

T.C.  
KARA HARP OKULU  
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

K.K.K.LİĞİNDAKİ İSTİHKÂM İŞ MAKİNELERİNİN FABRİKA  
SEVİYESİ BAKIM VE TAMİR ( FASBAT) MERKEZLERİNİN  
MATEMATİKSEL MODELLER KULLANILARAK TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan  
İs. Yzb. Tunay POLAT

Tez Danışmanı  
Dr. P. Kd. Yzb. Yekta SOYLU

ANKARA - 2007

Yazarın Notu: Bu tezde belirtilen görüş ve yorumlar yazarına aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz.

Author's Note: The views and comments expressed in this thesis are the author's and do not necessarily reflect those of Turkish Armed Forces or other government agencies.

İmza(Signature)

## TEZ TANITIM FORMU

**TEZİN TARİHİ:** 19.07.2007

**TEZİN TİPİ:** Yüksek lisans tezi

**TEZİN BAŞLIĞI:** K.K.K.ıgındaki İstihkâm İş Makinelerinin Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir ( FASBAT) Merkezlerinin Matematiksel Modeller Kullanılarak Tespiti

**TEZİN YAPILDIĞI BİRİM:** Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Savunma Yönetimi Ana Bilim Dalı

**SPONSOR KURULUŞ:** Yoktur.

**DAĞITIM LİSTESİ:** Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü "Tez Hazırlama, Onay, Dağıtım ve Muhafaza Esasları Kılavuzu" nda belirtilen yerlere.

**TEZİN ÖZETİ:** Burada, tez konusu olan FASBAT merkezlerinin yerlerinin tespitini yurdumuzdaki İstihkâm birlikleri, envanterlerindeki iş makinesi miktarları temel alınarak kurulacak olan en uygun bakım merkezlerinin miktarlarını ve yerlerini matematiksel modeller yardımıyla tespit edilecektir.

**ANAHTAR KELİMELER:** FASBAT, Ana Bakım Merkezleri

**SAYFA SAYISI:** 93

**GİZLİLİK DERECESESİ:** Tasnif dışı

T.C.  
KARA HARP OKULU  
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI

K.K.K.LİĞİNDAKİ İSTİHKÂM İŞ MAKİNELERİNİN FABRİKA  
SEVİYESİ BAKIM VE TAMİR ( FASBAT) MERKEZLERİNİN  
MATEMATİKSEL MODELLER KULLANILARAK TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan  
İs. Yzb. Tunay POLAT

Tez Danışmanı  
Dr. P. Kd. Yzb. Yekta SOYLU

ANKARA - 2007

**KARA HARP OKULU**

**SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

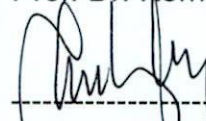
İs. Yzb. Tunay POLAT'ın K.K.K.ıgındaki İstihkâm İş Makinelerinin Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir ( FASBAT) Merkezlerinin Matematiksel Modeller Kullanılarak Tespiti konulu tez çalışması, jürimiz tarafından HAREKÂT ARAŞTIRMASI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan



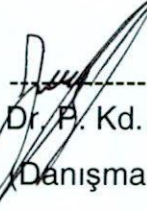
Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU

Üye



Yrd. Doç. Dr. Türkay KISA

Üye



Dr. P. Kd. Yzb. Yekta SOYLU  
(Danışman)

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

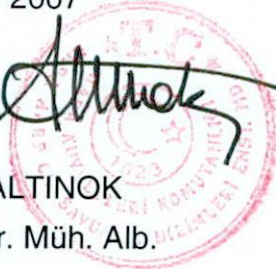
19 /07/ 2007



Taner ALTINOK

Prof. Dr. Müh. Alb.

Enstitü Müdürü



## TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans çalıŐmasını hazırlanmasında ilk aŐamasından sonuna kadar bana her türlü desteğini esirgemeyen tez danıŐmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Y. Müh. Alb. Soner BİNAY'a, tezimin bitirme aşamasında tez danıŐmanım olarak emeği geçen Dr. P. Kd. Yzb. Yekta SOYLU ve tüm enstitü personeline teŐekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu çalışmadaki katkılarından dolayı Alb. O.Nadir UÇAR'a, Yb. Fermani TOSUN'a, Bnb. Bülent ÇETİNKAYA'ya, BvŐ. Ali Baki AğLAYAN'a, BvŐ. Ali AKTAKKA'ya, BvŐ. Ahmet ÖZTÜRK'e, BvŐ. Selinay POLAT'a teşekkür ederim.

T.C.  
KARA HARP OKULU  
SAVUNMA BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
HAREKÂT ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI  
ANKARA 2007

**K.K.K.LIĞINDAKİ İSTİHKÂM İŞ MAKİNELERİNİN FABRİKA SEVİYESİ  
BAKIM VE TAMİR ( FASBAT) MERKEZLERİNİN MATEMATİKSEL  
MODELLER KULLANILARAK TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İs. Yzb. Tunay POLAT**

**ÖZET**

Bu çalışmada K.K.K.lığındaki İstihkâm iş makinelerinin Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamirini yapacak bakım merkezlerinin optimal yerlerinin belirlenmesi için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı tek merkezde Afyon'da icra edilen FASBAT uygulamalarını barışta ve savaşta en düşük maliyetle, maliyet etkin şekilde yapacak alternatif tesislerin optimal yerlerini tespit etmektir.

Modellerin oluşturulmasında tesis yeri seçimi problemleri esas alınmış ve kesikli optimizasyon modellerinden p-ortanca (medyan) kullanılmıştır. Tesis yerleşimi problemi sabit ve mobil tesis olmak üzere iki boyutta ele alınmıştır. Sabit tesis modelinde kurulacak tesisler; merkezlere olan yakınlıkları, sabit ve değişken maliyetler ve birliklerdeki mevcut iş makine cins ve miktarları dikkate alınarak modeller kurulmuştur. Mobil tesis modelinde ise sabit tesis modelindeki esaslar korunarak farklı olarak iş makine cins ve miktarları dikkate alınmamıştır.

**Anahtar Kelimeler** : Tesis Yeri Seçimi, FASBAT, Bakım, İş makinesi

**Tez Yöneticisi** : Dr. P. Kd. Yzb. Yekta SOYLU

**Sayfa Sayısı** : 93

T.C.  
TURKISH MILITARY ACADEMY  
DEFENSE SCIENCES INSTITUTE  
DEPARTMENT OF OPERATIONS RESEARCH  
ANKARA 2007

DETERMINATION OF LOCATIONS OF DEPOT LEVEL  
MAINTENANCE CENTERS FOR EQUIPMENTS IN THE INVENTORIES  
OF ENGINEER TROOPS IN TURKISH LAND FORCES COMMAND  
WITH USING MATHEMATICAL MODELS

MASTER THESIS

İs.Yzb. Tunay POLAT

ABSTRACT

In this thesis, mathematical models will be constructed to determine the optimal locations of depot level maintenance centers for equipments in the inventories of Engineer troops in Turkish Land Forces Command. The purpose of this work is to find the optimal locations of warehouses so to perform the maintenance of equipments at lower costs both for the peace and war periods.

In the process of constructing the models, warehouse location problems are considered as a basis, and various models and techniques are examined for this purpose. Especially one of the discrete optimizations models; p-center problems are examined to locate the facilities all over country. Warehouse location problem is handled in two different ways as fixed and mobile facilities in this thesis.

**Keywords** : Depot Level Maintenance, Overhaul, Warehouse, Equipment

**Advisor** : Dr. P. Kd. Yzb. Yekta SOYLU

**Number of Pages** : 93

## İÇİNDEKİLER

Teşekkür.....	i
Özet.....	ii
Abstract.....	iii
İçindekiler.....	iv
Tablolar Listesi.....	vi
Şekiller Listesi.....	vii
Kısaltmalar Listesi.....	viii
Ön Söz.....	ix
Giriş.....	x

## BİRİNCİ BÖLÜM

### FABRİKA SEVİYESİ BAKIM VE TAMİR

1. FABRİKA SEVİYESİ BAKIM VE TAMİR.....	1
a. Fabrika Seviyesi Bakım Tamir Tanımı.....	2
b. Fabrika Seviyesi Bakım Gereksinimleri.....	3
c. Kara Kuvvetleri Bakım Sistemi.....	4
ç. Ana Bakım Merkezi Seçimi Esasları.....	8
2. AĞIR İŞ MAKİNELERİNİN FABRİKA SEVİYESİ BAKIM VE TAMİRİ.....	11
a. Dünyada İş Makinası Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri.....	11
b. Ordularda İş Makinası Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri.....	13
c. K.K.K.İğında İş Makinası Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri.....	23

## İKİNCİ BÖLÜM

### TESİS YERİ SEÇİMİ

1. LİTERATÜR.....	26
2. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ.....	30
a. Yer Seçimi Problemlerin Tanımı.....	33
b. Yer Seçimi Kararlarının Uzayı.....	34
c. Problem Tipleri.....	35
(1). P-Ortanca Problemleri.....	35
(2). P-Merkez Problemleri.....	37
(3). Küme Kaplama Problemleri.....	39
(4). Maksimum Kaplama Problemleri.....	40
(5). Kapasite Kısıtlı Tesis Yeri Seçimi Problemleri .....	42
(6). Kapasite Kısıtsız Tesis Yeri Seçimi Problemleri.....	43
(7). Çok Aşamalı Tesis Yeri Seçimi Problemleri.....	45

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### İŞ MAKİNELERİNİN FASBAT MERKEZLERİNİN BELİRLENMESİ

1. MODEL VARSAYIMLARI .....	49
2. ALTERNATİF SENARYOLAR ÜZERİNDE UYGULAMALAR.....	52
a. Sabit Tesis İle Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir.....	52
b. Sabit Tesis Modeli İle İlgili Alternatif Senaryolar ve Çözümleri .....	54
c. Mobil Tesis İle Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir .....	68
ç. Mobil Tesis Modeli İle İlgili Alternatif Senaryolar ve Çözümleri.....	70
3. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
a. Sonuç.....	73
b. Öneriler.....	74
Kaynakça.....	76

## TABLolar LİSTESİ

### SAYFA

<b>Tablo-1</b> : Ülkelerin Askeri Harcamalar Tablosu (2003-2005).....	15
<b>Tablo-2</b> : A.B.D. Askeri Harcamalar Tablosu (2004).....	16
<b>Tablo-3</b> : Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir Harcamaları.....	17
<b>Tablo-4</b> : Almanya Bakım Sistemi Periyodik Muayene ve Kontroller.....	22
<b>Tablo-5</b> : Üç Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	56
<b>Tablo-6</b> : Dört Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	57
<b>Tablo-7</b> : Beş Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	58
<b>Tablo-8</b> : Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	59
<b>Tablo-9</b> : Üç Yıl Çalışan Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	60
<b>Tablo-10</b> : Dört Yıl Çalışan Üç Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	61
<b>Tablo-11</b> : Dört Yıl Çalışan Dört Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	62
<b>Tablo-12</b> : Dört Yıl Çalışan Beş Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	63
<b>Tablo-13</b> : Dört Yıl Çalışan Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	64
<b>Tablo-14</b> : Beş Yıl Çalışan Üç Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	65
<b>Tablo-15</b> : Beş Yıl Çalışan Dört Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	66
<b>Tablo-16</b> : Beş Yıl Çalışan Beş Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	67
<b>Tablo-17</b> : Beş Yıl Çalışan Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm.....	68

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil-1:</b> Yeni Bakım Sistemi.....	5
<b>Şekil-2:</b> Almanya Sistem Bakım Merkezleri.....	21
<b>Şekil-3:</b> Dingil Yükleri Analizi Formu.....	51

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>DDMC</b>	: Defense Depot Maintenance Council (Savunma Bakanlığı Fabrika Seviyesi Bakım Kurulu)
<b>D/DS. TK.</b>	: Direkt Destek Takımı
<b>DOD</b>	: Department of Defense (Savunma Bakanlığı)
<b>FASBAT</b>	: Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir
<b>FOC</b>	: Full Operational Capability (Tam Harekat Kabiliyeti)
<b>GNH</b>	: Gayri Nizami Harp
<b>IOC</b>	: Initial Operational Capability (İlk Harekat Kabiliyeti)
<b>K.K.K.İği</b>	: Kara Kuvvetleri Komutanlığı
<b>KGM</b>	: Karayolları Genel Müdürlüğü
<b>SBM</b>	: Sistem Bakım Merkezi
<b>USC</b>	: United States Congress (Birleşik Devletler Kongresi)
<b>YTL</b>	: Yeni Türk Lirası
<b>ZMA</b>	: Zırhlı Muharebe Aracı
<b>ZPT</b>	: Zırhlı Personel Taşıyıcı

## ÖN SÖZ

Tüm dünyada yatay ve dikey inşaatla ilgili faaliyet gösteren kamu sektörü ve özel sektör kuruluşları bulunmaktadır. Bu inşaat faaliyetlerinde kullanılmakta olan farklı cins ve özellikteki iş makineleri yapılması planlanan işleri hızlandırmakta ve kısa sürede bu faaliyetleri tamamlamaya yardımcı olmaktadır. Yüksek maliyetlerle alınarak oldukça ağır işlerde kullanılan bu iş makineleri zamanla çabuk bir şekilde yıpranmakta ve gerekli bakım ve kontrolleri yapılmadığı takdirde ya yüksek maliyetli çok büyük arızalara sebep olmakta ya da ekonomik ömrünü bile tamamlamadan kullanılamaz hale gelmektedirler.

Kâr amacı olmayan kamu sektörü tarafından görevleri sadece ülke savunması olan silahlı kuvvetler tarafından kullanılan her türlü malzemenin arıza sebebiyle kısa bir süre için bile kullanılmamasının telafisi yoktur. Silahlı kuvvetlerde amaç; görevin gerektirdiği faaliyetleri yerine getirmek olduğundan, elde kullanılan herhangi bir malzemenin hizmet dışı ve kullanılamaz halde olması kabul edilemez bir durumdur. Bu sebeple gelirlerinin önemli bir bölümünü ülke savunmasına ve askeri faaliyetlere harcayan ve uluslararası ve hatta kıtalar arası faaliyet gösteren ülkeler artık çağın gelişmeleri çerçevesinde tüm faaliyetlerinde rasyonelliği ve optimizasyonu ön plana çıkararak en az maliyetle, en az iş gücüyle, en fazla faydayı elde etme yollarını aramaya devam etmektedirler.

Bu çalışmada K.K.K.lığına bağlı İstihkam birliklerindeki belirli cins iş makinelerinin belirli aralıklarla Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir (FASBAT) faaliyetlerini gerçekleştirecek tesislerin optimal yerlerinin matematiksel modeller kullanılarak tespiti amaçlanmaktadır. Belli periyotlarla bu çok uzun ve kapsamlı bakım faaliyeti için karayoluyla toplam ulaştırma maliyetleri minimize edecek şekilde birliklerin iş makinelerini bakım yaptırmaları hedeflenmiştir.

## GİRİŞ

Barişta ve savaşta alacağı görevler ve kullandığı silah, araç, gereç ve malzeme bakımından diğer sınıflara nazaran farklılıklar gösteren İstihkâm sınıfı ve birlikleri envanterinde beka yeteneklerini artırma kapsamında farklı tiplerde iş makineleri bulunmaktadır. Hacmi büyük ve ağırlığı fazla olan bu iş makinelerinin bakım ve onarımlarının yapılması maksadıyla mevcut karayolu şebekesiyle ũlkedeki yegâne Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir merkezi olan Afyon'a taşınmaları veya yerinde bakımlarının yapılması söz konusudur.

Bu çalışmada problem olarak ele alınan husus; bariş şartlarında planlamalara uygun olarak belli periyotlarla bakıma alınan bu iş makinelerinin tek merkezde bakımlarının yapılmasının etkin olup olmadığıdır. Çalışmanın amacı hali hazırda tek merkezde icra edilen; zaman bakımından oldukça uzun süre alan ve işçilik bakımından kapsamlı bir çalışmayı gerektiren Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamirinin barişta ve savaşta en düşük maliyetle, maliyet etkin şekilde yapacak alternatif tesislerin optimal yerlerini tespit etmektir. Tek merkezde Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir (FASBAT) uygulaması yerine ũlkemizin farklı yerlerine kurulacak merkezlerde yapılacak bakım uygulamalarının maliyetleri araştırılarak en iyi çözümün bulunmasını sağlayacak modeller kurulacaktır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamirin tanımı yapılarak, gerek sivil gerekse askeri sektörler olmak üzere dünyada FASBAT uygulanma prensipleri üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde literatürdeki tesis yeri seçimi problemi ile ilgili çalışmalar incelenerek daha sonraki bölümde kurulacak olan modellere ışık tutması bakımından problem tipleri üzerinde çalışılmıştır. Son bölümde ise teze konu olan problemi çözmede esas olan model varsayımları açıklanmış, sabit tesis ve mobil tesis alternatiflerine binaen modeller kurularak optimal tesis yerleri önerilerinde bulunulmuştur.

## BİRİNCİ BÖLÜM

### FABRİKA SEVİYESİ BAKIM VE TAMİR (FASBAT)

#### 1. FABRİKA SEVİYESİ BAKIM VE TAMİR

Çağdaş gelişmeleri dikkate alarak daha küçük, daha modern ve daha hareketli bir yapılanmayı hedef alan Türk Kara Kuvvetleri; mevcut bakım sistemini de tehditteki değişimler, teknolojik gelişmeler, değişen konseptler, Türkiye'nin imkânları ve kuvvet yapısındaki gelişmeler doğrultusunda inceleyerek, günümüz muharebe sahası koşullarına uygun, çağdaş ve modern bir yapıya kavuşturmayı hedeflemektedir.

Hava Kuvvetlerinde FASBAT, Deniz Kuvvetlerinde ise "Overhaul" denilen bir bakım faaliyeti yürütülmektedir. Kara Kuvvetlerinde ise FASBAT adı altında yapılan bu bakımlarda, belirli periyotlarda ana sistemler belirli bakım merkezlerine alınarak komple ve tali malzeme seviyesinde sökülerek arızalı ve yıpranmış malzemelerin değiştirilmesi veya yenileştirilmesi, faal olan malzemelerin kontrolünün yapılması, araç ve silahın bütün parçalarının temizlenerek bakımının yapılıp yerine takılması faaliyetleri yapılmaktadır.

Bunun sonucunda da; mevcut sistemlerin büyük bölümü böyle kapsamlı bir bakıma tabi tutulmadan envanterden çıkarılmakta veya çok daha büyük problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple bakım merkezleri bölgelerindeki Ordu / Kolordularda bulunan araç, silah ve sistemlere belirlenen periyotlarla bakıma alacak ve sistemlerin daha uzun süreli olarak envanterde kalması, daha aşağı seviyede bulunan bakım kademelerinin yükünün azaltılması, bu kapsamda onarım ihtiyacının azaltılarak önemli miktarda işletme-idame giderlerinden tasarruf sağlanması hedeflenmektedir.

## a. Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir Tanımı

Fabrika seviyesi bakım ve tamir; sistemlerin üreticisi tarafından hazırlanan bakım katalogları ve ilgili broşürlerde belirtilen kriterlere göre, gerekli test, ölçüm ve muayenelerin yapılması, komple ve tali komple malzemelerin sökümü, arızalı ve yıpranmış malzemelerin yenisi ile değiştirilmesi, faal olan malzemelerin kontrolü, tüm parçaların temizlenmesi, yağlanması, bakımı ve fonksiyon testlerinin yapılmasını içeren uygulamalardır.

Fabrika seviyesi bakım ve tamir, envanterdeki mevcut ana muharebe sistemleri, silahlar, araçların ve iş makinelerinin belirli periyotlarla gerekli test, ölçüm ve muayenesi sonunda; söz konusu araç, silah ve iş makinelerinin üretici firmaların hazırladığı teknik kitapçık ve broşürlerindeki kriterler ışığında, belirtilen seviyelerde sökümü, arızalı ve yıpranmış malzemelerin yenisi ile değiştirilmesi veya yenileştirilmesi, faal olan malzemelerin kontrolü, tüm parçaların temizlenmesi, yağlanması, bakımı ve fonksiyon testlerinin yapılması, son muayene neticesinde aracın hazır hale getirilmesi işlemlerinin bütünüdür.

Ağır iş makinelerine FASBAT uygulaması ilk muayene, ara muayene ve son muayene olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk muayene aşamasında FASBAT için Bakım Merkezi komutanlıklarına tahliye edilen iş makinelerinin ilgili atölyesinde FASBAT faaliyetine alınmadan evvel ana sistemlerinin kontrolü, mevcut arızalarının elle, gözle, fonksiyonla veya ölçüm ile tespiti ve söküm seviyesinin tayini maksadıyla gerekli kontroller yapılmaktadır. Ayrıca bu aşamada iş makinelerinin atölyeye ilk girişi esnasında yol-yük ve performans testleri de değerlendirilmeye tabi tutulmaktadır. Aynı zamanda iş makinelerinin birliğinde tanzim edilen "Durum Değerlendirme Formu"nda belirtilen hususların doğruluğu da teyit edilmektedir.

Ara muayene aşaması; fabrika seviyesi bakım ve tamir için Bakım Merkezi Komutanlıklarına tahliye edilen iş makinelerinin ilk muayenesi sonrasında atölyede yapılacak işlemleri belirlendiği, bu işlemlerin ana ve yardımcı atölyelerdeki standart sürelerinin hesaplandığı ve ara muayenelerinin gerçekleştirildiği bir aşamadır.

Son muayene aşaması ise fabrika seviyesi bakım ve tamiri tamamlanmış iş makinelerinin birliğine teslim edilmeden önce, atölye bakımı sonrası yapılan kontrolleri kapsamaktadır. Fabrika seviyesi bakım ve tamir esnasında yapılan muayenelerde görsel, fonksiyonel ve ölçü denetimi olmak üzere üç çeşit denetim uygulanmaktadır.

Fabrika seviyesi bakım ve tamir aşamalarında kullanılan kontrol formları aynı zamanda parçaların kontrol yöntemlerini de ihtiva etmektedir. Muayene sürecinde incelenen her parça kontrol formlarındaki standartları karşılamaktaysa kullanılmaya devam etme kararı alınmakta, standartlara uygun değil ise değiştirilme kararını müteakip değiştirilme yoluna gidilmektedir.

Yapılan bu kontrollerden birincisi olan görsel denetim esnasında; kullanılabilir bir parça veya standart bir parça ile bakım merkezine getirilen iş makinesi üzerindeki mevcut parça karşılaştırılarak gerçekleştirilmektedir. Görsel denetim neticesinde gözle görülür bir kusuru olmayan parçalar veya sistemler fonksiyonel denetime tabi tutulurlar.

Yapılan testler sonucunda kendisinden beklenen işlevleri yerine getiren parçalar fonksiyonel denetimden geçmiş sayılırlar. Son olarak; ölçü denetimi yapılan parçalar üretici firmalar tarafından hazırlanan teknik kitapçıklardaki belirtilen limitler dâhilinde ise fabrika seviyesi bakım ve tamirinin bir sonra ki aşamasına devam edilir.

