1-2.
- Kelly, A. (2006). Strategic Maintenance Planning. First Edition, Elsevier's Science&Technology Rights Department, Oxford, UK, pp. 7-8; 68-81.
- Koepke Corbin G., Armacost A. P., Barnhart C. ve Kolitz S. E. (2008). An Integer Programming Approach To Support The US Air Force's Air Mobility Network. *Computers&Operations Research*, 35, ss.1771-1788.
- Köksal, M. (2007). Bakım Planlaması. Birinci Baskı, Ankara:Seçkin Yayıncılık, ss.13-81.
- Luenberger, D. G. (2003). Linear and Nonlinear Programming. Second Edition, Kluwe Academic Publishers, Boston, ss.11.
- Mercan, E. (1999). Havayolu ve Havacılık İşletmelerinde Uçak Bakım Organizasyonu. Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, ss. 19-24.
- Öztürk, A. Yöneylem Araştırması, Genişletilmiş 5.Basım: Genişletilmiş 9.Basım, Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları, 1997: 2004, ss. 6, 167-176.
- Palmer, Doc. Maintenance Planning And Scheduling Handbook, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1999, ss. 1.28, 1.40, 2.1-2.33, 3.1-3.21.
- Rothenberg, R. I. (1979). Linear Programming. Elsevier Science Publishing Co., Inc. Newyork, ss.1.
- Sarac, A., Batta, R. ve Rump, C. M. (2006). A Branch-and-Price Approach for Operational Aircraft Maintenance Routing. *European Journal of Operational Research*, 175, ss.1850-1869.
- Siemens, N., Marting, C.H. ve Greenwood, F. (1973). Operations Research, A Division of The Macmillan Company. Free Press, New York, ss.3-5.
- Sriram, C. ve Haghani, A. (2003). An Optimization Model for Aircraft Maintenance Scheduling and Re-assignment. *Transportation Research*, Part A, ss.29-48.
- Taha, H., A. (2000). Yöneylem Araştırması. İstanbul: Literatür Yayınları:43, Çev: Ş. Alp Baray ve Şakir Esnaf, ss.361-362.
- Tekin, M. (1996). Üretim Yönetimi. Geliştirilmiş ve Değiştirilmiş 3.Basım, Cilt 1, Konya: Arı Ofset, ss. 248-251.
- Wolsey, L. A. (1998). Integer Programming. John Wiley & Sons, Inc. New York, ss.3.
- <http://www.ce.yildiz.edu.tr/en/mygetfile.php?id=1032> (12 Eylül 2010)
- Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi (MEGEP), Milli Eğitim Bakanlığı,http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/modul_pdf/525MT0040.pdf (15 Ekim 2010)
- <http://slonder.tripod.com/bakim.html> (22 Ekim 2010)
- http://ormstomorrow.informs.org/archive/fall04/USAF_Article1.pdf (12 Nisan 2010)