## **b. Fabrika Seviyesi Bakım Gereksinimleri**

Gelişmiş ülkelerin ordularında 1952 yılından beri ana muharebe araç ve silahlarına fabrika seviyesi bakım ve tamirini periyodik olarak uygulanmaktadır. Her bir sistem envanterde kaldığı süre içerisinde belirli aralıklarla incelenmekte, inceleme sonucunda tadilat veya modernizasyon gerekiyor ise fabrika seviyesi bakım ve tamir ile modernizasyonun faaliyetleri birlikte yapılmaktadır.

Bu maksatla; ordu depoları içerisinde fabrika bakım tesisleri kurulmuş, bölgedeki ana üretici firmalar ile işbirliğine gidilerek uzmanlaşmış, ilgili sivil

kuruluşlara fabrika seviyesi bakım ve tamir' deki bir kısım işler verilerek bölgenin ekonomik kalkınmasına katkıda bulunulması ve işsizliğe engel olunması amaçlanmıştır.

Fabrika seviyesi bakım ve tamir uygulamasının esası; Fabrika Seviyesi Bakım Gereksinimlerinin (Depot Maintenance Work Requirement (DMWR)) içerdiği yazılı standartlar kapsamında sökülen her bir parça veya komple parçanın asgari performansını ya da standardını belirlemektir. Ayrıca fabrika seviyesi bakım gereksinimleri bu faaliyeti uygulamakla sorumlu bakım merkezleri ve kademe komutanlıklarından fabrika seviyesi bakım ve tamirin öncesi ve sonrasında ihtiyaç duyulabilecek her türlü set, alet ve avadanlıkla beraber tesis gereksinimlerini de ortaya koymaktadır.

Bu nedenle sökülen her bir parçanın belirtilen performansı koruması halinde söz konusu parça kullanılmakta, belirtilen değerleri karşılamaması durumunda ise yenisi ile değiştirilmektedir. Diğer bir deyişle fabrika seviyesi bakım ve tamir; bir parçayı ilgili Fabrika Seviyesi Bakım Gereksinimleri'ndeki standartlara uygun fonksiyonel hale getirmek için yapılması gereken bakım ve onarım işlemleri kapsamaktadır.

### **c. Kara Kuvvetleri Bakım Sistemi**

Kara Kuvvetleri Bakım Sistemi ilk kuruluş aşamasında II. Dünya Savaşında kazanılan tecrübeler ve dünyanın farklı bölgelerinde deniz aşırı harekât icra eden Amerika Birleşik Devletleri Kara Kuvvetlerinin bakım sistemi örnek alınarak oluşturulmuştur. Bu bakım sisteminde koruyucu bakıma ilave olarak 5 bakım kademesinden oluşmaktadır. Tuğay seviyesinde, kullanıcılar tarafından uygulanan koruyucu bakıma ilave olarak 3 seviyeli bakım kademesi, Kolordu ve Ordu seviyesinde 4 ncü kademe, Kara Kuvvetleri seviyesinde 5 nci kademe bakımını ihtiva etmektedir.

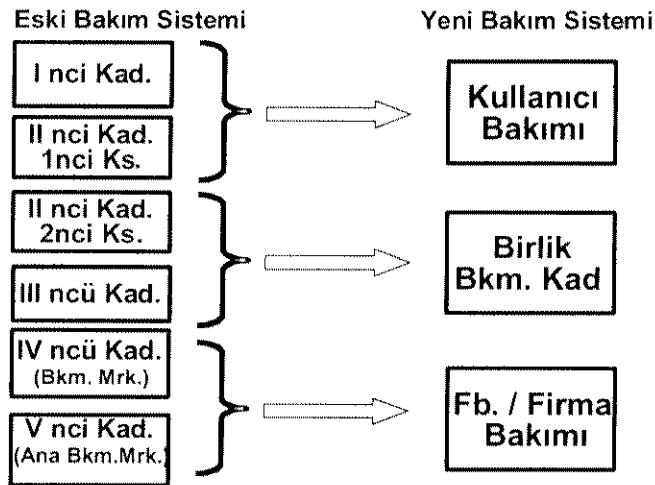
"Birleşik İkmal ve Birleşik Bakım Sistemi" kapsamında bakım sınıfının kurulması ve bu konuda uzmanlaşmayı esas alan, altyapı çalışmalarını şekillendiren, önemli ölçüde personel ve kaynak tasarrufu ile barışta ve seferde aynı esaslarla

çalışan, çağdaş sistemleri örnek alarak, modüler ve mobil bir yapıyı esas alan, birlik komutanlarına, asli görevleri olan birliğini muharebeye hazırlama ve liderleri yetiştirme için azami zamanı sağlayacak bir bakım sistemi tesis edilmiştir.

Eskiden beş kademeli olan bakım sistemi, Şekil-1'de görüldüğü gibi barış ve savaşta çalışma esasları aynı olacak, seferde ilave tedbire ihtiyaç duyulmayacak şekilde; kullanıcı bakımı, birlik bakımı, fabrika / firma bakımı olmak üzere üç kademeli bakım sistemine dönüştürülmüştür.

Mevcut sistemdeki I nci kademeler ile II nci kademe I nci kısımlar kullanıcı bakımını yapacaklardır. II nci kademe II nci kısımlar ile III ncü kademeler birlik bakım kademesi adı altında birleştirilecektir. IV ncü kademeler ile V nci kademeler Fabrika/ Firma Bakım Kademesi olarak faaliyet göstereceklerdir.

Yeni bakım sisteminin ilk kademesi kullanıcı bakım kademesidir. Kullanıcı bakım kademesi personeli; her türlü ordu malını zimmetinde bulunduran ve kullanan personel ile bağımsız bölük ve batarya, bağımsız tabur, alay kadrosunda veya ek kadrolarında bakım için tahsis edilmiş personel olup, özel eğitimle yetiştirilen sanatkâr ve yardımcılardır.



Şekil-1: Yeni Bakım Sistemi

Kullanıcı bakımı ise Ordu malını zimmetinde veya sorumluluğunda bulunduran diğer bir ifadeyle fiilen kullanan personel tarafından yapılan veya yaptırılan bakımdır. Araçlar için; çıkış, yol, dönüş bakımı, silahlar için; atış öncesi, atış esnasında ve atış sonrası bakımı kapsar. Tüm ordu mallarının günlük, haftalık bakımları ve aylık yağlamaları kullanıcı bakım kademesinde uygulanır.

Tabur ve Müstakil Bölük / Batarya Kadrolarında, kullanıcı bakım kademesinde görevlendirilen teknisyenlerin görevleri; birliğinde mevcut her türlü ordu malının koruyucu bakımını yaptırmak, yapıldığını takip ve kontrol etmek, şoförleri ve personeli koruyucu bakım konusunda eğitmektir. Birliğindeki ordu mallarının periyodik bakımlarını takip ederek ilgili atölyelere götürülmesini sağlamak, her cins ordu malında oluşan arızaları tespit ederek, iş akış şemasına göre bakım birliği'ne bildirmek, onarımını takip etmek, birliğindeki araç ve gereçlerin çıkış, yol ve dönüş bakımlarını yapmak, haftalık kontrol ve muayene ile aylık yağlamayı yapmaktan sorumludur.

Kullanıcı bakım kademesi, koruyucu bakım kademesi olarak da isimlendirilebilir. Yeni bakım sisteminin ikinci kademesi birlik bakım kademesidir ve birlik bakım kademesi personelinin görevleri; tekerlekli ve tırtıllı araçların altı aylık bakımlarını yapmak, her cins ordu malının periyodik bakımını yapmaktır. Ayrıca periyodik bakım sırasında veya herhangi bir zamanda arızalı malzeme üzerinde görülecek yetki dâhilindeki aşınmış, yıpranmış parçaları değiştirmek, onarmak, yağlama ve ayar işlerini yapmaktır.

Ayrıca yetki dışı arızaları üst kademeye bildirmek ve üst kademece istenen malzemeleri zamanında göndermek, normal aşınma ve yıpranma dışında ordu malında meydana gelen hasarlar için vaka raporu tanzim etmek ve birlik komutanına arz etmek, kademe stok seviyesini muhafaza etmek ve bu maksatla ihtiyaçları tespit ederek birlik ikmal subayına bildirmek, tedarikini takip etmek ve direkt değiştirme kanalı ile ikmal gereken parçaları tedarik etmek görevleri icra etmektedirler.

Birlik bakım kademesinin; birliklerin haftalık bakımlarına nezaret etmek ve öğretici mahiyette tavsiyelerde bulunmak, birlikteki her türlü malzemenin sicillerinin tutulup tutulmadığını kontrol etmek, ordu malının koruyucu bakımı konusunda

birliklere teknik yardımda bulunmak, birlik bakım talimatının uygulanmasını takip etmek amacıyla desteklediği birliğin malzemelerini denetlemek, onarım yetkisi dışındaki arızalı malzemeleri üst kademelere tahliye etmek, muharebede acil onarım unsuru olarak görev alması gibi görevleri de bulunmaktadır.

Yeni bakım sisteminin üçüncü kademesi Fabrika / Firma Bakım Kademesidir ve Fabrika / Firma bakım kademesi personeli ve görevleri bakım ve ana bakım merkezi olmak üzere iki alt başlık altında incelenmektedir:

Bakım merkezlerinin görevleri ise; desteklediği birliklere Fabrika Seviyesi Tamir ve Bakım (FASBAT) desteği sağlamak, uygulanan FASBAT'la ilgili olarak; sistemlerin üreticisi tarafından hazırlanan bakım katalogları ve FASBAT broşürlerinde belirtilen kriterlere göre, gerekli test, ölçüm ve muayenelerin yapılması, komple ve tali komple malzemelerinin sökümü, arızalı ve yıpranmış malzemelerin yenisi ile değiştirilmesi, faal olan malzemelerin kontrolü, tüm parçaların temizlenmesi, yağlanması, bakımı ve fonksiyon testlerinin yapılması, son muayene neticesinde silah sistemleri ve araçların muharebeye hazır hale getirilmesi faaliyetleri icra etmektedir.

Bakım kademeleri ayrıca bünyesindeki seyyar ekipler vasıtası ile bağlı birliklerin araç-gereç ve teçhizatının yerinde bakım ve onarımlarını yapmak, kuruluşunda bulunan D/Ds. Tk.'ı ile muharebe alanında birliklere bakım desteği sağlamak, planlanan imalat görevleri ile bazı özel araçların motor ve düzen yenileştirmelerini yapmak, motor ve düzenlenen kısmi yenileştirmeleri ile tali komple parçaların yenileştirmelerini yapmaktadırlar.

Son olarak ise kısa süreler için kendisine bağlı bakım birliklerine bazı konularda üst kademe yetkisi vererek kontrolü altında bakım ve onarım faaliyetlerini icra ettirmek, kurtarma ve tahliye hizmetlerinde birliklere yardım etmektedirler.

Bakım kademelerinin son bölümünde ise ana bakım merkezleri bulunmaktadır. Ana bakım merkezlerinin görevleri; üretim planına uygun olarak fabrikaya tahliye edilen malzemelerin endüstriyel metotla zamanında, en ekonomik bir şekilde yenileştirmesini sağlamak, komple kombine ve komple malzemelerin, tali komple parçaların imalatını yapmak, üst makamlardan gelen üretim planları ve iş

yükü değişiklikleri ile ilgili emirler için gerekli tedbirleri almak, üretimdeki gelişmeyi değerlendirmektir.

Her türlü ölçü ve test aletlerini ve mevcut kalıpların periyodik bakım ve kontrollerini, kalibrasyonlarını yapmak, bakım merkezlerinde uygulanan FASBAT'la ilgili olarak motor, düzen, askı donanımı, atış kontrol aletleri vb. malzemelerini yenileştirilmek, ihtiyaç olan zırhlı araçların gövde testlerini yapmak, sistemler hakkında teknik danışmanlık ve teknik hizmet desteği sağlamak ve bakım merkezi personelinin yetiştirilmesine yönelik kurs verilmesi faaliyetlerini icra etmektir.

#### **ç. Ana Bakım Merkezi Seçimi Esasları**

Tesis yeri seçimi; özel sektör diğer bir deyişle endüstriyel üretim tesisleri yönünden, " Üretim/dağıtım girdileri ve fiyat/satış hacmi yönlerinden bir tesisin en etkin, üretken ve kârlı çalışabileceği coğrafi alanın seçilmesine değin sürdürülen karar sürecidir." şeklinde tanımlanmaktadır. Kuruluş yeri kararı, uzun vadeli karakterde bir yatırım kararı olarak karşımıza çıkmaktadır (Gazi Üniversitesi Müh. Mimarlık Fakültesi Ders Notları,2004:3-1).

Kamu sektörü ya da diğer bir deyişle savunma sektörü bakımından ele alındığında ise Ana Bakım Merkezi yeri seçimi; yukarıdaki tanımlamalardan farklı olarak, kâr amacı olmamakla birlikte, barışta veya savaşta meydana gelebilecek herhangi bir ihtiyacı en kısa zamanda süratle karşılayabilecek, tüm ihtiyaç noktalarına coğrafi olarak da en optimal uzaklıkta ve konumda olmayı gerektirmektedir.

Tesis yeri seçiminde genel ilke olarak tesis ihtiyaçları objektif olarak belirlenmeli ve incelenmelidir. Tasarlanan tesis yerinde, gerçekleştirilecek faaliyetlerin etkinliğini belirleyen özellikler objektif olarak saptanmalıdır. Seçim süresince değışik alan ve yetenekte olan elemanlardan faydalanılmalıdır. Tesis diğer yan tesislerle bütünleşik olarak ele alınmalıdır.

Bu faktörlerin dışında bulunan birçok faktörse, tesisin kurulacağı yer ait olduğu sektöre göre farklılıklar arz etmektedir. Dünya geneline bakıldığında birbirinden farklı özelliklere sahip üç sektör göze çarpmaktadır.

Özel sektör; sektörün doğuşunda firmalar tamamen kâr amaçlı olarak kurulmakta idi. Ancak klasik yaklaşımla tek amaç üzerinde yoğunlaşmanın firmalara çeşitli yönlerden zarar verdiği ortaya çıktığından modern yaklaşımlar doğrultusunda firmalar kâr, rantabilite ve risk faktörlerinin her birini aynı anda değerlendirmeye başlamıştır.

Kamu sektörü; bu sektördeki firmalar daha çok fayda/ maliyet analizi ile kurulmaktadır. Kâr amacı ikinci plana atılmakla birlikte ve öncelikli düşünce ortaya çıkaracağı fayda dikkate alınmaktadır.

Savunma sektörü; bu sektör kamu sektörünün içerisinde de ele alınabilmekle birlikte ayrı olarak ele alınabilmektedir. Bu sektörde yapılan yatırımlarda düşünülen tek faktör ülke güvenliğidir. Bu faktör sebebi ile yatırımlar genellikle dış güçlerden gelebilecek tehlikelerden uzak, savunulması kolay konumlara yapılmaktadır.

Özel sektör tesis yeri seçimi kriterlerine paralel olarak ana bakım merkezi coğrafi bölgesi tespit edilirken enerji kaynaklarına yakınlık, yan sanayi tesislerine yakınlık, hammadde üretim tesislerine yakınlık ve tedarik imkânları, demiryolu, karayolu ve limanlara yakınlık, işçi tedarigi ve ücret düzeyi, arazi ve inşaat maliyetleri ve desteklenecek olan birliklerin konumları da önemli rol oynamaktadır (Gazi Üniversitesi Müh. Mimarlık Fakültesi Ders Notları,2004:3-2).

Ağırlık ve hacim bakımından büyük olan iş makinelerinin tesis içi hareketleri emniyeti aksatmayacak şekilde düzenlenmelidir. İş makinelerinin zemine veya asfalta verebilecekleri zarar düşünülerek kurulacak tesisin zemini de bu husus göz ardı edilmeden inşa edilmedi. Ayrıca kurulacak tesiste su ve diğer atık maddelerin giderilmesi de dikkate alınmalıdır. Bu gibi kurulacak olan tesis arazinin yapısal özelliklerine ilaveten bölgedeki işgücü, toplumsal yapı ve davranışlar, enerji ve yakıt durumu, su tedarigi, arazinin topoğrafik durumu ve son olarak bölgedeki eğitim ve araştırma kuruluşlarının varlığı araştırılarak da optimal tesis yeri seçilmelidir.

Ana bakım merkezleri yer seçimini genellikle mevcut ikmal maddeleri ikmal seviyeleri, ağırlıkları, taktik harekâta etkileri, açık ve kapalı depolamaya olan ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tespit edilmelidir. Seçilecek yer esas harekâtı

desteklemelidir ve ana yol şebekesine yakın yerlerde seçilmelidir. Taarruzlardan, yangından ve sabotajlardan, düşmanın Gayri Nizami Harp (GNH) unsurlarından korunacak şekilde birliklere yeterli mesafede olmalıdır.

Bataklık araziden ve su baskınlarına maruz kalınabilecek arazi kesimlerinden kaçınılmalıdır. Su ikmali, kanalizasyon durumu, elektrik kaynağı, muhabere irtibatları ve ısıtma ihtiyaçları dikkate alınmalıdır. Demiryolu, su ulaşımı, karayolu ve havayollarından gerektiğinde yararlanmak için bu tesislere olan yakınlık iyi incelenmelidir (Akyol,2003,27–28).

Ayrıca bu bakım merkezleri düşmanın hava taarruzlarıyla ilk anda yok etmeyi düşündükleri öncelikli hedef sınıfına girdiklerinden dolayı ülkede yeterli düzeyde dağılmış olmaları gerekmektedir. Tüm bu hususlara ilaveten bakım merkezlerinin yerleşimi ile diğer bir hususta; bakım merkezlerinin destekledikleri birliklere ve komutanlıklara yakın mesafede kurulmuş olmaları münasebetiyle iş makinelerinin herhangi bir periyodik bakım ya da acil bir arıza durumunda süratle ilgili bakım kademesinde arızasının giderilmesidir.

## 2. AĞIR İŞ MAKİNELERİNİN FABRİKA SEVİYESİ BAKIM VE TAMİRİ

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler ışığında ağır iş makineleri de gerek şekilleri gerek de kazandırılmış oldukları fonksiyonları itibariyle büyük değişime uğramıştır. Ağır iş makinelerinde yapılan bu yenilikler ve değişimler beraberinde yüksek maliyetleri ortaya çıkarmıştır.

Oldukça yüksek maliyetlerle envanterlerine bu iş makinelerini dâhil eden özel sektör, kamu veya savunma sektörleri bütçelerinden büyük meblağları sadece iş makineleri tedarik safhasında değil, aynı zamanda alınan bu iş makinelerini işletme ve idame safhalarında da büyük miktarları bütçelerinden ayırmak zorunda kalmışlardır.

Her türlü hava, iklim ve zor koşullarda kullanılan ağır iş makineleri; periyodik bakımları düzenli olarak yapılırsa dahi zamanla arızalar meydana gelebilmektedir. Kullanım saatlerinde değişiklikler, iş makinelerinin kullanıldığı coğrafi bölge ve oluşabilecek malzeme yorgunlukları iş makinelerinin ömürlerini etkilemektedir.

Bu sebeple ağır iş makinelerini oldukça yüksek maliyetli arızalar meydana getirmeden ve kısa sürede envanterden çıkmalarına engel olmak maksadıyla belirli periyotlarla üretici firmalar tarafından detaylı kontroller yapılmalıdır. Bu sayede hiç bir kâr amacı olmadan amaçları sadece ülke savunmasının icrası ve elde edilecek maksimum fayda olan kamu veya savunma sektörlerinin hedeflerine ulaşmaları sağlanmış olacaktır.

### a. Dünyada İş Makinesi Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri

Dünyada iş makineleri kullanıcılarını tasnif edilmesi istenirse kamu ve özel sektör kullanıcıları olarak sınıflandırılması mümkündür. Özel sektör denildiğinde yapı ve inşaatla ilgili faaliyet gösteren şirketlerin oluşturduğu sektörü, kamu sektörü denildiğinde ise devletlerin imar ve alt yapıdan sorumlu ilgili bakanlıklarının yanı sıra özellikle ülke savunmasıyla ilgili savunma sektörleri yani silahlı kuvvetlerinin her türlü yapı ve inşaatından sorumlu unsurları akla gelir.

Dünyada iş makinelerinin fabrika seviyesi bakım ve tamiri ile araştırmalar neticesinde; üretici firmaların ilgilenilen türden belli bir servis politikalarının bulunmadığı, sadece iş makinelerinin meydana getiren parçalar ve sistemlere ait değişim saatlerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Tüm dünyada iş makinesi üretici firmalarının genel bakım politikaları iki yıl veya 2000 saat süresince garanti kapsamındaki periyodik bakımları gerçekleştirmek; bunun dışındaki diğer arıza durumlarındaki bakım ve tamiri yapmaktır. Uzun vadeli bakımla ilgili olarak üretici firmaların gerek maliyet gerekse müşterilerine yönelik olarak pazardaki paylarını artırmakla ilgili çekindikleri hususlar bulunmaktadır. Maliyet bakımından ele alındığında uzun yıllar meydana gelmiş arıza istatistiklerini tutmak, bunları değerlendirmek ve hayata geçirmek için özel bir birimin kurulmasını gerektirmektedir.

Diğer taraftan müşterilere ilk satın alma aşamasında garanti süresi tamamlandıktan belli bir süre sonra iş makinelerinin tekrar fabrikaya çağırılarak oldukça detaylı bakımının yapılacağının söylenmesi; en az maliyetle en fazla faydayı elde etme amacındaki müşteri için ek maliyetler getireceğinden ve markanın tercih edilmeme sebebi olabileceğinden firmalar tarafından bu konularla ilgili dahi bilgi verilmesinden kaçınılmaktadır.

Maliyetleri ön planda tutan özel sektör için, böyle bir bakımın gerekliliği ve herhangi bir anda satışa çıkarılarak elden çıkarma ihtimali sebebiyle, oldukça maliyetli bu bakımın yapılması gereksiz görülebilir. Alım ve satımın yok denecek kadar az olduğu kamu sektörü özellikle silahlı kuvvetler için durum tam tersinedir. Oldukça uzun prosedürler sonrası alınan iş makinelerinin ve silah sistemlerinin getirdiği maliyetten çok bakım maliyetlerinin optimize edilerek uzun yıllar kullanımı dolayısıyla ömür devri maliyetinin analizi söz konusudur.

Fabrika seviyesi bakım ve tamir konusu ile ilgili en uzun süreli kayıt, istatistik ve araştırmaları yapan firmalar bu konu ile ilgili oldukça fazla kaynak, zaman ve bütçe ayıran Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı ile birlikte çalışan firmalardır.

ABD Savunma Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu kitapçıklarda bakımın yapılmasında faydalanılmak üzere geliştirilmiş teknik talimname, teknik bülten, koruyucu bakım kitaplarına ilaveten Fabrika Seviyesi Bakım Gereksinimleri (Depot Maintenance Work Requirements (DMWR)) yayınları bulunmaktadır.

Bu yayın üretici firma tarafından sağlanan bilgilere ek olarak fabrika seviyesi bakım ve tamiri yapılacak iş makinesinin adedi özellikleri, parçaları, parçaların şematik gösterimi, muayene, kontrol ve bakım zamanlarını, yapılacak işlemleri gösteren bir kitaptır (Military Handbook-1222A 2 numaralı değişiklik[web],2001)

### **b. Ordularda İş Makinesi Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri**

Ordularla ilgili olarak bilgiye ulaşım imkânları bakımından günümüzün en yaygın bilgi erişim ve paylaşım kaynağı olan internet verilerine bakıldığında Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir ile ilgili olarak çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın konu ile ilgili kaynaklarına ulaşırız. Bütçeden ayrılan miktarlara bakıldığında ABD'nin sadece FASBAT için milyar dolarlar seviyelerinde; birçok ülkenin yıllık gayri safi milli hâsılasından da oldukça fazla paralar harcadığı ortaya çıkmaktadır.

ABD, diğer ülkelere nazaran FASBAT ile ilgili şu an ki tecrübe seviyesine ulaşmak için bu çalışmalarını çok eskilere dayandırmış ve iş makinelerini tedarik ettiği firmaları da bu konu ile ilgili olarak yönlendirmiştir. Bu konu ile ilgili özel çalışma grupları kurarak FASBAT faaliyetlerinin optimizasyonunu çok yönlü olarak ele almıştır.

Savunma Bakanlığı Bütçe Komisyonu FASBAT için yayınlanan "Maliyet Etkinlik Gereksinimleri" adlı bir genelge çıkarmaktadır. Bu talimatının amacı; düzenli olarak icra edilen FASBAT faaliyetlerinin maliyetler verilerini toplamak, kayıt altına almak ve bir rapor olarak sunmaktır.

Yapılan bu faaliyet gereksinimleri sadece Savunma Bakanlığını değil tüm eyalet ve yerel yönetimlerle, tüm yabancı hükümetler ve özel şirketleri de kapsamaktadır. Bakımla ilgili tüm bu maliyet bilgilerinin toplanması, kayıt altına

alınması ve raporlanmasının neticesinde; etkinlik ve verimin ölçülmesi, maliyet standartları ve performans ölçütü tespiti, kullanımı ve geliştirmesi, artırılmış idari tedbirler gerektiren hususların tespiti konularında bilgi birikimi sağlanmış olacaktır.

Tüm bunlara ilaveten, bu veriler toplam bakım kabiliyetleri, kapasite artırımı ve bakım iş yükünün nasıl kuvvetler arası ortak paylaşabileceği konularında da kritik bilgiler sağlamaktadır.

Özellikle yönetimin maliyet etkinliği üzerinde çalışan bu birimleri sayesinde Savunma Bakanlığı FASBAT ile ilgili olarak; geçmiş birim maliyet eğilimleri ile yerine koyma maliyet eğilimlerinin karşılaştırılması, FASBAT kaynaklarının etkin kullanılıp kullanılmadığı, FASBAT çalışma programlarının bütçe değerlendirmesi, depolar arası ve depolarla anlaşmalı firmalar arası maliyet eğilimlerinin karşılaştırılabilmektedirler. Ayrıca FASBAT rehberlik ve idaresi, kaynakların etkin kullanımının değerlendirilmesi, FASBAT gereksinimlerinin tahmini, devletin zorunlu kıldığı raporların takibi konularında yardımcı olacak bilgileri elde etmede etkin bir araç olarak kullanılmaktadır ( Cost Accounting Requirements for Depot Maintenance [web],2005).

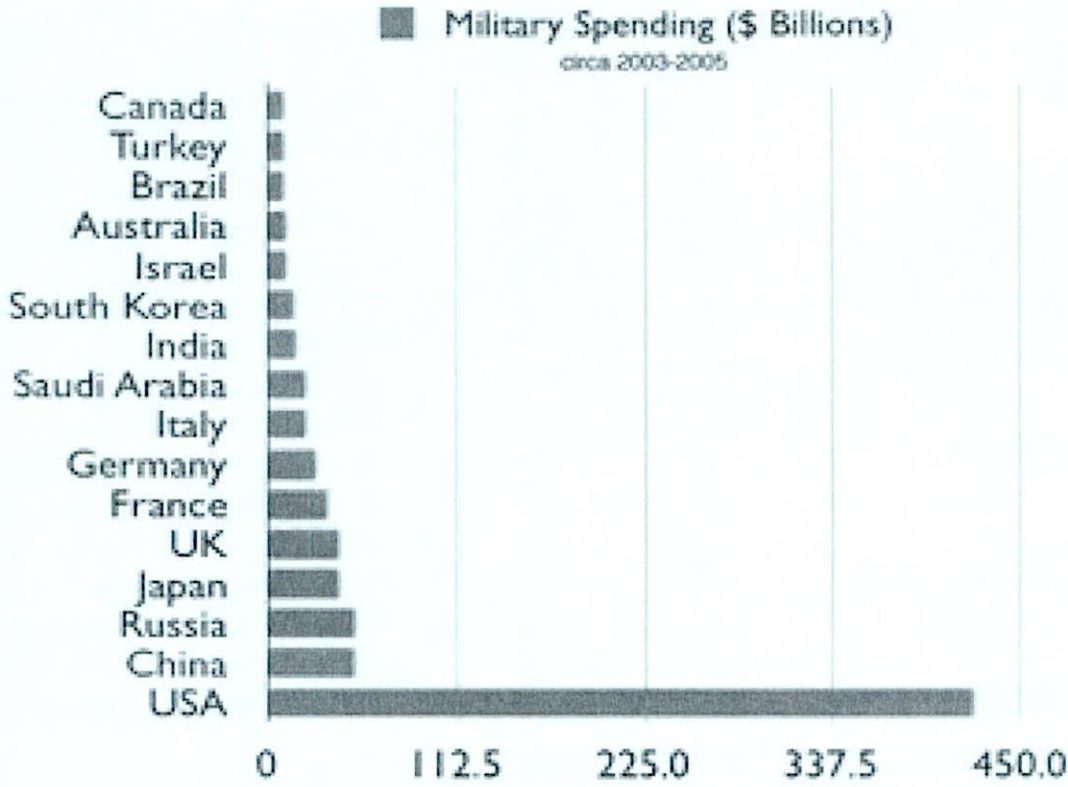
Kurulduğu ilk günden beri sürekli bir değişim ve yapılanma sürecinde bulunan Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü (North Atlantic Treaty Organization (NATO)) üyesi olduğu ölkelerden yüksek hazırlık seviyeli olarak görev yapacak Kolordularının FASBAT yapacak tesisleri ile ilgili bazı standartlar getirmiştir. Bu standartları da İlk Harekât Kabiliyeti (Initial Operating Capability (IOC)) ve Tam Harekât Kabiliyeti (Full Operating Capability (FOC)) standartları olarak iki bölümde ele almıştır.

İlk Harekât Kabiliyeti kapsamında bakım ve depolamakla sorumlu tüm depo ve tesislerin yerine getirmekle sorumlu oldukları yükümlölükler; tesisle ilgili her türlü plan ve idareyi sağlayacak, tesislerde otomatik bilgi sistemi plan ve politikalarını uygulayacak ve son olarak tesislerde gelişmiş tali ve komple parça işaretlemesini yapabilecek kabiliyete sahip olmak şeklinde açıklanabilir.

Tam Harekât Kabiliyeti kapsamında ise, üye tüm ölkelerin Yüksek Hazırlık Seviyeli Kolorduları için ilk aşamada kazanılan yetenekleri daha da geliştirerek

bilgisayar destekli tek merkezden idare ve takibinin yapılabileceği otomasyon sistemine geçilmesi hedeflenmektedir ( Depot Maintenance Department of Defense [web],2005).

**Tablo-1: Ülkelerin Askeri Harcamaları, 2003-2005**



Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın Tablo-1'deki 2004 yılı verilerine göre ve Tablo-2 detaylarında olduğu gibi toplam askeri harcama bütçesi 437.111 milyar dolar olarak açıklanmıştır. Bu harcamaların dağılımını incelediğinde yaklaşık olarak üçte bir oranında harekât ve bakım faaliyetleri için harcadığı gözlemlenir. Geriye kalan bütçe ise sırasıyla askeri personel harcamaları, malzeme tedarik, araştırma ve geliştirme ve inşaat faaliyetlerinde harcanmak üzere ayrılan bütçeyi ifade eder. Tablo-2'e göre harekât ve bakım için harcanmakta olan yaklaşık 175 milyar dolarında ortalama 10 milyar doları bakım giderlerine harcanmaktadır.

Bakım ve harekât konularına bu kadar fazla pay ayrılmasının sebebi; 120 ülkede üssü bulunan bir ülke olarak bu yerlerde her türlü arazi ve iklim koşullarında toplam sayıları deniz aşırı ülkelerdeki 329.061 askeri personele ilaveten ülke

içerisinde görevli 1.168.195 personel de dâhil edildiğinde yaklaşık olarak 1,5 milyon askeri personelle beraberinde götürdüğü farklı amaç ve fonksiyondaki ana muharebe silah ve diğer sistemlerdir.

Diğer sistemlerle belirtilmek istenen; tesis ve altyapı bakımından hiçbir imkân bulunmayan bölgelerde iskânı ve her türlü araç ve silah sistemlerin bakımının yapılacağı tesislerin kurulmasında gerekli olabilecek iş makineleri dâhil her türlü sistemlerdir ( Wikipedia Page [web] , 2005).

Fabrika seviyesi bakım ve tamir programları tüm hava araçları, füze sistemleri, savaş gemileri, denizaltılar, muharebe araçları ve diğer iş makinelerinin her türlü tamir, bakım ve detaylı kontrolünü kapsamaktadır.

**Tablo–2:** ABD Askeri Harcamalar Dağılım Tablosu 2004

<b>Toplam</b>	<b>437.111 Milyar \$</b>
Harekât ve Bakım	174.081 Milyar \$
Askeri Personel	113.576 Milyar \$
Malzeme Tedarik	76.217 Milyar \$
Araştırma & Geliştirme	60.756 Milyar \$
Askeri İnşaat	6.310 Milyar \$

Burada orijinal metinlerde FASBAT anlamında kullanılmakta olan “**Overhaul**” kelimesinin Sesli Sözlük(2005) internet sitesine göre tanımında üç anlamı bulunmaktadır:

- Gereken onarımı yapmak için elden geçirmek, kontrol etmek, arkasından yetişip önüne geçmek,
- Elden geçirmek, yoklamak, onarmak, yetişip geçmek,
- Kontrol, bakım ve tamir, onarmak amacıyla elden geçirmek; kontrol etmek, arkasından yetişip önüne geçmek, bakım, muayene, onarım, onarma.

Çoğunlukla kaynaklarda bu anlamlarda kullanılmak beraber özel bir tür periyodik bakımın vurgulanmak istendiği anlaşılmaktadır.

**Tablo-3: ABD FASBAT Harcamaları 2004**

(Milyon Dolar)	2001	Fiyat	Proje	2002	Fiyat	Proje	2003
<b>Kara Kuv.</b>	717.6	+22.2	+1.8	741	+33.1	+34.0	808.7
<b>Deniz Kuv.</b>	4.118	+105.0	+409.5	4.63	+85.2	+146.0	4.864
<b>Deniz Piyade</b>	118.5	+8.0	-14.9	111	+12.5	+14.5	138.6
<b>Hava Kuv.</b>	1.824	+153.0	+3.4	1.98	+162.3	-361.4	1.781
<b>Özel Kuvvetler</b>	162.6	+2.6	+8.1	173	+2.7	+7.4	183.4
<b>Ara Toplam</b>	6.942	+290.8	+407.9	7.64	+295.8	-159.5	7.777
<b>Sefer Kadrosu</b>	1.163	+92.1	+9.0	1.26	+101.0	-11.5	1.353
<b>TOPLAM</b>	<b>8.105</b>	<b>+382.9</b>	<b>+416.9</b>	<b>8.90</b>	<b>+396.8</b>	<b>-171.0</b>	<b>9.130</b>

Amerika Birleşik Devletlerinin Tablo-3'teki FASBAT harcamaları incelendiğinde ortalama olarak 8 milyar \$ olan bütçenin yarısını Deniz Kuvvetlerinin aldığı, dörtte birini Hava Kuvvetleri ve onda birini Kara Kuvvetlerinin aldığı gözlemlenir. Yıllar itibariyle incelendiğinde FASBAT için bütçeden ayrılan payların her geçen sene artma eğilimi gösterdiği; 2002 yılından 2003 yılına geçişteki 396.8 milyon \$ artışında sadece Hava Kuvvetlerinin 2002 yılında kendi fabrikalarında kayıpları telafi yönünde gerçekleştirdiği atılımlarla 225.8 milyon \$ net değerine düşürüldüğü gözlemlenmektedir ( Depot Maintenance[web],2005).

Amerika Birleşik Devletlerindeki FASBAT çabaları hem Savunma Bakanlığı hem de özel firmalar aracılığıyla eş zamanlı olarak yürütülmektedir. Bu çabaların özellikle muharebe güçlerinin harekâta hazırlık seviyelerini en üst düzeyde tutacak desteği sağlayacak, silah sistemlerinin etkili ve emniyetli bir şekilde çalışmalarını garanti edecek ve de bu sistemlerin muharip birliklerden seferberlik kuvvetlerine elden geçirilmiş, faal bir şekilde devir teslimlerini mümkün kılacak şekilde olmalarını gerektirmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Deniz Kuvvetleri'nin bütçenin yarısını almasının sebebi olarak; 120 ülkedeki deniz aşırı üslerine ve diğer harekât bölgelerine personelin ve muharebe uçakları dâhil tüm malzemelerinin intikal aracı olarak Deniz Kuvvetlerini ve imkânlarını kullanmasıdır. "Gelecekte Fabrika Seviyesi Bakım ve

Tamir Uygulamaları için Kapasite ve Kaynaklar" konulu oturumda Hugel (2004:2) Amerika Birleşik Devletleri'nin teröre karşı verdiği Küresel Savaş'ta Deniz Kuvvetlerinin yüksek hazırlık seviyesinde olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca ülkesinin kendi ülke toprakları, Afganistan ve Irak'ta devam etmekte olan operasyonlar olmak üzere üç cephede savaş verdiğini ve farklı seviyedeki bu operasyonların gereklerini yerine getirmek için Deniz Kuvvetleri gücünün % 73 orandaki bölümünü deniz aşırı ülkelerde eş zamanlı olarak kullanmakta olduğunu ifade etmiştir.

Tüm operasyonlarda görev alan ana muharebe sistemlerinin bakımının ana bakım merkezleri ve özel firmalar aracılığıyla planlandığı gibi devam ettiğini ve 2004 mali yılında 3,6 milyar \$ ,2005 yılı içinse 4 milyar \$ maliyetiyle fabrika seviyesi bakım ve tamirin planlandığını belirterek neden Deniz Kuvvetlerinin bütçeden bu kadar fazla pay aldığını açıklamıştır.

Amerika Birleşik Devletleri fabrika seviyesi bakım ve tamir için kendi bakım merkezlerinden ziyade diğer anlaşmalı firma bakımını en çok kullanan birlik Hava Kuvvetleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni; teknolojik gelişmelere en çok ve hızlı maruz kalan bir kuvvet olarak bu gelişmelerle aynı hızda gelişmeyi sağlamak için bu yolu tercih etmesidir.

Yeni geliştirilen sistemler hakkında kendi kullanıcı ve bakımından sorumlu personeli eğitilerek istenen tecrübeye ulaşıncaya kadar Hava Kuvvetleri FASBAT uygulamalarında "Yarı Yarıya Prensibi"ni göz önünde bulundurmaktadır. "Yarı Yarıya Prensibi" kaynağına inildiğinde bu kuralın Birleşik Devletler Kongresi (United States Congress (USC)) tarafından kabul edilen 2466 sayılı kararına dayandığını görülmektedir.

Bu kararda fabrika seviyesi bakım ve tamirin silah sistemlerinin ve iş makinelerinin ve bunları oluşturan alt sistemler ve bileşenlerinin her türlü tamir, detaylı kontrol ve geliştirme faaliyetlerini içerdiği; ancak sivil firmalarca yapılabilecek bu bakım faaliyeti için bütçeden ayrılan miktarın en fazla yarısının aktarılacağı vurgulanmaktadır.

Bu sınırdaki her zaman Hava Kuvvetleri fabrika seviyesi bakım ve tamir icra etmemektedir. 2000 mali yılı ele alındığında geçici anlaşmayla sivil firmalara ve personeline 135 milyon \$ masrafla bakım ve tamir yaptırılmıştır. 3 milyar \$ toplam harcama ele alındığında bu meblağ % 4,4 oranına tekabül etmekte ve bu da Yarı Yarıya Prensipli'ne uygun bir hareket tarzı olmaktadır.

Hava Kuvvetleri'nin son yıllarda bu sınıra yakın Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir yapmasının diğer bir sebebi; 1995 yılında yeniden lojistik yapılanma süreciyle beraber Sacramento, California ve San Antonio(Texas) fabrikalarının kapatılması ve diğer özel sektör kaynaklarının ortadan kalkmasıdır ( Air Force Waiver 10 USC 2466[web],2005).

Savunma Bakanlığı tarafından üzerinde çalışılan diğer bir çalışmada kuvvetler arası bir işbirliği süreci ile hali hazırda kuvvetler arasında ortak yapılabilecek bakım faaliyetlerinin birleştirilmesi projesidir. Yarbay Barry W.Pitcher, USAF 24 Nisan 1996 tarihli konuşmasında "Savunma Bakanlığı organik fabrika seviyesi bakım ve tamirin özelleştirilmesine özel önem vermektedir.

Kritik olmayan bakım faaliyetlerinde çok düşük maliyetlerle etkin bir fabrika seviyesi bakım ve tamir desteği sağlanırken Savunma Bakanlığı kritik bakım faaliyetlerinde ise kuvvetler arası karşılıklı destek ve yardımı artırmak suretiyle büyük faydalar sağlayabilir. Kuvvetler Arası İşbirliği maliyetleri etkin bir şekilde düşürürken, benzer iş yükünü birleştirerek ülke çapında harcanacak gayretleri de azaltacaktır." diyerek kuvvetler arası işbirliğinin önemini vurgulamıştır ( Pitcher, 1996).

1976 yılından günümüze kadar kuvvetler arası işbirliği ile ilgili çalışmalar yaparak bu koordinasyondan sorumlu bir komite kuran Savunma Bakanlığı milyar dolarlar seviyesinde sadece fabrika seviyesi bakım ve tamir faaliyetine bütçesinden para ayıran bir ülke olarak maliyetin optimizasyonu için çalışmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı'nın bu komitesinin amacı; kuvvetlerin kendine ait karakteristik silah, araç, gereç ve diğer sistemlerine fabrika seviyesi bakım ve tamir faaliyetlerini icra ederlerken öncelik kendi kuvvet, sınıf ve branşında olmak üzere yapılacak koordinasyon neticesinde ülkede kuvvetler arası bir

işbirliği ortamı yaratmaktır. Her ne kadar kuvvet olarak farklı ana muharebe ve silah sistemleri kullansalar da kuvvetlerin ortak olarak kullandığı sistemlerde mevcuttur.

Genel olarak dünya ordularında kullanılan helikopterler incelendiğinde marka ve modelleri itibariyle büyük çoğunluğunun aynı olduğu görülür. Aynı şekilde çoğu dünya ordularının kuvvetleri ayrı olsalar bile inşaattan sorumlu İstihkâm birliklerinin kullandığı iş makineleri de benzerlikler göstermektedir.

Bu prensipten hareketle Savunma Bakanlığı 1990 yılında Savunma Bakanlığı Fabrika Seviyesi Bakım Kurulu ( Defense Depot Maintenance Council (DDMC)) kurarak helikopterler ile ilgili ilk çalışmaları başlatmıştır. Bu kurulda her ay yapılan kuvvetler arası koordinasyon toplantılarında yaptıkları planlamaları, yapılan bu planlamalar neticesinde bakıma alınacak sistemleri koordine etmişlerdir.

Ancak bu çalışmada tam başarı sağlanamamıştır. Kuvvetlerin diğer kuvvetlerden gelecek iş yüküyle ilgilenmek istememesinden kaynaklanan görüş ayrılıkları ve koordinasyon güçlükleri sebebiyle kısmen başarı sağlamış olan Kuvvetler Arası İşbirliği projesi neticesinde sadece bir fabrika kapatılarak diğer bir fabrikanın kapasitesi artırılma yoluna gidilmiştir ( Pitcher, 1996).

NATO üyesi bir diğer ülke olan Almanya'nın silahlı kuvvetler yapısı incelendiğinde karşımıza şu tablo çıkmaktadır:

Alman Savunma Bakanlığı'na bağlı olan Kara Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı üç ana ast birlik bulunmaktadır. Bunlar; Sevk ve İdare Komutanlığı, Lojistik Komutanlığı ve Eğitim ve Doktrin Komutanlığıdır.

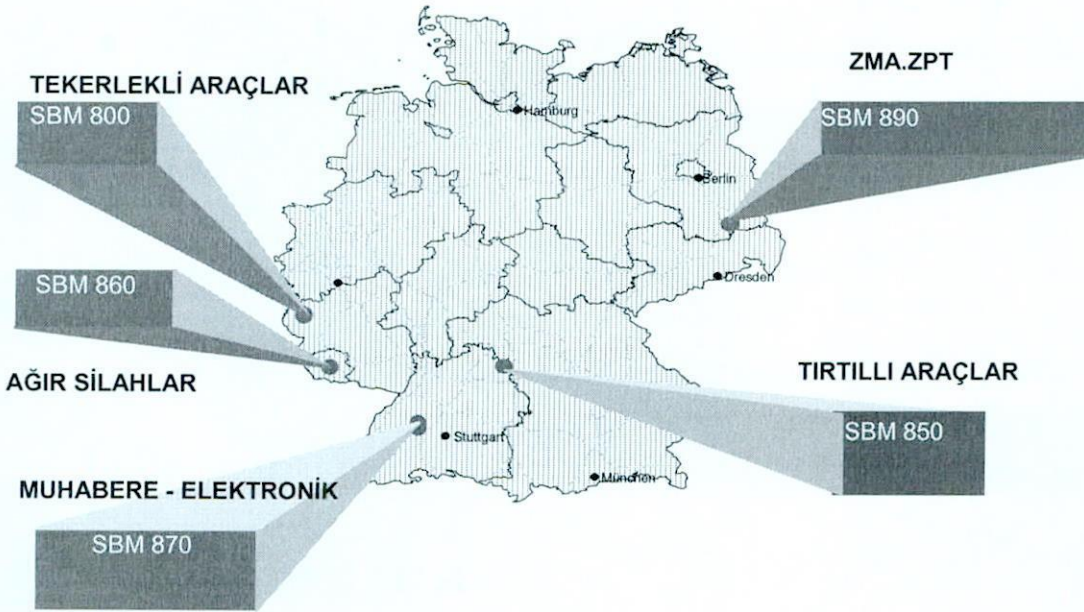
Lojistik destek bakımından her kolordu bir destek bölgesi olarak ele alınmıştır. Her tümen bölgesi de tali sorumluluk bölgelerini oluşturmaktadır. Tali bölge komutanlıkları da birliklerin tüm ihtiyaçlarını karşılamaktan sorumludurlar. Almanya'nın lojistik sistemi ikmal, bakım ve ulaştırma faaliyetlerini kapsamaktadır.

İkmal ve bakım sistemi incelendiğinde ise İstihkâm, Levazım veya Ordudonatım gibi herhangi bir sınıf ayırımı bulunmayıp Birleşik ikmal ve Bakım Sistemi'ni esas alan bir yapıya sahip oldukları ortaya çıkmaktadır.

Sınıf okulu sisteminde ise ayrı ayrı ikmal ve bakım okullarına sahiptirler. Özellikle tümenden daha üst seviyedeki mümkün olan her türlü lojistik faaliyetin sivil sektöre yaptırılması esas alınmıştır.

Tümen seviyesinde ise 12 adet Lojistik Koordinasyon Merkezleri bulunmaktadır. Bakım sistemi ele alındığında ise kullanıcı kademesi personeli tarafından yapılan periyodik bakımlar, birlik bakım kademesince yapılan bakımlar haricinde kalan özellikle fabrika seviyesi bakım ve tamiri gibi özel ihtisas gerektiren bakımları daha ekonomik olmaları sebebiyle sivil firmalar aracılığıyla gerçekleştirmektedirler.

Almanya Kara Kuvvetleri'nde Şekil-2'de görülmekte olan beş adet Sistem Bakım Merkezi (SBM) mevcut olup; 800 ncü SBM tekerlekli araçlara, 850 nci SBM tırtıllı araçlara, 860 ncü SBM ağır silahlara, 870 nci SBM muhabere ve elektronik malzemelere, 890 ncü SBM ise ZPT, ZMA ve diğer malzemelere bakım yapmaktadır. Sistem Bakım Merkezleri bölgesinde bulunduğu lojistik tugayların emrindedir.



Şekil-2: Almanya Sistem Bakım Merkezleri

850 nci Sistem Bakım Merkezi; tümen ve tugaylardan gelen tırtıllı araçların Fabrika / Firma seviyesi bakımlarını yapmakta ve motor/düzen yenileştirmelerini yapmaktadır. Sistem Bakım Merkezleri bizdeki Ana Bakım Merkezi görevlerine benzer görevleri icra etmektedirler.

Sistem Bakım Merkezinin görevlerini şu şekilde sıralayabiliriz; sistemlerin bakım, malzeme modifikasyonu ve onarımını yapmak, sınırlı olarak yedek parça üretimi yapmak, bölgedeki diğer bakım merkezlerine ihtiyaç varsa destek sağlamak ve son olarak mobil bakım onarım ekibi görevlendirmektir.

Sistem Bakım Merkezleri'nde malzeme, araçlar ve iş makineleri detaylı sökümü neticesinde bakımı yapılmakta ancak bu bakım sadece birlik bakım kademesince giderilemeyen arızaların giderilmesi şeklinde olmaktadır. Ülkemiz K.K.K.İği ana bakım merkezlerince icra edilen fabrika seviyesi bakım ve tamir kapsamındaki detaylı bakımlar yapılamamakta birlikte sadece ihtiyaç duyulan cins ve miktarlardaki iş makinesine FASBAT uygulamaktadırlar.

Bakım sistemi olarak ele alındığında Tablo-4'te görüldüğü üzere uygulanan periyodik muayene ve kontroller; birer gün süreli aylık ve altı aylık bakımlar, 150 saat süreli yıllık bakımlar ve son olarak 200 saat süreli iki yıllık bakımlardır. Sistem Bakım Merkezi, sivil sanayinin yapmış olduğu bakımı yapabilecek niteliktedir.

**Tablo-4:** Almanya Bakım Sistemi Periyodik Muayene ve Kontroller

<b>PERİYODİK MUAYENE VE KONTROLLER</b>	<b>UYGULAYAN KADEME</b>	<b>UYGULANMA ESASI</b>	<b>TOPLAM SÜRE</b>
1	Kullanıcı Bakımı	Her Ay	1 Gün
2	Birlik Bakım Kademesi	6 Ay	1 Gün
3	Fabrika / Firma Bakımı	1 Yıl	150 saat
4	Fabrika / Firma Bakımı	2 Yıl	200 saat

Ancak Sistem Bakım Merkezleri'nde sadece onarımlar gerçekleştirilmekte daha kapsamlı ve uzun süreli modernizasyon ve FASBAT gibi bakımlar belli periyotlarla değil ihtiyaç duyulduğunda sivil üretici firmalar tarafından yapılmaktadır.

Almanya Kara Kuvvetleri'nin uyguladığı bakım sistemi Tablo-4'te de görüldüğü üzere sivil üretici firmaların uyguladığı iki yıllık veya 2000 saatlik uygulanan standart periyodik bakımlarla aynı olup hiçbir farklılık arz etmemektedir. Sistem Bakım Merkezi'nde otomasyon sistemi kurulmuş olup yapılan programlara uygun olarak bakımlar gerçekleştirilmektedir.

Bu programları yönetmek için beş sivil program yöneticisi görevlendirilmiştir. Yapılan bakımın üçte biri kadarlık kısmı sivil sanayide yaptırılmaktadır. Sistem Bakım Merkezi'nde ihtiyaç duyulan ve başka türlü temin edilemeyen küçük yedek parçalar da üretilmektedir.

### **c. K.K.K.İğında İş Makinesi Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri**

Kara Kuvvetleri'nde Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir; "Envanterdeki mevcut ana muharebe sistemleri, silah ve araçlarının gerekli test, ölçüm ve muayene sonunda söz konusu araç ve silahların üreticisi tarafından hazırlanan Teknik Talimnamelerde ve FASBAT Broşürlerinde belirtilen kriterlere göre, verilecek karar doğrultusunda tespit edilen seviyede sökümü, arızalı ve yıpranmış malzemelerin yenisi ile değiştirilmesi veya yenileştirilmesi, faal olan malzemelerin kontrolü, tüm parçaların temizlenmesi, yağlanması ve bakımının yapılması, son muayene neticesinde araç ve silahın muharebeye hazır hale getirilmesi" işlemleri olarak ifade edilmiştir.

Ana Bakım Merkezlerinin esas görevi; arızaları asgariye indirmek, bakım etkinliğini artırmak, birlikler tarafından koruyucu ve periyodik bakımların yeterince ve etkin yapılamaması sonucu oluşan bakım zafiyetini gidererek ordu malını muharebeye hazır bulundurmak maksadıyla FASBAT icra etmektir. Yürütülmekte olan FASBAT faaliyetleri çerçevesinde, Ana Bakım Merkezlerinin temel işlevi, sorumlu olduğu ana muharebe sistemleri ile ilgili komutanlık adına teknik otorite ve koordinatör olarak görev yapmaktır.

Kara Kuvvetleri'nde istihkâm iş makinelerinin gerekli periyodik bakımları kullanıcı ve birlik bakım kademelerince yapılmakta diğer fabrika seviyesi bakım ve tamir faaliyeti ise hali hazırda 8 nci Ana Bakım Merkezi'nin yaptığı planlama çerçevesinde belli periyotlarla bakıma alınmaları sağlanmaktadır. Ülkenin hangi bölgesinde olursa olsun mevcut karayolu şebekesi kullanılarak envanterdeki dozer, greyder, loder ve sırası gelen diğer iş makineleri ortalama üç gün intikali müteakip Afyon ilinde bulunan bakım merkezi'nde fabrika seviyesi bakım ve tamiri yapılmaktadır.

Fabrika seviyesi bakım ve tamir; envantere 10 yılını doldurmuş ana iş makinelerinin gerekli test, ölçüm ve durum muayenesi sonucunda; imalatçı firmaları tarafından hazırlanan teknik talimnamelerine ve yıllardır sürdürülen yenileştirme ve onarım faaliyetleri sonucu kazanılmış olan tecrübeler doğrultusunda, tespit edilen kriterlere göre, belirlenecek seviyede sökülerinin yapılması, arızalı parçaların onarılarak faal hale getirilmesi işlemi şeklinde tanımlanmıştır.

Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamiri faaliyetleri bu plana göre yürütülmektedir. Ancak uygulamada fabrika seviyesi bakım ve tamire tabi tutulması öngörülen iş makineleri bakıma alındığında bir kısmının söküm esnasında ortaya çıkan arızalar nedeniyle komple yenileştirmeye alınması zorunluluğu doğmaktadır.

Bunun en büyük nedeni envanterdeki iş makinelerinin % 55'lik bir bölümünün envantere giriş tarihlerinin ortalama 12 yaş ve üstü olmasıdır. Öyle ki 20/25 yıl evvel envantere girmiş olmasına rağmen şimdiye kadar hiç bir şekilde bakım merkezi komutanlığına tahliye edilmeden göreve devam etmekte olan dozer gibi ana iş makineleri bulunmaktadır. Bu durum kullanım alanlarında vazgeçilmez bir değer niteliği taşıyan iş makinelerinin fabrikaya tahliye edilmeleri halinde görevlerinde aksamalar olabileceği endişesini taşıyan birlikler tarafından duyulan korkudan kaynaklanmaktadır.

Ayrıca birlik mevcutlarına ve ihtiyaç durumlarına bağlı olarak aynı tarihte hizmete başlamış olmalarına rağmen farklı çalışma saatlerine sahip iş makinelerine de rastlanmaktadır. Tüm bu hususlar fabrika seviyesi bakım ve tamir planlarında sapsulara yol açabilmekte ve iş makinelerinin tahliye edildikten sonra yapılan durum

muayeneleriyle fabrika seviyesi bakım ve tamiri harici yenileştirmeye tabi tutulmalarını kaçınılmaz kılmaktadır.

Fabrika seviyesi bakım ve tamiri, özelliği gereği bir defalık bakım olmayıp takip eden belli periyotlar ile tekrar edilmesi gereken bakım faaliyetleri bütünlüğüdür. Bu maksatla her bir iş makinesi için yapılacak her türlü işlemin sürekli arşivlenmesi ve sıkı bir takibin yapılması mecburidir. Buna ilaveten fabrika seviyesi bakım ve tamir periyotlarının iş makinelerinin çalışma sürelerine, birlikteki mevcutlarına, coğrafi şartlara ve iklim koşullarına bağlı olarak farklılık arz edebileceği değerlendirilmektedir.

İstihkâm sınıfı iş makineleri düşük devirli olup, yüksek tork ve güce sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı iş makineleri çalışma saatlerine göre belirlenecek bakımlara tabi tutulmalıdır. Bu maksatla iş makinelerinin yapısına bağlı olarak 250, 500, 1000, 2000 saat olarak tespit edilen çalışma periyotlarına göre birliğinde periyodik bakımları yapılan iş makinelerinin çoğunlukla fabrika seviyesi bakım ve tamiri ihtiyacı gerektirmeyeceği, ancak fabrika seviyesi bakım ve tamire tabi tutulmaları halinde uygulamanın gerçek anlamda fabrika seviyesi bakım ve tamiri ile sınırlı kalacağı ve yenileştirme benzeri daha teferruatlı işlemlere lüzum kalmayacağı değerlendirilmektedir.

## İKİNCİ BÖLÜM

### TESİS YERİ SEÇİMİ

#### 1. LİTERATÜR

İlk olarak 17 nci yüzyılda matematikçi Evangelista Torricelli'nin birbirinden belli mesafe uzaklıktaki hastane, başkent veya alışveriş merkezinin birbiriyle ilişkilerinin optimizasyonu ile ilgili bir problem kümesiyle çalışmıştır.

1608–1647 yılları arasında çalışmasında Torricelli üç müşteri ve bir tesisi içeren problemde müşterilerle tesis arasındaki Öklid mesafesinin toplamını en aza indirecek modeli kurmaya çalışmıştır. Torricelli herhangi iki müşteriden tesise çizilen çizgilerin oluşturduğu açılarının 120 derece olacak şekilde tesisin yerleştirilmesi gerektiğini, bu açının 120 dereceyi aştığında ise optimal noktanın bozulduğuna işaret etmiştir (ReVelle, 1991).

20 nci yüzyılın başlarından 1960 yıllarına kadar olan süre zarfında ise ekonomistler, coğrafyacılar ve bilim adamları bu alanda çalışmalar yapmışlardır. Modelleri genelde iki boyutlu bir uzayda gerek geometrik gerekse ölçüme dayalı metotlarla tesisleri yerleştirmeye çalışmışlardır.

Torricelli ile birlikte kendisinde 17 nci yüzyıl matematikçilerinden olan Fermat'da bugün Weber Problemi diye adlandırdığımız üç düğümlü problem üzerinde çalışmıştır. Bu problem aynı zamanda Steiner-Weber diye de adlandırılabilir. Çünkü üç müşteri ve bir tesis yerleşimi ile ilgili olarak Steiner ortaya koyduğu şebeke analizi çözümleri mevcuttur (ReVelle, 1997).

Ancak ilk olarak tartışmasız en ünlü örneği Weber (1909) bir fabrikanın yerleştirilmesi ile ilgili olarak gerçekleştirmiştir. O zaman ki üstün geometrik alt yapıya rağmen Weber (1909) iki yer arasında uygun bir yere bir fabrikayı yerleştirme probleminde bile oldukça az gelişme kaydetmiştir.

İlk gerçek tesis yerleşim algoritma matematikçi Weiszfeld (1937) tarafından ortaya konulmuştur. O düzlem üzerinde bir tesis ve müşterileri arasındaki mesafelerin

toplamını minimum yapacak bir algoritma geliştirmiştir. Sonucunda bu algoritmanın Miehle (1958), Kuhn (1962), ve Cooper tarafından geliştirilmesiyle son bulmuştur. Yazarlar geliştirdikleri bu algoritmada talepleri ağırlıklandırarak tesislerin iki koordinatından oluşan bir amaç fonksiyonuyla birleştirerek bir model oluşturmuşlardır (ReVelle ve Eiselt,2005).

Klasik fabrika yerleşim problemleri üzerinde yıllar boyu çalışılmış olmasına rağmen daha somut, gerçekçi modeller ve algoritmalar ancak otomatik hesaplama kabiliyetlerinin ortaya çıktığı 1960 yıllarının ortasında oluşturulabilmiştir. Bu konular hakkında Hansen (1987), Bandeau ve Chiu (1989), Mirchandani ve Francis (1990), Francis (1992) ve Labbe (1995) tarafından kitaplarda ve araştırmalar yer almıştır.

Kapasite kısıtlı ve kapasite kısıtsız problem türleri oldukça fazla ilgi görmüş, özellikle algoritma yaklaşımları dikkati çekmiştir.

Balinski(1965) problemlerindeki kapasite kısıtsız çözümlenmeleri; Bilde ve Krarup (1977) ve Erlenkotter (1978) benzer yaklaşımlarının aynı zamanda Morris (1978) doğrusal programlama yaklaşımının ve Galvao (1989), Körkel (1989) ve Barcelo ve diğerlerinin algoritmalarının temelini oluşurmaktadır (ReVelle ve Laporte,1996).

Düzlemde koordinatları esas alarak, tek tesisli yerleşim problemlerinin ayrı bir amaç fonksiyonu ve basit aramalarla çözülebileceği Vergin ve Rogers (1967) tarafından ortaya konulmuştur. 1950 yıllarına kadar yöneylem araştırmalarında ağ üzerinde fabrika ve tesis yerleşimi üzerine oldukça az çalışma var iken ağ tabanlı problemlere verilen önem 1960 yıllarının ortalarına kadar beklemiştir.

Hâkimi (1964 – 1965) p-ortanca problemi adını verdiği yeni bir problem sınıfı oluşturarak p adet tesisi n adet düğümden oluşan bir ağ üzerine minimum ağırlıklı mesafede yerleştirerek tanımlamıştır. Hakimi ağ üzerindeki tüm düğümlerde p adet tesis yerleştirilirken sadece bir tane optimal çözümler olduğunu ispatlamıştır.

Bu çalışması Dantzig'in doğrusal programlamada sonsuz sayıdaki optimal çözümler kümesinden sonlu sayıdaki kümeye indirgenmesine benzemektedir. Bu sonuç genelde "Hâkimi Teoremi" veya "Düğüm Özelliği" olarak ilişkilendirilmektedir. Bu

özellikleri kullanarak sıfır bir tamsayılı çözümlenmeleri ilk olarak ReVelle ve Swain (1970) yapmışlardır.

Merkez problemleri ya da minimaks mesafe problemleri söz konusu olduğunda Öklid mesafelerini esas alan modelleri çözümlenmede Elzinga ve Hearn (1972) veya çok mükemmel bir kaynak olan Shamos ve Hoey (1975) gösterebiliriz. Elzinga ve Hearn koordinatları esas alan düzlemdeki tek merkezli yerleşim problemlerinde büyük doğrusal programlama çözümlenmelerinden gelen kayda değer kapalı şekil çözümler üretmişlerdir. Problem dört kez daha çok kısıtlarla başlamakla beraber sonuçta sadece dört kısıta indirgenmiş grafik metotla çözümlenebilecek hale gelmiştir (ReVelle ve Eiselt,2005).

Yakın geçmişteki araştırmalara geldiğimizde Brandeau ve Chiu (1989) çalışmalarını görmekteyiz. Yazarlar temsili elli yerleşim problemini ele alarak incelemişler ve sonuçta ağ tasarımı, tesis yerleşim, ödenek kaplama ve rekabetçi tesis yerleşimi olmak üzere dört sınıfa ayırmışlardır. Tesis ve malzeme yerleşimi ile ilgili sayısız çalışmalar yapılmış olup Pirkui ve Jayaraman (1998) ve Jayaraman ve Srivastava (1995) çok amaçlı, çoklu, kapasite kısıtlı tesis yerleşim problemleriyle ilgili çalışmalar yapmışlardır. Kapasite kısıtlı fabrika ve tedarik zinciri yönetimi problemi için karışık tamsayılı programlama çözümlenmesi geliştirmişler ve Lagrange çözümlenmesine dayalı bir sezgisel ortaya koymuşlardır.

Jayaraman ve Srivastava (1995) şebeke üzerinde belli sayıdaki tesisin yerlerini bulacak modeller araştırmışlardır. Crainic (1993) ise diğerleri gibi denge kısıtlı basit yerleşim ve atama problemleri için dal-sınır tekniği sunmuştur.

Iakovou (1997) petrole bağlı çevre kirlenmesine için acil temizlik teçhizatının miktar ve yerleşiminin matematik modelini ortaya koymuştur. Köksalan (1995) ise bira fabrikalarının yerleşim ve dağıtım ağıyla ilgili bir araştırma yapmıştır. Bu araştırmada bir karma tamsayılı programlama modeli toplam yerleşim ve ulaştırma maliyetlerini en aza indirmek amacıyla kurulmuştur. Burada; çok sayıda değişken modeli karmaşıktığından bu tür problemlerin çözümünde boyutların esas ilgilenmemiz gereken unsur olduğu üzerinde durulmuştur.

Son zamanlarda ise en iyi çözüme yakınlığı ve hızlı çözümler üretmesi sebebiyle sezgisel yöntemlerin daha etkili olduğu düşünülmektedir. Çoğu sezgisel yöntemler büyük boyutlu yerleşim-atama problemleriyle ilgilenilirken geliştirilmiştir.

Bu alandaki katkılardan biri de Laporte (1985, 1986, 1988) çalışmalarıdır. Bu çalışmalarda araç rotalama ve yerleşim problemlerini bir grafik gösterim sonucu kısıtlı atama alt problemlerine ayrıştırarak dal-sınır tekniğiyle çözülebilecek bir yöntem geliştirmiştir. Sonuçta Laporte 100 düğüme kadar araç rotalama ve 80 düğüme kadar yerleşim problemlerini makul zamanda bulan çözümler geliştirmiştir.

Ronnqvist (1999) tek kaynak kısıtlı tesis yerleşim problemiyle bağlantılı sezgisel bir yöntem geliştirmiştir. Bu yaklaşımda kesin birleşim ölçütü sağlandığında bir seri eşleştirme problemini çözen bir algoritma bulunmaktadır.

Tüzün ve Burke (1999) yerleşim-rotalama problemi için bir iki-aşamalı tabu arama sunmuşlardır. Tzeng ve Chen (1999) ise bulanık çok amaçlı yaklaşıma dayanan yerleşim modeli bulmuşlardır. Bu model uluslar arası bir hava alanında bulunması gereken en iyi yangın istasyonu sayı ve yerlerini belirlemede yardımcı olmaktadır. Çözümlemede genetik algoritma uygulanmış ve sayısal sıralama yöntemiyle karşılaştırmalar yapılmıştır.

Hansen (1994) geliştirilmiş tesis yerleşim ve rotalama problemini çözmüştür. Sridharan (1993) Lagrange çözümlemesine dayalı tek kaynak kısıtlı tesis yerleşim problemini çözmüştür.

Beasley (1993) dört farklı yerleşim problemi ve p-medyan, kısıtsız tesis yerleşim problemi, kısıtlı tesis yerleşim problemi, tek kaynak kısıtlı tesis yerleşim problemi için Lagrange sezgisel yöntemlerini geliştirmiştir. Desrochers ve Verhoog (1991) filo kapsamını bulmayı ve toplam maliyeti en az yapacak şebeke kümesini hedefleyen filo büyüklüğü ve karma araç rotalama problemi için sezgisel bir algoritma tanıtmıştır.

Araç rotalama problemleri bir veya daha fazla kaynaktan coğrafik olarak dağılmış çok sayıda depo yerlerine en uygun dağıtım şebekesini bulmaya yarayan çözümler olarak tanımlanabilir. Bu problemin hali hazırdaki elektrik enerjisini yeniden

tesis etme çabalarıyla ilişkisi vardır. Çoğu rotalama ve planlama problemleri özel bir sınıf olan sıfır bir tamsayı programlamayla çözülebilir.

Assad(1988), ile Bodin ve Levy (1988) amaç fonksiyonunda anapara ve işletim maliyetlerini ağırlıklandırılmış birleşimi şeklinde en az yapacak haliyle alarak önemli katkılarda bulunmuştur (Wang ve diğerleri, 2004).

## 2. TESIS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ

Yeryüzündeki kısıtlı kaynaklar ve en kıt kaynak diye nitelendirebilecek zaman kısıtları sebebiyle bilim adamları tesisleri ve kaynakları nasıl yapalım ki en kısa zamanda, en uygun ve en yakın yere yerleştirelim sorusuna cevap aramakla geçirmişlerdir.

Tesis yerleşim problemleri hem özel sektör hem de kamu sektörü için yüzyıllar boyu bir problem sahası olarak ortaya çıkmaktadır. En genel tanımıyla tesis yerleşim problemleri; optimal tesis miktarlarının hesaplanması, tesislere üretilen malların veya hizmetlerin nasıl ulaştırılacağına tayin edilmesi ve son olarak da müşterilerin hangi tesislerden hizmet alacağı sorularına cevap bulmakla ilgilenmektedirler.

En yaygın tesis yerleşim problemleri; üretim-dağıtım şebekeleri, dağıtılmış veri ve iletişim şebekeleri, itfaiye, sağlık ve bankacılık hizmetleri gibi servis sağlayıcı sektörleri kapsamaktadır. Bir tesis şebekesinin seçiminin stratejik olarak hizmet verilen müşteri seviyesi, sistem geliştirme ve işletme maliyetleri üzerinde oldukça fazla etkisi bulunmaktadır. Bütün bu çalışmalar özellikle son 30 yılda birçok bilim adamının bu konuyla ilgilenmelerine sebep olmuştur ( Gao ve Robinson,1994:410-411).

Yerleşimden kastedilen sadece sabit tesisleri değil, aynı zamanda bu tesislerin içerisine yerleştirilecek olan diğer unsurları da kapsamaktadır. Okul, hastane, banka şubelerinden yerleştirilmesinden ambulansların, acil bakım ve onarım ekiplerinin, itfaiye istasyonlarının yerleştirilmesine kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu tesis yerleşiminde amaç; elde edilen kârın maksimizasyonu olacağı gibi katlanılacak olan maliyetlerin de minimizasyonu olabilir.

Yukarıda belirtilen tüm maksatlar için “Yer seçimi Analizi” terimi yerleşimi problemlerinin formülasyonu ve çözüm aşamalarından oluşan safhaları kapsar. Yerleşim analizini diğer bir deyişle yerleşimi modellerinin oluşturulması ve oluşturulan bu modellerin çözülmesi olarak düşünülebilir.

Kurulan modeller genellikle ve karakteristik olarak bir veya daha fazla tesisi yerleştirmekle ilgilenmekte ve ayrıca sabit kurulum maliyetleri, taşıma maliyetleri, kurulabilecek maksimum tesis sayısı, kurulacak olan yeni tesislerin eski kurulu tesislerle aralarında olabilecek maksimum mesafe ve bu tesisler arasında taşınabilecek en fazla mal cins ve miktarları gibi kısıtları da içerebilmektedir.

Tesis yerleşim problemleri farklı yazarlar tarafından değişik şekillerde sınıflandırılmalarına rağmen modelleri ve güvenilir algoritmalarla çözülebilirliklerine göre dört gruba ayrılabilir: Düzlemsel yerleşimi modelleri, tesis yerleşimi problemleri, şebeke modelleri ve kesikli veya karışık tamsayılı modeller.

Yazarların yapmış olduğu bu sınıflandırma yaklaşık olarak modellerin günlük yaşama yansıtmasına ve aynı zamanda karmaşıklıklarına göre bir sıralamadır. Düzlemsel modeller adından da anlaşılacağı üzere tesislerin muhtemel tesis yerlerinin sonsuz olduğu düzlemde yerleştirilmelerini içerir. Bu tip modeller genellikle öklid mesafelerini veya diğer ilişkili mesafeleri kullanırlar ve sürekli bir özelliğe sahiptirler.

Bu modeller sürekli ve analiz edilebilirlikleri diğer modellere göre daha zor olduğundan daha temel ve basit düzlemsel modeller üzerine yoğunlaşmak daha doğru olacaktır. Özellikle bilim adamları şebeke ve kesikli modellere nazaran düzlemsel modellerin temel kısıtlamalarından dolayı genel düzlemsel modellerden her zaman kaçınılmışlardır ( Francis, McGinnis ve White,1983:220–221).

Tüm bunlara ilaveten düzlemsel modeller için oldukça fazla literatür bulunmaktadır ve bu sebeple çözümlenemeyecek düzlemsel problem bulunmamaktadır. Üretim hiçbir aşamasında depolanmayan veya bir tesiste belli bir süre beklemeden sevk edilen mamül bulunmadığından ve kurulacak olan tesislerin

optimal bir şekilde dağılması istendiğinden tesis yerleşimi problemlerini ayrı bir bölüm olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu tür tesis yerleşim modelleri kesikli ve sürekli yerleşim problemlerinin özelliklerini yansıtmaktadırlar ve metodoloji bakımından tek bir sınıfa dahil edilememektedirler. Çoğu modeller ise daha önce belirtilen tesis yerleşim maliyetlerinin minimizasyonları ile ilgilenmektedirler.

Düzlemsel yerleşimi modellerinin temel varsayımlarından birisi de, mesafeler için ulaşım şebekesi veya benzer şebekeler üzerindeki gerçek mesafelere yaklaşık değerlerin alınarak modellerin oluşturulmasıdır. Böylece düzlemsel modellerden kaçınmanın diğer bir yöntemi de; doğrudan kurulu olan şebeke üzerindeki mesafelerin alınarak sonuçta şebeke modelleri ile çözüm yollarını aramaktır.

Ele alınan şebeke modelleri genellikle en temel modeller olan n-merkez, n-ortanca ve küme kaplama modelleridir. Bundan sonraki aşamada ise şebeke kurulum yapılarının ihtiyacımıza cevap vermekte zorlandığı durumlarda şebeke modellerinin eşiti konumunda olan kesikli optimizasyon modelleri kullanılır ve uygun metotlar yardımıyla çözüm bulunur.

Kesikli yerleşim modelleri; modellerinde ihtiva ettikleri sabit ve taşıma maliyetleri, gerek geliştirme gerekse çözüm üretme aşamalarında üzerinde yoğun çalışılmaları sebebiyle gerçek hayat problemlerine cevap verebilecek optimal modellerdir diyebiliriz. Ancak modellerin gerçek hayatı karakterize etmesinin beklenen sonuçları da; oldukça fazla ve gerçek veriye ihtiyaç duymaları, tümüyle bilgisayar desteğine ihtiyaç göstermeleri, gerçek hayata adaptasyon zorlukları ve son olarak ta bu modellerin doğruluğuna ve uygunluğuna inandırılması gereken müşterilerin varlığı sebepleriyle karşı karşıya olunan zorluklardır ( Francis, McGinnis ve White,1983:220–221).

## a. Yer Seçimi Problemlerinin Tanımı

"Yer Seçimi Analizi" terimi verilen bir uzay ya da arazi üzerinde tesislerin yerleşimiyle ilgili problemlerin modellenmesi, çözüm tekniklerinin ortaya konulması ve sonucunda çözümlerin bulunması olarak tanımlanabilir. Açık bir bölge üzerinde yerleştirilecek olan tesisler arasında çakışma veya etkileşim beklenmezken kapalı bir alanda yerleştirilmek istenen tezgâh, makine gibi parçaların konumlandırılmasında etkileşimlerin olması muhakkaktır. Klose ve Drexl (2005) tesis ve malzeme yerleştirilmesiyle alakalı 1500 adet kaynağın varlığını listeleyerek göstermişlerdir.

Sonuçta yer seçimi problemlerini tanımlayan; hali hazırda düğümler ya da yollar üzerinde hizmet bekleyen müşteriler, yerleştirilmek istenen tesisler, müşterilerin ve tesislerin üzerine yerleştirileceği uzay ya da alan, müşteriler ve tesisler arasındaki mesafeyi veya zamanı tanımlayacak birim sistemi olmak üzere dört adet bileşen bulunmaktadır. Yerleşim problemlerinin uygulamaları benzin istasyonlarından restoran zincirlerine, enerji santrallerinden afet yardım merkezlerine kadar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Geleneksel olmayan bazı yerleşim problemlerinde her tesis belli bir alana yerleştirilmesi gereken ve belli bazı özellikleri taşıyan bir ürünü simgelemektedir. Müşteri ya da, müşteri grupları da, ataması veya yerleştirileceği boşluğu ya da zamanı simgeler. Benzer bir alan siyasi bilimlerde Niemi ve Weisberg (1976) bakanlıklara optimal personelin yerleştirilmesini ele almaktadır. Eiselt (1992) çok farklı alanlarda uygulamalar yaparak bu konuyu incelemiştir. Jacobsen ve Madsen (1980) , katı atık dağıtım noktaları Marks ve Liebman(1971) ve Wirasinghe and Waters (1983), banka şubeleri Hopmans (1986), ve moteller Kimes ve Fitzsimmons (1990) , kilise kampları Huxley (1982), elbise beden ölçüleri Tryfos (1986), külçe kalıpları Vasko ve diğerleri (1987), ve yağmur drenajları Hogan (1990) olmak üzere gerek özel sektör gerekte kamu sektörünün çok farklı alanlarında uygulanması yapılmaktadır (ReVelle ve Eiselt,2005).

## b. Yer Seçimi Kararlarının Uzayı

Yer Seçimi problemiyle ilgilenen bilim adamları tesislerin yerleştirileceği uzayı ya da düzlemi bu tür problemleri, sınıflamada kullanmaktadırlar. İlk sınıflandırma d boyutlu gerçek uzayda yerleşim problemleri, diğeri ise ağ üzerinde yerleşim problemleridir. Daha sonra bu başlıkları da kendi içerisinde kesikli ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Yerleşim problemlerinin matematiksel formülasyonuna baktığımızda; verilen herhangi iki noktayı  $X = (x_1, x_2)$  ve  $Y = (y_1, y_2)$  kabul edersek ve bu iki nokta arasındaki  $l_p$  mesafesini de  $1 \leq p$  koşulları altında  $|X - Y|_p$  olarak tanımlarsak;

$$|X - Y|_p = \left[ |x_1 - y_1|^p + |x_2 - y_2|^p \right]^{1/p}$$

Formül dikkatlice incelendiğinde  $p = 1$  olduğunda  $l_p$  mesafesi dikdörtgensel mesafeyi,  $p = 2$  alındığında Öklid mesafesini ifade etmektedir.  $1 < p < 2$  olduğunda ise mesafe değerinin dikdörtgensel mesafe değeriyle Öklid mesafe değeri arasında değiştiği ve son olarak da  $2 < p$  için Öklid mesafe değerinden daha düşük bir değer aldığı ve  $p$  değeri yükseldikçe değerinin düştüğü gözlemlenir.  $p$  değeri sonsuza doğru giderken limiti alındığında ise Tchebyshev mesafesini elde edilir:

$$|X - Y|_\infty = \max \{ |x_1 - y_1|, |x_2 - y_2| \}$$

Bu mesafeleri Francis ve diğeri (1983) yukarıda belirtilen şekilde tanımlanırken değişik usullerde ifade edilebilirler. Literatürün büyük bir bölümünde mesafe tanımlarıyla ilgili üç özel durumdan söz edilmektedir. Bunlar Manhattan veya dikdörtgensel mesafe, Öklid mesafesi ve Tchebyshev veya maksimum mesafedir. Tüm bunların aksine ağ üzerinde mesafeler iki nokta arasındaki en kısa yol olarak

bulunur. En kısa yolu bulmak için de önceden bir takım işlemler yapılması gerekmektedir.

### **c. Problem Tipleri**

Kesikli optimizasyon modellerinin sürekli optimizasyondan farkı; sürekli problemlerde seçilen nokta düzlemde veya ağ üzerinde herhangi bir nokta iken kesikli problemlerde düzlemde veya ağ üzerindeki kısıtlı noktalardır. Sürekli yer seçimi problemlerine örnek; acil kurtarma helikopterinin bölgede herhangi bir yere inebilmesi veya ambulansın yol şebekesi üzerinde herhangi bir yerde durabilmesidir. Kesikli yerleşim problemi için örnek ise; hücresel telefonların röle veya baz istasyonlarının her yere kurulamayacağı, sadece dağ zirvelerine, yüksek apartmanların tepesine konulmasıdır.

Kesikli veya sürekli optimizasyon problemlerinde farklı yaklaşımlarla çözümler elde edilebilir. Francis (1963) tarafından tek tesis modeliyle ilgili olarak ortaya koyduğu dikdörtgensel mesafeli çözümlerin daha doğru sonuçlar verebileceği söylenebilir. Bu metotlar genelde Weiszfeld (1937) tarafından geliştirilen çözüm aşamalarındaki iterasyon sayılarını kontrol ederek işlem zamanını kısaltmayı amaçlamaktadır (Love ve Dowling, 1988).

#### **(1) P-Ortanca Problemleri**

P-ortanca problemi üzerinde yıllardır çalışılan ve çok bilinen tesis yeri seçimi problemidir. İlk kez 1964–1965 yıllarında Hâkimi tarafından tanımlanmıştır. Hâkimi her düğümün bir talep noktası, aynı zamanda potansiyel hizmet yeri olduğunu varsaymıştır. Düğümün talep seviyesi ağırlık olarak alınmıştır. P-ortanca problemleri  $p$  hizmetin  $n$  talep noktasına olan ağırlıklı hizmet mesafelerinin veya sürelerinin minimize edilmesini sağlayacak şekilde yerleştirilmesini içermektedir.

P-ortanca problemleri orta büyüklükteki talebin ( $n=200$ ) karşılanması problemlerinde uygun çözümü sağlar. Daha büyük talep düğümü olduğunda ise ( $n=1000$ ) çözüm için sezgisel yöntemlerin kullanılması gerekir (Erkut ve Bozkaya, 1999). P-ortanca modeli ilk olarak 1970 yılında ReVelle ve Swain tarafından

modellenmiştir. Bu model talep düğümlerini içeren bir şebeke üzerinde her düğüme hizmet merkezlerinin yerleştirilebileceğini kabul eder.

Modelde hizmet birimlerinin kapasiteleri ile ilgili bir sınır yoktur. Bu varsayımdan yola çıkarak her talep düğümü en yakın hizmet noktasından yararlanabilmektedir. Ayrıca talep noktalarındaki miktarlarla çarpılarak da p-ortanca modelini ağırlıklandırmış olunur. P-ortanca modellerini; acil servis sistemlerinin yerleştirilmesi, askeri veya sivil fabrikaların yerleştirilmesi, banka şubelerinin ve alışveriş merkezlerinin yerleştirilmesi, posta merkezlerinin yerleştirilmesinde ve daha birçok alanda kullanılabilir. Modelin formülasyonu aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{Min} Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (2.3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.4)$$

$$X_{ij}, Y_j = \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.5)$$

Burada ;

$I$  = Talep noktalarının oluşturduğu küme,

$J$  = Arz, tesis noktalarının oluşturduğu küme,

$d_{ij}$  :  $i$  talep noktasından  $j$  muhtemel tesisine olan mesafe,

$P$  : Kurulabilecek toplam tesis sayısı,

$w_i$  :  $i$  noktasındaki toplam talep miktarı,

$X_{ij}$  :  $i$  noktasındaki talep  $j$  noktasındaki tesis tarafından karşılanırsa 1,

diğer durumlarda 0 değeri alan ikili değişken,

$Y_j$ :  $j$  noktasında tesis kurulması halinde 1, aksi takdirde 0 değeri alan ikili değişken.

P-ortanca modelindeki ilk denklem (2.1) modelin amaç fonksiyonudur ve talep noktasındaki toplam taleple ağırlıklandırılarak tesis ve müşteri arasındaki mesafeyi minimum yapmayı amaçlar. (2.2) numaralı kısıt müşteri taleplerinin tamamının karşılanmasını sağlar. (2.3) numaralı kısıt kurulabilecek en fazla P adet tesisi gösterir. (2.4) numaralı kısıt taleplerin açık hizmet veren tesislerden karşılanmasını sağlar. (2.5) numaralı kısıt karar değişkenlerinin yani ikili değişken olduğunun ifade etmektedir.

## (2) P-Merkez Problemleri

Ulaşım problemleri; belirli sayıda tesisin, en büyük kaplama mesafesini veya ulaşım süresini minimum yapacak ve tüm talepleri karşılayacak şekilde yerleştirilmesini inceler. P-merkez problemleri minimaks problemleri olarak da bilinir. Yani, herhangi bir talep ile en yakınındaki hizmet merkezi arasındaki maksimum mesafeyi minimum yapmakla ilgilenir.

P-merkez problemi, eğer tesis yerleri düğümlerle sınırlı ise tepe merkez problemi adını alır. Aynı şekilde şebeke üzerine herhangi bir düğüme tesis yerleştirilebiliyor ise problem mutlak merkez adını alır. P-merkez problemlerinde  $(x, y, z)$ ,  $y = 1$  herhangi bir uygun çözümü için  $F_j$  hizmet biriminin açık olması,  $x_{ij} = 1$  olabilmesi için ise  $C_j$  müşteri talebinin  $F_j$  hizmet birimine atanmış olması ve  $Z$  uygun mesafe veya süre sınırının altında olmalıdır (Owen ve Daskin, 1998).

Bu tür minimaks amaç fonksiyonlu modeller genellikle acil servis, polis, yangın ve ambulans gibi servislerin yer seçimi karar problemlerinde kullanılır. Böyle problemlerde genel kriter; her talep noktasını verilmiş ise ağırlıklı mesafe veya süre içinde en yakın tesise ulaştırmaktır. Ağırlıklandırarak tanımlanan bir talep noktası da bir sabit olarak tanımlanabilir ve bu katsayı müşteri talebinin karşılanabilmesi için

tesislerin farklı yerlerde kurulmasına sebep olur. Bu problemlerin çözümü için kullanılan modeller aşağıdaki şekilde formüle edilir:

$$\text{Min } Z \quad (2.6)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.7)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.8)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq P \quad (2.9)$$

$$X_{ij} \cdot d_{ij} \leq Z \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.10)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.11)$$

Burada;

$I$  : Talep noktalarının oluşturduğu küme,

$J$  : Arz, tesis noktalarının oluşturduğu küme,

$d_{ij}$  :  $i$  talep noktasından  $j$  muhtemel tesis noktasına olan mesafe,

$P$  : Kurulabilecek toplam tesis sayısı,

$X_{ij}$ :  $i$  noktasındaki talep  $j$  noktasındaki tesis tarafından karşılanırsa 1,

diğer durumlarda 0 değerini alan ikili değişken.

$Y_j$ :  $j$  noktasında tesis kurulması halinde 1, diğer durumlarda 0 değerini

alan ikili değişken.

P-merkez modelindeki ilk denklemde (2.6) tesis ve müşteri arasındaki en büyük Z mesafesini minimum yapmayı amaçlar. (2.7) numaralı kısıt müşteri taleplerinin tamamının karşılanmasını sağlar. (2.8) numaralı kısıt taleplerin açık hizmet veren tesislerden karşılanmasını sağlar. (2.9) numaralı kısıt kurulabilecek en fazla P adet tesisi gösterir. (2.10) numaralı kısıtta tesis ve müşteri arasındaki en

büyük mesafenin Z'den küçük olmasını sağlar. (2.11) numaralı kısıtta karar değişkenlerinin ikili değişken olma özelliğini sağlar.

### (3) Küme Kaplama Problemleri

Bazı hizmet yeri seçimlerinde ortalama mesafelerin veya en büyük mesafenin minimizasyonu uygun olmayabilir. Örnek olarak; bir şehirde mevcut olan ambulans ve itfaiye gibi acil yardım merkezlerinin yerleştirilmesi verilebilir. Bu örneklerde taleplerin kritik olmasından dolayı kabul edilebilir bir ulaşım mesafesi ve zamanına bağlı kalınmak zorunda olunmasıdır. Bundan dolayı değişik optimizasyon yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Tesis yeri seçimi problemlerinde bir talebe belirlenen bir süre içerisinde hizmet verilebiliyorsa o talebin kaplandığı söylenir. Bu tür problemler optimizasyonun şekline ve kaplamanın türüne göre küme kaplama ve maksimum kaplama problemleri olmak üzere iki türde ele alınmaktadır.

Küme kaplama problemlerinde amaç tesis yerleştirme maliyetini ve yerleştirilecek tesis sayısını minimum yapmaktır (Batta ve Mannur 1990, Owen ve Daskin 1998). Küme kaplama problemleri ise bütün taleplerin tamamının kaplanmasını garanti altına alacak hizmet merkezi sayısının ve yerlerinin belirlenmesini garanti eder.

Bu çözümlerler düğümlerin talep büyüklükleri arasında farklılık olmadığını kabul etmektedir. Her düğüm tek bir müşterinin talebi yahut toplam talebin büyük bir çoğunluğu olsa bile maliyetine bakılmaksızın uygun mesafeden kaplanmak zorundadır. Eğer  $S$  kaplama mesafesi talep düğümlerine göre yerleştirilmesine bağlı olarak küçük ise, kaplama kısıtı çok sayıda hizmet merkezinin yerleştirilmesine neden olabilir. Dahası dışarıda kalmış çok küçük bir talep noktasının kaplanması çok büyük bir maliyetin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu problemin çözümü için kullanılan modelin formülasyonu :

$$\text{Min } \sum_j c_j X_j \quad (2.12)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.13)$$

$$X_{ij} \cdot d_{ij} \leq S \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.14)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.15)$$

Burada;

$I$  : Talep noktalarının oluşturduğu küme,

$J$  : Arz, tesis noktalarının oluşturduğu küme,

$C_j$  :  $j$  muhtemel tesisin kurulum maliyeti,

$d_{ij}$  :  $i$  talep noktasından  $j$  muhtemel tesis noktasına olan mesafe,

$N$  : Muhtemel tesis yerlerinin oluşturduğu küme,

$S$  : Kabul edilen en uzak mesafe,

$X_{ij}$  :  $i$  noktasındaki talep  $j$  noktasındaki tesis tarafından karşılanırsa 1,

diğer durumlarda 0 değerini alan ikili değişken.

Amaç fonksiyonu (2.12) hizmet yerleştirmenin maliyetini minimum yapmaktadır. Birçok durumda  $C_j$  maliyetlerinin  $j$  muhtemel yerlerinin hepsi için eşit olduğu kabul edilir. (2.13) kısıtı her  $i$  talebinin karşılanması için uygun mesafede en az bir hizmet noktasının yerleştirilmesi gerektiğini belirtmektedir. (2.14) kısıtı kurulacak olan tesislerin mesafesinin kabul edilen mesafe limitleri dâhilinde olmasını sağlar. (2.15) numaralı kısıt  $X_j$  karar değişkeninin eğer  $j$  düğümüne tesis kurulursa 1 aksi halde 0 değerini almasını sağlamaktadır.

#### (4) Maksimum Kaplama Problemleri

Küme kaplamanın yapılamadığı, kaynakların yetersiz olduğu durumlarda maksimum kaplama problemleri kullanılır. Maksimum kaplama problemlerinde

amaç belirli sayıda hizmet noktası ve kabul edilebilir  $S$  hizmet mesafesinde kaplanan talebin maksimize edilmesidir.

Gerek küme kaplama, gerekse maksimum kaplama problemlerinde kurulan modellerde potansiyel tesis yerleri kesin olarak belirlidir. Bu muhtemel yerler talep düğümlerinin bir kısmını veya tümünü içerecek şekilde olabilir. Bu güne kadar olan çalışmalar göstermiştir ki, en uygun sonuçlara ulaşılabilmesi için potansiyel tesis yerlerinin sayısı talep noktalarının sayısından oldukça fazla olmalıdır.

Maksimum kaplama probleminin formülüzasyonu aşağıdaki gibidir.

$$M a x \sum_i h_i Z_i \quad (2.16)$$

$$\sum_{j \in N} X_j \leq Z_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.17)$$

$$\sum_{j \in N} X_j \leq P \quad \forall j \in J \quad (2.18)$$

$$X_j, Z_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.19)$$

Burada;

$I$  : Talep noktalarının oluşturduğu küme,

$J$  : Arz, tesis noktalarının oluşturduğu küme,

$h_i$  :  $i$  noktasındaki talep miktarı,

$N$  : Muhtemel tesis yerlerinin oluşturduğu küme,

$X_j$ :  $j$  noktasında tesis kurulursa 1, aksi takdirde 0 değeri alan ikili

değişken,

$Z_i$ :  $i$  noktası kaplanması halinde 1, aksi takdirde 0 değeri alan ikili

değişken.

Amaç fonksiyonu (2.16) kaplanan talep miktarını maksimum yapmaktır.

(2.17) numaralı kısıt kabul edilebilir mesafede kaplanan talep düğümlerini

göstermektedir. (2.18) kısıtı yerleştirilecek tesis sayısını önceden belirlenen kaynak sayısı ile sınırlamaktadır. (2.19) numaralı kısıt ise, 0–1 tamsayılı karar değişkenlerini ifade etmektedir.

### (5) Kapasite Kısıtlı Tesis Yeri Seçimi Problemleri

Kapasite kısıtlı tesis yeri seçimi problemleri tesis kapasitelerine sınır konulmak suretiyle dağıtım sistemleri, iletişim şebekeleri ve benzeri alanlarda belirli problemlerde kullanılır. Shetty (1990), kapasite kısıtlı tesis yeri seçim problemlerinin modelini aşağıdaki şekilde formüle etmiştir:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_i f_i y_i \quad (2.20)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.21)$$

$$\sum_j X_{ij} \cdot d_j \leq s_i y_i \quad \forall i \in I \quad (2.22)$$

$$\sum_i y_i \leq M \quad (2.23)$$

$$X_{ij} \cdot y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.24)$$

Burada;

$I, J$  : Aday tesis ve müşteri noktalarının oluşturduğu küme,

$X_{ij}$  :  $j$  noktasındaki müşteri talebinin  $i$  tesisi tarafından karşılanması,

$c_{ij}$  :  $j$  talep noktasının  $i$  tesisi tarafından karşılanması maliyeti,

$f_i$  :  $i$  noktasında tesis kurulduğunda sabit tesis kurma maliyeti,

$d_j$  :  $j$  müşterisinin talep miktarı,

$S_i$  :  $i$  tesisinde toplam kapasite,

$M$  : Maksimum tesis sayısı.

Modelin amaç fonksiyonu (2.20) müşteriler ve taleplerinin tesis tarafından karşılanmasının ulaştırma maliyetini ve tesisin kurulum maliyetlerinin toplamını minimum yapmaktadır. (2.21) numaralı kısıt bütün taleplerin karşılanmasını garanti altına alırken, (2.22) numaralı kısıt ise tesise gelen talebin tesisin kapasitesinden büyük olmamasını sağlamaktadır. Ayrıca bu kısıt eğer tesis kullanılmayacak ise müşterilerin o tesisten yararlanmayacaklarını belirtmektedir. (2.23) numaralı kısıt açılan tesis sayısına sınır getirirken, (2.24) numaralı kısıt da karar değişkenlerinin 0 ve 1 değerleri alabileceğini göstermektedir.

#### **(6) Kapasite Kısıtsız Tesis Yeri Seçimi Problemleri**

En basit fabrika yerleştirme problemi olarak da bilinen kapasite kısıtsız tek aşamalı tesis yeri seçimi problemleri sabit işletme ve değişken dağıtım maliyetlerinin olduğu durumlarda hizmet yerlerinin belirlenmesi ile ilgilenir.

Kapasite kısıtsız tesis yerleşim problemlerinde muhtemel tesis yerleri daha önceden belirlenmiştir. Algoritma geliştirme perspektifinden bakıldığında kapasite kısıtsız tesis yerleşim problemlerinin tercih edilmelerinin sebebi; optimal çözümün tek kaynaklı olma özelliğinden dolayı her bir müşterinin talebi tek bir tesis tarafından sağlanmaktadır.

Bu özelliğin devamlı olarak kullanılması kapasite kısıtsız tesis yerleşim problemlerinin spesifik problem sınıfları için etkili algoritmaların geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu durum tek aşamalı, iki aşamalı ve çok aşamalı tesis yerleşim problemleri için de aynı kolaylıkların kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Yukarıda belirttiğimiz üç problem sınıfının tanımlamaları literatürde oldukça geniş yer tutar. İki aşamalı ve çok aşamalı tesis yeri seçimi problemlerinin tek aşamalı tesis yeri seçimi problemlerini genelleştirilmesinden elde edildiği açıktır. Ancak iki aşamalı ve çok aşamalı tesis yerleşimi problemlerinin aralarındaki ilişki açık ve net olarak tanımlanamamıştır.

Detaylı yapılan literatür çalışmalarına bakıldığında ise tüm problem sınıflarını içeren bir modelleme çerçevesi ve tüm modeller için geçerli bir algoritmanın var olmadığını gözlemleriz. Gerçekte Harekât Araştırmasının özüne inildiğinde her problem sınıfı için özellikle bir model ve algoritma oluşturulmasının zorunlu olduğu ve böylece spesifik matematiksel modellerin optimal çözümleri bulmada kullanılabileceği ortaya konmuştur (Gao ve Robinson,1994:411–412).

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_i f_i y_i \quad (2.25)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.26)$$

$$X_{ij} - y_i \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.27)$$

$$X_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.28)$$

Burada;

$I, J$  : Aday tesis ve müşteri noktalarının oluşturduğu küme,

$X_{ij}$ :  $j$  noktasındaki müşteri talebinin  $i$  tesisi tarafından karşılanması,

$C_{ij}$ :  $j$  talep noktasının  $i$  tesisi tarafından karşılanması maliyeti,

$f_i$ :  $i$  noktasında tesis kurulduğunda sabit tesis kurma maliyetidir.

Modelin amaç fonksiyonu (2.25) müşteriler ve taleplerinin tesis tarafından karşılanmasının ulaştırma maliyetini ve tesisin kurulum maliyetlerinin toplamını minimum yapmaktır. (2.26) numaralı kısıt bütün taleplerin karşılanmasını garanti altına alırken, (2.27) numaralı kısıt ise tesise gelen talebin tesisin kapasitesinden büyük olmamasını sağlamaktadır. Ayrıca bu kısıt eğer tesis kullanılmayacak ise müşterilerin o tesisten yararlanmayacaklarını belirtmektedir. (2.28) numaralı kısıt karar değişkenlerinin 0 ve 1 değerleri alabileceğini göstermektedir.

## (7) Çok Aşamalı Tesis Yeri Seçimi Problemleri

Çok aşamalı tesis yeri seçimi problemleri birkaç seviyede hiyerarşik hizmetleri içeren sistemlerle ilgilendir. Bu tip problemler yüksek seviyeli tesislerin daha fazla kapasiteli olduğu, taşıma ve depolama maliyetlerinin daha yüksek olduğu durumlarda düşük ve yüksek seviyeli tesislerin yerlerinin tespitinde kullanılır. Başka bir deyişle çok aşamalı tesis yeri seçimi problemleri depoların dağıtım sisteminin birkaç kademesinde aynı anda yerleştirilmesini sağlar.

Tek kaynaklı ve tek aşamalı tesis yeri seçim problemleri kapasite kısıtlı bir ana depodan aday depolara malzeme akışının olması gerektiği durumlarda ilave karar değişkeni ile iki aşamalı tesis yeri seçim problemi olarak düzenlenir.  $x_{ij}$ ,  $p_i$  kapasiteli  $i \in I$  düğümündeki ana depodan  $j \in J$  de yerleştirilmiş depolara gönderilen malların miktarını gösterir.  $t_{ij}$  ise  $i$  düğümünün depolama ve taşıma maliyetleri toplamını göstermektedir. İki aşamalı kapasite kısıtlı tesis yeri seçim probleminin formülasyonu şu şekildedir (Klose ve Drexl, 2005).

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} c_{kj} z_{kj} + \sum_{j \in J} f_j y_j \quad (2.29)$$

$$\sum_{j \in J} z_{kj} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2.30)$$

$$z_{kj} - y_j \leq 0 \quad \forall k \in K, j \in J \quad (2.31)$$

$$\sum_{j \in J} s_j y_j \geq d(K) \quad (2.32)$$

$$\sum_{k \in K} d_k z_{kj} \leq s_j y_j \quad \forall j \in J \quad (2.33)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq p_i \quad \forall i \in I \quad (2.34)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} d_k z_{kj} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.35)$$

$$x_{ij} - p_i y_j \leq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.36)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.37)$$

$$y_i, z_{kj} \in \{1, 0\} \quad \forall k \in K, j \in J \quad (2.38)$$

Burada;

$I$  : Esas tesis yerleri,

$J$  : Tali tesis yerleri,

$k$  : Müşteri talep noktaları,

$t_{ij}$  :  $i$  esas tesisten  $j$  tali tesise taşıma maliyeti,

$x_{ij}$  :  $i$  esas tesisten  $j$  tali tesise taşınan mal miktarı,

$c_{kj}$  :  $j$  tali tesisinden  $k$  müşteri talebinin karşılanma maliyeti,

$z_{kj}$  :  $j$  tali tesisinden  $k$  müşteri talebinin karşılanma oranı,

$f_i$  :  $i$  tesisinin sabit kurulma maliyeti,

$p_i$  :  $i$  esas tesisinin kapasitesi,

$s_j$  :  $j$  tali tesisinin maksimum kapasitesi,

$d_k$  :  $k$  müşteri talebinin miktarı,

$y_j$  :  $j$  noktasında tali tesis kurulursa 1, aksi takdirde 0 değeri alan ikili değişken,

$z_{kj}$  :  $k$  müşteri talebi  $j$  tali tesisinden karşılanırsa 1, aksi takdirde 0 değeri alan ikili değişken.

Modelin amaç fonksiyonu (2.29) ana depolardan tali depolara taşıma maliyetleri ve müşteri talepleri ile tali tesisler arasındaki maliyetlerin toplamı ile sabit olan tesis kurulum maliyeti toplamalarını minimum yapmaktır. (2.30) numaralı kısıt tüm

müşteri taleplerinin karşılanacağını temin ederken, (2.31) numaralı kısıt ise hizmetin tesis kurulu ise verileceğini ifade etmektedir. (2.32) numaralı kısıt tüm açılan tali depoların kapasitelerinin toplam müşteri taleplerinden büyük veya eşit olması gerektiğini, (2.33) numaralı kısıt ise karşılanan müşteri talebinin tali depo kapasitelerinden daha küçük ve eşit olacağını ifade etmektedir.

(2.34) numaralı kısıt ise ana depodan tali depoya taşınan malzeme miktarının ana depo kapasitesine eşit veya daha düşük olması gerektiğini, (2.35) numaralı kısıt da müşteri taleplerinin karşılanması toplamının karşılanan ana depodan tali depoya taşınan mala eşit olacağını temin etmektedir. (2.36) numaralı kısıt ana depodan tali depoya gönderilen mal miktarının ana depodan açılan tali depolara gönderilebilecek kapasiteden küçük olması gerektiği, (2.37) numaralı kısıt ana depodan tali depoya gönderilen malı 0 veya daha büyük miktarda olmasıdır. (2.38) numaralı kısıtlarda ise  $Y_j$  ve  $Z_{kj}$  karar değişkenlerinin 0–1 değerlerini alabileceğini ifade etmektedir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### İŞ MAKİNELERİNİN FASBAT MERKEZLERİNİN BELİRLENMESİ

K.K.K.lığına bağlı İstihkâm birliklerinin envanterlerinde başta dozer, greyder ve loder olmak üzere çok farklı cins ve miktarda iş makinesi bulunmaktadır. Bütün bu iş makineleri bizzat kendilerinin kullanıcısı veya diğer bir deyişle operatörleri tarafından kullanıcı bakımları, bir üst seviye olarak birlik bakım kademesi tarafından birlik bakımları ve son olarak ta daha önce ki bölümlerde detaylı bir şekilde tarif edilen görev ve sorumluluk kapsamına göre fabrika / firma bakımları sorumlu personel tarafından yapılmaktadır.

Ülkedeki tüm iş makineleri hali hazırda Afyon'daki Ana Bakım Merkezi Komutanlığına getirilerek Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamirleri icra edilmektedir. Bu çalışmadaki amacımız FASBAT uygulamalarını barışta ve savaşta, en düşük maliyetle maliyet etkin şekilde yapacak alternatif tesislerin optimal yerlerini tespit etmektir. Bu amaçla iş makinelerinin Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamirini yapacak ana bakım merkezlerinin optimal yerlerinin belirlenmesi için matematiksel modeller oluşturulacaktır.

Tesis yerleşimi problemi sabit ve mobil tesis olmak üzere iki boyutta ele alınacaktır. Sabit tesis modelinde kurulacak tesisler; merkezlere olan yakınlıkları, kat edilen mesafeye göre değişen taşıma maliyetleri ve birliklerin envanterlerindeki mevcut iş makine cins ve miktarları dikkate alınarak modeller kurulmuştur.

Mobil tesis modelinde ise sabit tesis modelindeki esaslar korunarak araç rotalama problemlerinden farklı olarak kurulacak olan timler plan dâhilinde sırası gelen iş makinesine Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir uygulamak üzere bulunduğu birliğe gidecek ve tekrar kurulu olduğu merkeze geri dönecektir. Ayrıca mobil tesis modelinde bakımlar iş makinelerinin bulunduğu yerde yapılacağından iş makine cins ve miktarları dikkate alınmamıştır.

## 1. MODELLERİN VARSAYIMLARI

Sabit ve mobil tesis modellerinde kullanılan varsayımlar şunlardır:

Tüm ulaşımın karayolu şebekesi üzerinden yapılacağı kabul edilmiştir. İntikallerde hızın saatte 50 km/s ve iş makinelerinin envanterde bulunan çekici kamyon aracıyla yapılacaktır. Mesafe kısıtında; ortalama saatte 50 km /s süratle, hava ve yol koşullarının normal olduğu durumlarda molalar dâhil günlük 8 saat intikalle yaklaşık olarak 400 km yol kat edeceği kabul edilmiştir.

Gidiş-dönüş km. başına maliyet hesaplanırken; aracın 400 lt. dolu motorin deposuyla ortalama 600 km gideceği ve 2005 yılı ortalama yakıt fiyatının da 2 YTL olduğu kabul edilmiştir. Bu iki değer çarpılmasıyla bulunan rakamın iki katı gidiş-dönüş km başına maliyet olarak belirlenmiştir. Hesaplamalara sadece değişken maliyetler dâhil edilmiş, FASBAT maliyeti ve yaklaşık olarak 11.751.517 YTL sabit tesis kurma maliyeti ve 228.172 YTL mobil tesis kurulum maliyeti hesaplamalara dâhil edilmemiştir.

Hali hazırda envanterlerinde iş makinesi olan tüm birliklerde taşıyıcı araçlar mevcut olduğundan kamyon ve çekici maliyetleri modele dâhil edilmemiştir. Modelde kullanılan birlikler, birbirlerine olan mesafeleri ve iş makine cins ve miktarları belli bir düzenlemeye göre alınmamıştır.

Birliklerin kurulacak olan tesislere uzaklığın 800 km mesafeden fazla olmaması düşünülmüştür. Bunun nedeni; savaşta veya barışta herhangi bir arıza veya bakım ihtiyacı doğduğunda emniyetli ve çabuk bir şekilde en fazla iki günlük yol mesafesinde tesise ulaşmasının uygun olduğunun değerlendirilmesidir.

Mobil tesis modeli kurulurken; aynı sabit tesis modelinde olduğu gibi belirlenen merkezlerde tesisler kurulacak, planlama dâhilinde bakım sırası gelen birliklere ait iş makinelerinin bu merkezlere gelmelerinin sağlanması yerine; mobil tesisin bulunduğu yere gidilerek o birlikteki tüm iş makinelerine FASBAT uygulamayı müteakip tekrar kurulu olduğu merkeze dönülmesi ve burada kendi araç, gereç ve malzemelerinin bakımının gerçekleştirilmesi esas alınmıştır.

Bakım personelinin moral ve motivasyonu, uygulanan bakımın çok kapsamlı ve uzun süren bir bakım olması münasebetiyle araç rotalama problemlerinde olduğu gibi, bir defa merkezden ayrılmayı müteakip tüm ülkedeki veya bir kısım yerlerdeki iş makinelerinin bakımlarını gerçekleştirmeleri ve bu nedenle uzun bir süre ailelerinden ve bağlı bulunduğu merkezden uzak kalmalarının sebep olacağı verim düşüklükleri, moral ve motivasyonlarını etkilemeleri bakımından sakıncalı olacağından düşünülmemiştir.

Bu çalışmada FASBAT uygulanacak iş makineleri dozer, greyder ve loder ile sınırlandırılmıştır. Diğer iş makineleri FASBAT maliyetlerinin yüksek olması ve yeniden alınmalarının daha ekonomik olması sebebiyle araştırmaya dâhil edilmemiştir. Aday FASBAT tesisi merkezleri olarak, özellikle birliklerin belirtilen üç çeşit iş makinesi bulunduran il ve ilçe merkezleri alınmıştır. İş makinesi bulunmayan bir merkeze tesis kurmayarak amacımız olan; en az maliyetle en etkin bir bakımı optimal bir merkezde yapma hedefine biraz daha yaklaşmış olunacaktır.

Mevcut çekici aracın genişliği 3.3 metre, uzunluğu  $12.95+18.15 = 31.10$  metre, yüksekliği  $0.935 + 3.5 = 4.435$  metredir. Mevcut çekici aracın kendi ağırlığı 13.50 ton, çekicisinin ağırlığı 13.320 ton ve son olarak üzerindeki yükün ağırlığı 27.50 tondur. Bıçak genişliği 4,5 metre olup intikal esnasında sökülerek veya sökülmeden gabariyi etkilemeyecek şekilde çapraz olarak taşınmaktadır. Dozerlerin fabrika seviyesi bakımları 1 işçi ile 650 saatte, 5 işçi ile 130 saatte yapılmaktadır. Greyderlerin 1 işçi ile 625 saatte, 5 işçi ile 125 saatte bakımı yapılmaktadır. Loderlerin ise 1 işçi bakım süresi ile 525 saat, 5 işçi ile 105 saatte bakımları tamamlanmaktadır. Yılda 52 hafta ve günde 8 saat çalışma süresi çarpılması sonucunda, yıllık toplam çalışma süresi 2080 saat alınmıştır.

T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Karayolları ve Otoyolları Bakım ve İşletme Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre ülkemizdeki karayollarının ve otoyollarının tamamında 5.00 metreden daha düşük yükseklikte köprü bulunmamaktadır. Sadece Adana- Pozantı mevkiinde bulunan bir köprüde gabari zeminden ve eğimden kaynaklanan sebeplerden dolayı yüksekliği 4.60 m. ile 4.80 m arasında değişiklik gösterdiği bilgisi elde edilmiştir. Alınan bu bilgiler neticesinde 0.935 metre çekici yüksekliği ve en yüksek iş makinesi olan

dozerin 3.5 metre yüksekliğiyle beraber maksimum gabari 4.435 metre olduğundan intikalde her hangi bir gabari kısıtı söz konusu değildir.

Aynı şekilde Karayolları ve Otoyolları Bakım ve İşletme Müdürlüğü'nden edinilen bilgilere göre ilgili kural gereği dingil başına düşen yük 54 tonu geçmemelidir. KGM Trafik Şubesi tarafından tamamıyla bilgi amaçlı olarak sivil veya askeri kurumlardan talep edilmesi halinde Şekil-3'te gösterilen Dingil Yükleri Analizi Formu doldurularak talepte bulunan özel veya tüzel kişilere yollar ve durumları hakkında bilgi verilmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü,[web],2005).

**DİNGİL YÜKLERİ ANALİZİ FORMU (A)** TARİH : .....

NAKLİYECİNİN ADI : .....

NAKLİYECİNİN ADRESİ : .....

KATARIN MARKA VE PLAKA NO : .....

SELET EKSENİ (ÇEKİCİ)

(TREYLER)

ARKA DİNGİL EKSENİ

BÖŞ DİNGİL AĞIRLIKLARI

TEKER EBATLARI

HER DİNGİLDEKİ TEKER ADEDİ

<p><math>P_{dn} = P_{w1} - P_{or1}</math></p> <p><math>P_{dn} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p><math>P_{dn\ bo\ g} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p>Ön Dingil YAKA = .....</p>	<p><math>P_{or1} = P - P_{ar}</math></p> <p><math>P_{w1} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p><math>P_{or1\ ik} = P_{w1} \times i</math></p> <p><math>P_{or1} = \frac{P_{w1} \times i}{k}</math></p> <p><math>P_{or1} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p><math>P_{or1\ bo\ g} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p>Örn Dingil YAKA = .....</p>	<p><math>P_{ar} = \frac{P \times g}{(g + h)}</math></p> <p><math>P_{ar} = \dots \dots \dots</math></p> <p><math>P_{ar} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p><math>P_{ar\ bo\ g} = \dots \dots \dots</math> Kg.</p> <p>Arka Dingil YAKA = .....</p>
--	---	---

---

NAKLİYECİNİN : .....

ADI SOYADI : .....

İMZA VE MÜHÜR : .....

YÜK LÜ DURUMDA GABARI :

Form Şekil No : 1/2005/2005

KÖP BAK.Ş.B. MÜDÜRLÜĞÜ TRF. FORM NO : 1

**Şekil-3: Dingil Yükleri Analizi Formu**

Toplam ağırlığı yaklaşık olarak 60 ton olan çekici araç ve yüküyle birlikte hesaplandığında ön dingil yükü olarak ortalama 7 ton, yükün büyük kısmının bulunduğu arka dingil kısmında ise ortalama 13.5 tonluk bir dingil yükünün bulunduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerde karayollarının ve otoyollarının taşıma yükü olan dingil başına ortalama 54 ton limitleri dâhilinde olduğundan iş makineleri yüklü çekici

araçlarımız gerek zemine verdikleri zarar gerekse gabari bakımından her hangi bir kısıtla karşılaşmadan intikallerini gerçekleştirebileceklerdir.

Modeller AMD Athlon XP-M 2800+ işlemcili dizüstü bilgisayarda LINGO programı kullanılarak kurulmuştur. Tablolarda kurulan modellerin bilgisayarda işlem zamanları da bulunmaktadır.

## 2. MODELLERİN ALTERNATİF SENARYOLAR İLE UYGULANMASI

### a. Sabit Tesis Modeli İle Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir

Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir faaliyetinde esas olarak sabit tesislerde yapılması uygundur. İş makinelerini meydana getiren komple ve tali parçaların kendi teknik broşürlerinde belirtilen esaslar dâhilinde test, ölçüm ve muayenelerinin yapılabilmesi için gerekli araç, gereç ve tezgâhların maliyetleri ve bu konuda özel eğitim personelinin gerekliliği FASBAT'ın belirli merkezlerde yapılmasını zorunlu kılar. Böyle bir sabit tesis modelinin kurulmasında ise hizmet verilen birliklerin tesislere uzaklıkları ve bu uzaklıklara göre ortaya çıkan taşıma maliyetleri, aynı şekilde hizmet verilen birliklerdeki iş makinesi cins ve miktarları kurulacak olan modelin yapısını ve kısıtlarını oluşturacaktır. Bu amaçla kullanılacak model aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ik} w_{ik} d_{ij} x_{ij} \quad (2.39)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.40)$$

$$x_{ij} \leq Z_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.41)$$

$$x_{ij} d_{ij} \leq 800 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.42)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{ij} w_{ik} h_k \leq H_T \quad \forall j \in J \quad (2.43)$$

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq P \quad \forall j \in J \quad (2.44)$$

$$x_{ij}, Z_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.45)$$

Burada;

$I$  : Envanterinde iş makinesi bulunan  $i$  talep noktalarının kümesi,

$J$  : FASBAT tesisi kurulabilecek  $j$  aday noktalarının kümesi,

$K$  : Bakımı yapılacak üç cins iş makinesinin oluşturduğu küme,

$C$  :  $i$  talep noktasından  $j$  tesisine olan km. başına toplam gidiş ve geliş maliyeti,

$d_{ij}$  :  $i$  talep noktasından  $j$  muhtemel tesis noktasına olan mesafe,

$f_j$  :  $j$  noktasında tesis kurulduğunda sabit tesis kurma maliyeti,

$x_{ij}$  :  $i$  noktasındaki birliğin talebinin  $j$  tesisi tarafından karşılanması,

$w_{ik}$  :  $i$  noktasındaki  $k$  cinsinden iş makine sayılarının toplamı,

$h_k$  :  $k$  cinsi iş makinesinin bakım süresi,

$H_T$  :  $j$  tesisinin yıllık toplam çalışma zamanı,

$P$  : Kurulabilecek toplam tesis sayısı,

$Z_j$  :  $j$  noktasında tesis kurulması durumu.

$x_{ij}$  :  $i$  noktasındaki talep  $j$  noktasındaki tesis tarafından karşılanırsa 1,

diğer durumlarda 0 değerini alan ikili değişken,

$Z_j$  :  $j$  noktasında tesis kurulması halinde, diğer durumlarda 0 değerini

alan ikili değişken.

Amaç fonksiyonu (2.39) aday tesis noktalarında tesis kurulması halinde tesis ile birlik arasındaki mesafe esas alınmak suretiyle ortaya çıkan kilometre başına taşıma maliyetlerini, iş makinesi cins ve miktarlarıyla ağırlıklandırarak toplam maliyeti minimum yapmaktır. (2.40) numaralı kısıt tüm birliklerin talebinin karşılanması gerektiğini, (2.41) numaralı kısıt birliklerinin taleplerinin kurulu olan tesislerden karşılanması gerektiğini vurgulamaktadır. (2.42) numaralı kısıt birliklerin iki günde ortalama 50 km/h hızla en fazla 800 km mesafedeki tesislerden hizmet görmek için intikal etmesi gerektiğini, (2.43) numaralı kısıt farklı iş makineleri bakım sürelerine göre tesisin yıllık kapasitesini aşamayacağını ifade etmektedir. (2.44) numaralı kısıt kurulacak olan tesis sayısının maksimum tesis sayısını aşamayacağını, (2.45) numaralı kısıtta  $x_{ij}, Z_j$  değişkenlerinin 0 veya 1 değerlerini alabileceğini göstermektedir.

### **b.Sabit Tesis Modeli İle İlgili Alternatif Senaryolar ve Çözümleri**

Senaryonun sabit tesis ile ilgili birinci bölümünde sonuçları karşılaştırmak açısından hiçbir kısıt uygulanmadan çalıştırılmıştır. Modelin açıklanması sırasında belirtildiği üzere; iş makinelerinin FASBAT işlemleri için kat etmesi gereken mesafe kısıtı ve ana bakım merkezlerinin kapasite sınırlamaları başka bir ifadeyle iş makinelerinin bakımlarının tamamlanma sürelerinden kaynaklanan kısıtlar göz önüne alınmamaktadır.

Bu prensipler ışığında kurulan sabit tesis modelinde tesis sayıları birden başlayarak sırasıyla maksimum altı tesise kadar yükseltilerek toplam maliyetleri ve birliklerin intikal etmesi gereken en uzak mesafeler, kurulan sabit tesislerin destekledikleri birlikler açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen maliyetlere uygulanan tüm alternatif senaryolarda sabit maliyetler dâhil edilmemiştir. Sadece modelde belirtilen değişken maliyetler göz önünde bulundurulmuştur.

Bu modeller çalıştırılırken 68 dozer, 145 greyder, 181 loder olmak üzere toplam 394 adet iş makinesini envanterinde bulduran Afyon ilindeki ana bakım merkezi de dâhil olmak üzere 50 farklı il ve ilçe merkezinde konuşlu bulunan birlikler ele alınmışlardır. Ayrıca modeller çalıştırılırken hali hazırda hizmet vermekte olan

Afyon ana bakım merkezi de göz önünde bulundurularak her senaryonun müteakip bölümünde çözüme dışarıdan dâhil edilmiştir. Bunun sonucunda Afyon ana bakım merkezinin tesis yerlerindeki, maliyetlerdeki ve hizmet verilen en uzak mesafedeki değişimini kontrol etmemize imkân sağlanmıştır.

Sabit tesis ile ilgili bu senaryoda sadece bir tesis kurulursa nereye tesis kurulacağı sorusuna cevap aranmaktadır. Modelin çalıştırılması neticesinde elde ettiğimiz sonuçta "Bolu" ili çıkmaktadır. İşlemci 21 saniye 2350 iterasyon sonucunda 768.726 YTL maliyetle Bolu ilinde bir tesis kurulmasının optimal olduğu sonucunu vermektedir. Aynı işlemi sadece Afyon'da tesis kurma olarak yaptığımızda karşımıza ise 865.806 YTL maliyetle bir tesis karşımıza çıkmaktadır.

Burada maliyetin arttığı dikkati çekmektedir. Ancak bu maliyetlere sabit kurulum maliyetleri dâhil edilmemiştir. Bu yüzden sabit maliyetler göz önünde bulundurulduğunda her ne kadar Afyon optimal bir çözüm olarak görünmese de hali hazırda çalışan bir tesis olduğundan daha iyi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Aynı şekilde hiçbir kısıt uygulanmadan iki tesis kurmak için model çalıştırıldığında 2 numaralı İstanbul ili ve 10 numaralı Bingöl ili sonucu alınmaktadır. 10 saniye ve 1163 iterasyon sonucunda 334.656 YTL maliyetle kurulan tesislerde hizmet verilen en uzak mesafeler İstanbul-Konya 656 km ve Bingöl-İskenderun 588 km olarak bulunur. Kurulan iki tesisten bir tanesinin hali hazırda hizmet veren Afyon ili olması istendiğinde ise maliyet 813.582 YTL olmaktadır. Tesisler ise 19 numaralı Diyarbakır ve 21 numaralı Afyon olarak elde edilir. Karşılaştırmak gerekirse sabit maliyetleri dâhil ettiğimizde iki tesis Afyon olmadan 23.837.690 YTL maliyetle kurulurken, Afyon olduğunda ise bu maliyet 12.565.099 YTL olmaktadır.

Senaryo gereği üç tesis kurulması istendiğinde; 3 numaralı Çorlu, 10 numaralı Bingöl ve 50 numaralı Ankara tesisleri kurulmaktadır. Bu tesisler için kurulan model problemi 9 saniyede, 986 iterasyon neticesinde çözmekte ve 263.577 YTL maliyetle kurulan bu tesislerde hizmet verilen en uzak mesafeler Çorlu-İzmir 501 km, Bingöl-İskenderun 588 km ve Ankara-Denizli 480 km olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Tablo-5: Üç Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>ÜÇ SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,11,23 ,24,31,38,43, 48,49	11 İZMİR	501		
10 BİNGÖL	6,7,8,9,10,14, 15,16,17,18,19 ,20,22,25,26, 27,28,29,30,32 ,34,35,36,37, 41,44,46,47	29 İSKENDERUN	<b>588</b>	9	<b>263.577</b>
50 ANKARA	12,13,21,33,39 ,40,42,45,50	13 DENİZLİ	480		

Tablo-5'te görüldüğü gibi, bu tesisler arasında halen faal durumda olan Afyon yer almamaktadır. Bu tesislere Afyon tesisi ilave edildiğinde maliyet 762.648 YTL olmakta; Afyon, Diyarbakır ve Ağrı illerinde kurulan tesislerde hizmet verilen en uzak mesafe ise 1498 km olarak hesaplanmaktadır.

Sonuçlar incelendiğinde değişken maliyetlerde yaklaşık olarak üç katlık bir artış gözlemlenirken hizmet verilen mesafenin de yaklaşık olarak iki buçuk kat arttığını gözlemlenmektedir. En fazla 800 km mesafede ya da iki günlük intikal mesafesinde bulunması kısıtını sağlamadığından bu sebeple bu alternatifin tercih edilmeme sebebi olabilir.

Tesis sayısını bir artırarak dört tesis kurulması senaryosu uygulandığında; 1115 iterasyon neticesinde 212.661 YTL değişken maliyetle Çorlu, Elazığ, Bingöl ve Ankara'da kurulmakta ve Tablo-6'da görüldüğü gibi hizmet verilen en uzak mesafe Çorlu İzmir arasındaki 501 km olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Tablo-6: Dört Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>DÖRT SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,11,23, 24,31,38,43, 48,49	11 İZMİR	<b>501</b>	10	<b>212.661</b>
7 ELAZIĞ	7,10,19,20,22, 26,27,29,30,35, 37,44,45	29 İSKENDERUN	446		
15 AĞRI	6,8,9,14,15,16, 17,18,25,28,32, 34,36,41,46, 47	47 TRABZON	462		
50 ANKARA	12,13,21,33,39, 40,42,45,50	13 DENİZLİ	480		

Tesislerde mutlaka Afyon olması senaryosunun uygulanması istendiğinde ise İstanbul, Ağrı, Diyarbakır olarak tesis yerleri değişmekte ve 713.742 YTL maliyetle hizmete başlamaktadır. Burada hizmet verilen en uzak mesafe ise en uzak mesafe 1448 km olmaktadır.

Senaryo gereği kurulması istenen tesis sayısını beş tesise çıkardığımızda 745 iterasyon sonucunda tesisler; Çorlu, Elazığ, İzmir, Ağrı ve Ankara'da 164.283 YTL maliyetle kurulmakta, Afyon tesisi ile ise İstanbul, Ağrı, Van ve Diyarbakır merkezlerinde 670.302 YTL maliyetle karşımıza çıkmaktadır.

Tablo-7'de görüldüğü üzere bakım amacıyla kat edilen en uzak mesafe 462 km iken Afyon ilindeki tesisin eklenmesi ile bu mesafe 1450 km olmaktadır.

**Tablo-7: Beş Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>BEŞ SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,23,24, 31,43,48,49	5 SAKARYA	258	8	164.283
7 ELAZIĞ	7,10,19,20,22,2 6,27,29,30,35,3 7,44,45	29 İSKENDERUN	446		
11 İZMİR	11,13,33,38	33 ISPARTA	381		
15 AĞRI	6,8,9,14,15,16, 17,18,25,28,32, 34,36,41,46,47	47 TRABZON	<b>462</b>		
50 ANKARA	12,21,39,40,42, 50	40 KAYSERİ	315		

Son olarak altı tesis örneği de; diğer tüm senaryolarda olduğu 10052 değişken, 2552 kısıt ve altı tesisli bu senaryo için yapılan 645 iterasyon neticesinde elde edilmiştir. Tablo-8'dan elde edilen sonuçlar incelendiğinde tesisler 138.480 YTL gibi oldukça düşük bir değişken maliyetle Çorlu, Erzurum, İzmir, Diyarbakır, Osmaniye ve Ankara'da kurulmasının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Afyon tesisinin bu altı tesis arasında olması istendiğinde ise tesis merkezleri İstanbul, Erzurum, Ağrı, Van, Diyarbakır olarak değişmektedir. Altı sabit tesis kurulması senaryosuna Afyon tesisinin eklenmesi sonucunda maliyetin 627.207 YTL olarak artmakta olduğu gözlenmektedir.

**Tablo-8: Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>ALTI SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,23,24, 31,43,48,49	5 SAKARYA	258	9	138.480
8 ERZURUM	6,7,8,9,15,16,18, 20,28,32,34,36, 44,45,47	45 SİVAS	426		
11 İZMİR	11,13,33,38	33 ISPARTA	381		
19 DİYARBAKIR	7,10,14,17,19,22, 25,27,35,41,46	14 HAKKÂRİ	432		
30 OSMANİYE	26,29,30,37	26 GAZİANTEP	131		
50 ANKARA	12,13,21,33,39,4 0,42,45,50	40 KAYSERİ	315		

Sabit tesis ile ilgili olarak uygulanacak senaryonun ikinci bölümünde ise mesafe kısıtı 800 km ve zaman kısıtlarını da içine alacak şekilde faaliyet icra edilecektir. 2080 saat yıllık çalışma saatleri dikkate alınarak ve bakımı yapacak olan fabrika veya tesislerin çalışma saatleri yıllık oranda kademe kademe artırılarak birden altıya kadar tesis sayısının yeterliliği araştırılacaktır. Yapılan çalışmalar neticesinde şu sonuçlar elde edilmiştir:

Bir ve iki yılda tüm iş makinelerinin altı tesise kadar kurulması seçeneğinde geçerli bir çözüm bulunamamaktadır. Üç yıllık zaman periyodunda kapasite dâhilinde çalışan beş tesis kurulsa bile üç farklı cins ve toplam 394 iş makinelik ihtiyaca cevap verememektedir. Ancak altı tesis kurularak üç yıl çalıştırıldığında kapasite olarak ihtiyaç karşılanmaktadır.

Üç yıl çalışan altı tesis senaryosu sonucunda tesisler Çorlu, Erzurum, İzmir, Diyarbakır, Osmaniye ve Ankara merkezlerinde kurulmakta ve hizmet verilen en uzak mesafe 574 km ile İzmir-Lüleburgaz arasında ortaya çıkmaktadır.

**Tablo-9: Üç Yıl Çalışan Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>ALTI SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,23,24, 31,43,48,49	24 KOCAELİ	215	5	146.622
8 ERZURUM	6,8,9,15,16,18,20, ,28,32,34,36,44, 45,47	45 SİVAS	426		
11 İZMİR	11,13,33,38,48	48 LÜLEBURGAZ	<b>574</b>		
19 DİYARBAKIR	7,10,14,17,19,22, 25,27,35,41,46	14 HAKKÂRİ	432		
30 OSMANİYE	26,29,30,37	26 GAZİANTEP	131		
50 ANKARA	5,12,21,39,40,42, 50	40 KAYSERİ	315		

5 saniye 2524 iterasyon sonucunda Tablo-9'da verilen sonuçlara uygun olarak 146.622 YTL maliyetle karşılaştıkça bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyet 6 saniye ve 4749 iterasyon sonucunda 168.999 YTL olmaktadır. Afyon ile beraber diğer tesisler ise Çorlu, Elazığ, İzmir, Ağrı ve Ankara'da kurulmaktadır.

Senaryonun ikinci bölümü gereği iş makinelerinin bakımının dört yılda tekrarlanması uygulaması istendiğinde veyahut başka bir deyişle FASBAT

periyodunun dört yıl olması istendiğinde bir ve iki tesise kadar olan seçeneklerde geçerli çözüm bulunamamıştır. Ancak dört yıl çalışan üç tesis Çorlu, Bingöl ve Ankara merkezlerinde kurulmakta ve Tablo-10'da belirtildiği üzere hizmet verilen en uzak mesafe 596 km ile Ankara-İskenderun arasında ortaya çıkmaktadır.

**Tablo-10: Dört Yıl Çalışan Üç Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

ÜÇ SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,11,23 ,24,31,38,43, 48,49	11 İZMİR	501	4	265.074
10 BİNGÖL	6,7,8,9,10,14,1 5,16,17,18,19, 20,22,25,26,27 ,28,32,34,35,3 6,37,41,44,46, 47	32 İĞDIR	496		
50 ANKARA	12,13,21,29,30 ,33,39,40,42, 45,50	29 İSKENDERUN	<b>596</b>		

4 saniye 1921 iterasyon sonucunda 265.074 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyet 6 saniye ve 3259 iterasyon neticesinde 276.348 YTL olmaktadır. Afyon ile beraber diğer tesisler ise Çorlu ve Bingöl'de kurulmaktadır.

Dört yıl boyunca senaryo gereği çalışan dört tesis Çorlu, Elazığ, Ağrı ve Ankara merkezlerinde kurulmakta ve hizmet verilen en uzak mesafe 501 km ile Çorlu-İzmir arasında ortaya çıkmaktadır.

**Tablo-11: Dört Yıl Çalışan Dört Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>DÖRT SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,11,23,2 4, 31,38,43,48,49	11 İZMİR	501	3	212.661
7 ELAZIĞ	7,10,19,20,22,26, 27,29,30,35,37, 44,45	29 İSKENDERUN	446		
15 AĞRI	6,8,9,14,15,16,17 ,18,25,28,32,34, 36,41,46,47	47 TRABZON	462		
50 ANKARA	12,13,21,33,40, 42,50	13 DENİZLİ	480		

3 saniye 866 iterasyon sonucunda Tablo-11'de görüldüğü üzere 212.661 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde 2 saniye ve 706 iterasyon neticesinde maliyet 219.807 YTL olarak elde edilmektedir. Afyon ile beraber diğer tesisler ise Çorlu, Elazığ ve Ağrı'da kurulmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde elde edilen iki sonucunda yakın değerler olduğu görülmektedir.

Dört yılda çalışan beş tesis Çorlu, Elazığ, İzmir, Ağrı ve Ankara merkezlerinde kurulmakta ve hizmet verilen en uzak mesafe 462 km ile Ağrı-Trabzon arasında ortaya çıkmaktadır.

Tablo-12'de görüldüğü gibi 2 saniye 669 iterasyon sonucunda 164.283 YTL maliyetle karşılaşılmıştır.

**Tablo-12: Dört Yıl Çalışan Beş Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>BEŞ SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,23,24, 31,43,48,49	5 SAKARYA	258	2	164.283
7 ELAZIĞ	7,10,19,20,22,26, 27,29,30,35,37, 44,45	29 İSKENDERUN	446		
11 İZMİR	11,13,33,38	33 ISPARTA	381		
15 AĞRI	6,8,9,14,15,16,17 ,18,25,28,32,34, 36,41,46,47	47 TRABZON	<b>462</b>		
50 ANKARA	12,21,39,40, 42,50	40 KAYSERİ	315		

Bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde model 3 saniye ve 705 iterasyon sonunda maliyeti 188.895 YTL olarak vermektedir. Afyon ile beraber diğer tesisler ise Çorlu, Elazığ, Ağrı ve Ankara'da kurulmaktadır.

Dört yıl çalışan altı tesis Çorlu, Erzurum, İzmir, Diyarbakır, Osmaniye ve Ankara merkezlerinde kurulmakta ve hizmet verilen en uzak mesafe 432 km ile Diyarbakır-Hakkâri arasında ortaya çıkmaktadır.

Tablo-13 incelendiğinde senaryonun ikinci bölümü uyarınca dört yıl diğer bir deyişle 8320 saat esas olacak şekilde çalışan model 4 saniye 601 iterasyon sonucunda 138.480 YTL maliyet sonucunu verirken, bu tesislere Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde model 3 saniye ve 631 iterasyon çalışmak suretiyle maliyeti

160.929 YTL olarak hesaplamaktadır. Afyon ile beraber diğer tesisler ise Çorlu, Elazığ, İzmir, Ağrı ve Ankara'da kurulmaktadır.

**Tablo-13: Dört yıl Çalışan Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>ALTI SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,23,24, 31,43,48,49	5 SAKARYA	258	4	138.480
8 ERZURUM	6,8,9,15,16,18,20, ,28,32,34,36,44, 45,47	45 SİVAS	426		
11 İZMİR	11,13,33,38	33 ISPARTA	381		
19 DİYARBAKIR	7,10,14,17,19,22, 25,27,35,41,46	14 HAKKÂRİ	432		
30 OSMANİYE	26,29,30,37	26 GAZİANTEP	131		
50 ANKARA	12,21,39,40, 42, 50	40 KAYSERİ	315		

Son olarak senaryoda beşinci yıla geldiğimizde kurulan bir tesis ihtiyaca cevap verememektedir. Beş yıl veya başka bir deyişle 10400 saat boyunca çalışan model iki tesisi İstanbul ve Bingöl merkezlerinde kurmakta ve hizmet verilen en uzak mesafe 656 km ile İstanbul-Konya arasında ortaya çıkmaktadır.

4 saniye 2001 iterasyon sonucunda 334.656 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyet 442.710 YTL olmaktadır. Afyon ile beraber diğer tesis ise Diyarbakır'da kurulmaktadır. Burada

dikkati çeken husus kısıtsız olarak iki tesis kurulması istenen senaryo modelinin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuç ile aynı olmasıdır.

**Tablo-14: Beş Yıl Çalışan Üç Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

ÜÇ SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,11,23,24,31,38,43,48,49	11 İZMİR	501	9	263.577
10 BİNGÖL	6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,19,20,22,25,26,27,28,29,30,32,34,35,36,37,41,44,46,47	29 İSKENDERUN	588		
50 ANKARA	12,13,21,33,39,40,42,45,50	13 DENİZLİ	480		

Beş yıl çalışan üç tesis Çorlu, Bingöl ve Ankara merkezlerinde kurulmaktadır. Senaryoda belirtildiği gibi beş yıl ya da 10400 saat için kurulan model 4 saniye ve 1224 iterasyon sonucunda 263.577 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyet 271.293 YTL olmaktadır. Tablo-14'ten anlaşılacağı üzere Ankara tesisinin yerini Afyon almakta ve Afyon ile beraber kurulan diğer tesisler ise Çorlu ve Bingöl'de kurulmaktadır.

Beş yıl çalışan dört tesis Çorlu, Elazığ, Ağrı ve Ankara merkezlerinde kurulmaktadır. 3 saniye 1289 iterasyon sonucunda 212.661 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyet 219.807 YTL olmaktadır.

**Tablo-15: Beş Yıl Çalışan Dört Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>DÖRT SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,11,23, 24,31,38,43, 48,49	11 İZMİR	501	3	<b>212.661</b>
7 ELAZIĞ	7,10,19,20,22, 26,27,29,30,35, 37,44,45	29 İSKENDERUN	446		
15 AĞRI	6,8,9,14,15,16, 17,18,25,28,32, 34,36,41,46, 47	47 TRABZON	462		
50 ANKARA	12,13,21,33,39, 40,42,45,50	13 DENİZLİ	480		

Afyon ile beraber diğer tesisler ise İstanbul, Erzurum ve Diyarbakır'da kurulmaktadır. Bu senaryoda model 3 saniye ve 901 iterasyon çalışarak çözüme ulaşmıştır. Beş yıl çalışan dört tesis senaryosundan elde edilen bütün sonuçlar kısıtsız olarak dört tesis çalıştıran modelden elde edilen sonuçlar ile aynı olması dikkat çekicidir.

Beş yıl çalışan beş tesis için model çalıştırıldığında fabrika seviyesi bakım ve tamir yapacak olan tesisler Tablo-16'da görüldüğü gibi Çorlu, Elazığ, İzmir, Ağrı ve Ankara merkezlerinde kurulmaktadır.

2 saniye ve 865 iterasyon sonucunda 164.283 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyeti model 3 saniye 842 iterasyon bitiminde 188.895 YTL olarak ortaya koymaktadır. Afyon ile beraber diğer tesisler ise Çorlu, Erzurum, Mardin ve Kahramanmaraş'ta kurulmaktadır.

**Tablo-16: Beş Yıl Çalışan Beş Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>BEŞ SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,23,24, 31,43,48,49	5 SAKARYA	258	2	164.283
7 ELAZIĞ	7,10,19,20,22,2 6,27,29,30,35,3 7,44,45	29 İSKENDERUN	446		
11 İZMİR	11,13,33,38	33 ISPARTA	381		
15 AĞRI	6,8,9,14,15,16, 17,18,25,28,32, 34,36,41,46,47	47 TRABZON	<b>462</b>		
50 ANKARA	12,21,39,40,42, 50	40 KAYSERİ	315		

Son olarak beş yıl çalışan altı tesis Çorlu, Erzurum, İzmir, Diyarbakır, Osmaniye ve Ankara merkezlerinde kurulmaktadır. 4 saniye 772 iterasyon sonucunda 138.480 YTL maliyetle karşılaşırken bu tesislerde mutlaka Afyon tesisi de dâhil edilmesi istendiğinde maliyet 160.929 YTL olmaktadır. Tablo-17'deki model tarafından kurulan tesisler yerlerini Afyon ile beraber İstanbul, Erzurum, Ağrı, Van ve Diyarbakır'a bırakmaktadırlar.

Sonuçlar dikkatle incelendiğinde beş yıl 10400 saatlik periyoda çalıştırılan modelden elde edilen sonuçlar ile kısıtsız olarak uygulanan senaryo sonuçları aynıdır. Bu da sonuçta; beş yıllık bir plan dâhilinde tüm iş makinelerinin herhangi bir kısıt olmaksızın tablolarda belirtilen kriterler uyarınca bakımının yapılabileceğini göstermektedir.

**Tablo-17: Beş Yıl Çalışan Altı Sabit Tesis İçin Elde Edilen Çözüm**

<b>ALTI SABİT TESİS İÇİN ELDE EDİLEN ÇÖZÜM</b>					
TESİS YERİ	BİRLİKLER	EN UZAK BİRLİK	MESAFE (KM.)	İŞLEM ZAMANI (SN.)	TOPLAM MALİYET (YTL)
3 ÇORLU	1,2,3,4,5,23,24, 31,43,48,49	5 SAKARYA	258	4	138.480
8 ERZURUM	6,7,8,9,15,16,18, 20,28,32,34,36, 44,45,47	45 SİVAS	426		
11 İZMİR	11,13,33,38	33 ISPARTA	381		
19 DİYARBAKIR	7,10,14,17,19,22, 25,27,35,41,46	14 HAKKÂRİ	432		
30 OSMANİYE	26,29,30,37	26 GAZİANTEP	131		
50 ANKARA	12,13,21,33,39,4 0,42,45,50	40 KAYSERİ	315		

Daha önce FASBAT periyodu ile ilgili herhangi bir çalışmanın bulunmadığı belirtilmişti. Ancak en az üç yıl için altı tesis, dört yıllık bir periyot için en az üç tesis veya beş yılda bakımların tamamlanması içinde en az iki tesis sonuçları itibariyle faydalı bilgiler sunmaktadır. Burada ihtiyaca cevap verecek şekilde Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir faaliyetinin yıllara göre optimal periyotlarını da hesaplamış bulunmaktayız.

### **c. Mobil Tesis Modeli İle Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir**

Mobil tesislerin kurulmasında amaç; muharebe sahasının her yerinde görev alabilecek olan İstihkâm birliklerinin vazifinin başarılmaması için önem arz eden iş makinelerinin seferberlik veya savaş hali gibi acil durumlarda FASBAT tesislerine

getirilmesine gerek kalmadan yerinde tamir veya kritik bakımlarının yapılabilmesidir. Mobil tesis kurulum aşamasında sabit tesis modelinde kullanılan tüm kısıtlar ve uyulan prensipler ihtiyaca göre değiştirilerek ele alınmıştır. Mobil tesis araçları birliklerin buldukları yere giderek yerinde bakım yapacak olduklarından iş makinelerinin cins ve miktarları dikkate alınmamıştır.

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} \quad (2.46)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2.47)$$

$$x_{ij} \leq Z_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.48)$$

$$x_{ij} \cdot d_{ij} \leq 800 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.49)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} x_{ij} \cdot w_{ik} \cdot h_k \leq H_T \quad \forall j \in J \quad (2.50)$$

$$\sum_{j \in J} Z_j \leq P \quad \forall j \in J \quad (2.51)$$

$$x_{ij}, Z_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2.52)$$

Burada;

$I$  : Envanterinde iş makinesi bulunan birlikler / talep noktaları kümesi,

$J$  : FASBAT tesisi kurulabilecek aday noktaların oluşturduğu küme,

$K$  : Bakımı yapılacak üç cins iş makinesinin oluşturduğu küme,

$C$  :  $i$  birliğinden  $j$  tesisine olan km. başına toplam gidiş ve geliş maliyeti,

$d_{ij}$  :  $i$  talep noktasından  $j$  muhtemel tesis noktasına olan mesafe,

$x_{ij}$  :  $i$  noktasındaki birliğin talebinin  $j$  tesisi tarafından karşılanması,

$w_{ik}$  :  $i$  noktasındaki  $k$  cinsinden iş makine sayılarının toplamı,

$h_k$  :  $k$  cinsi iş makinesinin bakım süresi,

$H_T$  :  $j$  tesisinin yıllık toplam çalışma zamanı,

$P$  : Kurulabilecek toplam tesis sayısı,

$Z_j$  :  $j$  noktasında tesis kurulması durumu.

$x_{ij}$  : 1  $i$  noktasındaki talep  $j$  noktasındaki tesis tarafından karşılanırsa,

0 diğer durumlar.

$Z_j$  : 1  $j$  noktasında tesis kurulması halinde,

0 diğer durumlar.

Amaç fonksiyonu (2.46) aday tesis noktalarında mobil tesis kurulması halinde sabit kurulum maliyetini, ilave olarak tesis ile birlik arasındaki mesafe esas alınmak suretiyle ortaya çıkacak olan taşıma maliyetlerini, iş makinesi cins ve miktarlarını dikkate almadan toplam maliyeti minimum yapmaktır. (2.47) numaralı kısıt tüm birliklerin talebinin karşılanması gerektiğini, (2.48) numaralı kısıt birliklerinin taleplerinin kurulu olan mobil tesislerden karşılanması gerektiğini vurgulamaktadır. (2.49) numaralı kısıt mobil tesis aracının iki günde ortalama 50 km/h hızla en fazla 800 km. mesafedeki birliklere hizmet götürmek için intikal etmesi gerektiğini, (2.50) numaralı kısıt farklı iş makineleri bakım sürelerine göre tesisin yıllık kapasitesini aşamayacağını ifade etmektedir. (2.51) numaralı kısıt kurulacak olan tesis sayısının maksimum tesis sayısını aşamayacağını belirtmektedir. (2.52) numaralı kısıtta  $x_{ij}, Z_j$  değişkenlerinin 0–1 değerlerini alabileceğini göstermektedir.

#### ç. Mobil Tesis Modeli İle İlgili Alternatif Senaryolar ve Çözümleri

Mobil tesis ile ilgili olarak uygulanacak senaryoda kurulan mobil bakım ve tamir timleri kendi araçlarıyla iş makinesi olan il veya ilçedeki birliğe giderek yerinde bakım hizmetini gerçekleştireceklerdir. Sabit tesis modeline benzer olarak kademeli olarak

tesis sayısını kısıtsız ve kısıtlar modele dâhil edilerek birden artırarak çözümlere ulaşılacaktır.

Kısıtsız olarak uygulanacak senaryo sonucunda oluşturulan mobil tesis modeli çalıştırıldığında sadece bir tesis kurulması istendiğinde 45 numaralı olan "Sivas" tesisi ortaya çıkmaktadır. Model 22 saniye ve 1779 iterasyon neticesinde 300.824 YTL maliyetle sonlanmaktadır. Burada hizmet verilen en uzak birlik olarak karşımıza 1160 km mesafe ile Gelibolu çıkmaktadır. Tek mobil bakım tesisi olarak Afyon olarak aldığımız senaryo sonucunda ise 366.687 YTL maliyet elde edilmektedir.

Mobil olarak iki tesis kurulma senaryosunda ise 10 numaralı Bingöl ve 24 numaralı Kocaeli illeri mobil tesis merkezi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bingöl mobil tesisinin hizmet verdiği en uzak yerleşim birimi olarak İskenderun 588 km mesafe olarak hesaplanmış, Kocaeli mobil tesisi içinse 595 km mesafe ile Konya ilindeki iş makineleri bakım görmüşlerdir. Bu model 9 saniye ve 1070 iterasyon sonucunda 142.731 YTL maliyet ortaya çıkarmıştır. Alternatif senaryo gereği Afyon ilini bu iki tesisten biri olarak modele dâhil ettiğimizde maliyet 353.637 YTL olmakta ve 3 saniye sürede model 16 numaralı Patnos ilçesini ve Afyon ilini mobil tesis olarak almaktadır.

Üç mobil kurulması istendiğinde model 15 numaralı Ağrı, 22 numaralı Malatya ve 24 numaralı Kocaeli illerini 117.972 YTL maliyetle bulmaktadır. Bu işlem 18 saniye ve 3608 iterasyon ile son bulurken, Afyon tesisi modele alındığında ise 340.605 YTL maliyetle 16 numaralı Patnos ilçesi ve 17 numaralı Van ili mobil tesis adayı olarak bulunur.

Kısıtsız olarak uygulanacak senaryoda dört tesis kurulacak model sonuçları incelendiğinde Çorlu, Ağrı, Afyon ve Malatya mobil tesis merkezi olarak çıkmaktadır. Burada Afyon tesisi çözümde yer aldığından tekrar modele yeni senaryoyu uygulamaya gerek kalmamıştır. 9 saniye ve 971 iterasyon sonunda 94.842 YTL maliyet hesaplanmaktadır.

Kısıtsız mobil tesis sayısını beş olarak aldığımızda 9 saniye ve 690 iterasyon sonucunda 79.794 YTL maliyetle Çorlu, Erzurum, Afyon, Kahramanmaraş ve Siirt mobil tesis merkezleri bulunur. Benzer şekilde beş tesis arasında Afyon olduğundan

tekrar bir tanesi mutlaka Afyon olacak şekilde senaryo değiştirmeye gerek kalmamaktadır.

Son olarak altı mobil tesis 9 saniye, 579 iterasyon ve 70.947 YTL maliyetle orlu, Aşkale, Afyon, Kağızman, Kahramanmaraş ve Siirt'te ortaya çıkmaktadır. özümün içerisinde Afyon bulunduğundan işlemin bu aşamada kesilmesi mümkündür.

Senaryo gereği mesafe ve zaman kapasite kısıtları dâhil edilerek mobil tesis modeli kurulup çalıştırıldığında 1 tesis kurulması uygulanamaz olarak elde edilmiştir. Optimal olarak 2 ve daha fazla tesis kurulması ihtiyaca cevap verebilmektedir.

Mesafe ve zaman kısıtları modele dâhil edildiğinde ve mobil tesis sayısını iki olarak aldığımızda sabit tesis modeline benzer bir neticeyle 3 saniye ve 1213 iterasyon sonucunda 142.731 YTL maliyetle Bingöl ve Kocaeli merkezlerinde mobil tesis kurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu iki tesisten bir tanesi mutlaka Afyon olması kısıtı eklendiğinde ise sonuç 170.388 YTL maliyetle Erzurum ve Afyon olarak elde edilmektedir.

Bir sonraki senaryoda mobil tesis sayısını üç olarak aldığımızda 5 saniye ve 2739 iterasyon neticesinde 117.972 YTL maliyetle Ağrı, Malatya ve Kocaeli merkezlerinde mobil tesis kurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Benzer olarak bu üç tesisten bir tanesi mutlaka Afyon olması kısıtı eklendiğinde ise maliyet 151.695 YTL olarak elde edilmektedir.

Mobil tesis sayısını dört olarak aldığımızda 3 saniye 1000 iterasyon 94.842 YTL maliyetle orlu, Ağrı, Afyon ve Malatya merkezlerinde mobil tesis kurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu dört tesis arasında Afyon olduğundan tekrar bir tanesi mutlaka Afyon olması kısıtı eklemeye gerek kalmamaktadır.

Kısıtları aktif olan model mobil tesis sayısını beş olarak çalıştırıldığında 3 saniye ve 757 iterasyon sonunda 79.794 YTL maliyetle orlu, Erzurum, Afyon, Kahramanmaraş ve Siirt merkezlerinde mobil tesis kurulması gerektiği ortaya

çıkmaktadır. Benzer şekilde beş tesis arasında Afyon olduğundan tekrar bir tanesi mutlaka Afyon olması kısıtı eklemeye gerek kalmamaktadır.

Mobil tesis sayısını altı olarak çalıştırıldığında ise tekrar 3 saniye, 657 iterasyon ve 70.947 YTL maliyetle Çorlu, Aşkale, Afyon, Kağızman, Kahramanmaraş ve Siirt merkezlerinde mobil tesis kurulmaktadır. Altı tesis arasında Afyon olduğundan tekrar bir tanesi mutlaka Afyon olması kısıtı eklemeye gerek kalmamaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

##### a. Sonuç

Sonuçta; barışta ve savaşta alacağı görevler ve kullandığı silah, araç, gereç ve malzeme bakımından diğer sınıflara nazaran farklılık gösteren İstihkâm sınıfı ve birlikleri envanterinde beka yeteneklerini artırma kapsamında farklı tiplerde iş makinelerine sahiptir.

Hacim ve ağırlık bakımından büyük ve ağır olan bu iş makinelerinin yerinde yapılamayan bakım ve onarımlarının yapılması maksadıyla mevcut karayolu şebekesiyle bakım merkezlerine taşınmaları söz konusudur. Barış şartlarında planlamalara uygun olarak belli periyotlarla bakıma alınan bu iş makinelerinin tek merkezde bakımlarının yapılmasının etkinliği bu çalışmada araştırılmak istenmiştir.

Tek merkezde Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir (FASBAT) uygulaması yerine ülkemiz farklı yerlerine kurulacak ve yurt sathına yayılmış mevcut tesisleri göz önünde bulundurarak yapılacak bir bakım uygulamasının maliyetleri araştırılarak modeller kurulmuştur. Bütün uygulanan senaryolar neticesinde 10050 değişken, 2552 kısıt çerçevesinde ve oldukça kısa sürelerde çözüme ulaşılmıştır. Sadece kısıt sayısı aynı kalmak şartıyla Afyon tesisinin açık olduğu kısıtta 10049 değişken çerçevesinde modeller çalışmıştır. Bu çalışma esnasında bilgisayar hafızasında 1491 kb yer işgal edilmiştir.

Sabit tesis modelleri incelendiğinde FASBAT periyodunun ne kadar yıl olması gerektiğiyle ilgili önemli sonuçlar elde edilmiştir. Üç yıl sürede yapılması için en az

altı tesis, dört yılda yapılması halinde en az üç tesis, beş yılda tamamlanması için ise en az iki tesis kurulup işletilmesi gerekmektedir. Hali hazırdaki Afyon 8 nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığının hizmet verdiği düşünülünce maliyetlerin ne kadar olacağı bu yapılan çalışmada ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçlar neticesinde; Kara Kuvvetleri Komutanlığı tarafından eldeki mevcut bütçe kaynakları, zaman ve hatta mesafe kısıtlarının tanımlanması neticesinde İstihkâm sınıfı iş makinelerinin Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamirine ilişkin maliyet analizi bilgileri elde edebilecektir.

Mobil tesis modellerini incelediğimizde ise sabit tesis modeline alternatif çözümler sunulmuş konuya farklı bir açıdan yaklaşılmıştır. Bu çalışma neticesinde ise en az iki mobil tesisin kurulması gerektiği yapılan varsayımlar ve kurulan model uyarınca ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak, ihtiyaçların sınırsız kaynakların kısıtlı olduğu dünyamızda en kısıtlı kaynak para ve hızla akıp giden zamandır. Yaptığımız her faaliyette bu kısıtları göz önüne alarak yöneticiler olarak zamanı ve kaynakları çok iyi planlamalıyız.

## **b. Öneriler**

Fabrika Seviyesi Bakım ve Tamir yapacak olan tesisler matematiksel modeller kullanılarak bulunmuştur. Bu tesis yeri seçimi problemlerinin çözümü için sezgisel modeller kurularak çözüm yolları bulunabilir. Mobil tesis yerlerinin seçiminde sabit tesis kurulma varsayımları aynen uygulanmış, sadece farklı olarak birliklerin envanterindeki iş makinesi miktarları dikkate alınmamıştır.

Mobil tesis görevli personeli plan dâhilinde bakım sırası gelen iş makinesinin bulunduğu yere giderek FASBAT faaliyetini müteakip kurulu olduğu yere geri dönecektir. Kurulan mobil tesis modelinden farklı olarak araç rotalama problemlerinde ve özel sektörün hali hazırda uygulamakta olduğu gibi mobil tesis araç ve personeli kurulu olduğu merkezden çıkmayı müteakip birliklerdeki tüm iş makinelerini sırasıyla gezmek suretiyle icra edecek şekilde model farklı bir bakış açısıyla ele alınabilir.

Bu yapılan araştırmada örnek olarak alınmış 50 birlik ve bu birliklerin belirli cins ve miktarlarda iş makinesi alınmıştır. İş makinesi cins ve miktarları ve birliklerin yerleri ve aday tesis yerleri tüm ülke il ve ilçeleri esas alınarak model genişletilebilir.

## KAYNAKÇA

Air Force Waiver to 10 USC 2466 NSIAD-00-152R Depot Maintenance, 8 Ağustos 2005, < [www.gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO/NSIAD-00-152R](http://www.gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO/NSIAD-00-152R)>

AKYOL, Ahmet. **Nükleer, Biyolojik ve Kimyasal Korunma Donanımı Depolarının Yerlerinin Matematiksel Modelleme ile Tespiti**, Ankara, KHO Savunma Bilimleri Enstitüsü, 2003,27-28

BATTA, R. ve MANNUR, N. R., "Covering-Location Models for Emergency Situations that Require Multiple Response Units", **Management Science**, Jan. 1990, 36,1,16-23.

Cost Accounting Requirements For Depot Maintenance Chapter 63,16 Mayıs 2005, <[www.defenselink.mil/comptroller/fmr/11b/11barch/11b\\_63b.pdf](http://www.defenselink.mil/comptroller/fmr/11b/11barch/11b_63b.pdf)>

Depot Maintenance Department of Defense, 8, 2005, <[www.defenselink.mil/.../fy2003/budget\\_justification/pdfs/operation/overview/24\\_Depot\\_Maintenance.pdf](http://www.defenselink.mil/.../fy2003/budget_justification/pdfs/operation/overview/24_Depot_Maintenance.pdf)>

ERKUT, E. ve BOZKAYA, B., "Analysis of Aggregation Errors for the P-Median Problem", **Computers & Operations Research**, 26, 1999, 1075-1096.

FRANCIS, R.L. ve diğerleri, "Location Analysis", **European Journal of Operational Research**, 12, 1983, 220-252.

Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği, "Tesis Yeri Seçimi", **Tesis Yeri Seçimi ve Yerleşimi Ders Notları**, 2004,3-2

GAO, L. ve ROBINSON, E., "Uncapacitated Facility Location: General Solution Procedure and Computational Experience" **European Journal of Operational Research**, 76, 1994, 410-427.

HUGEL, M. A. , " Before The Subcommittee On Readiness Of The House Armed Services Committee On Depot Maintenance", **Capacity and Resources For Future Work**, 2004, 1-9.

Karayolları Genel Müdürlüğü, 15 Şubat 2006, < <http://www.kgm.gov.tr/>>

KLOSE, A. ve DREXL, A. "Facility Location Models for Distribution System Models", **European Journal of Operational Research**, 162, 2005, 4–29.

LOVE, R. F. ve DOWLING P. D., "A Generalized Bounding Method for Multifacility Location Models", **Operations Research**, Vol. 37, No: 4, 1988, 653–657.

Military-Handbook-1222A Notice 2 30 October 2001 Guide To The General Style, 9 Ağustos 2005, <<https://www.logsa.army.mil/pub/1222acg2.pdf>>

OWEN, S. H. ve DASKIN M. S., "Strategic Facility Location: A Review" **European Journal of Operational Research**, 111, 1998, 423-447.

PITCHER, B. W. , "Improving DoD Teamwork and Efficiency by Maximizing Depot Maintenance Interservicing", **The Industrial College of The Armed Forces National Defense University**

REVELLE, Charles, "Siting Ambulances and Fire Companies", **Journal of American Planning Association**, Vol.57, No.4, 1991

REVELLE, Charles, "A Perspective On Location Science", **Location Science**, Vol.5, No.1, 1997, 3-13

REVELLE, C. ve EISELT, H.A., "Location Analysis: A Synthesis and Survey", **European Journal of Operational Research**, 165, 2005, 1-19

REVELLE, C. ve LAPORTE, G., "Plant Location Problem: New Models and Research Prospects", **Operations Research**, Vol. 44, No.6, November-December 1996, 864–874

Sesli Sözlük Home Page, 16 Ağustos 2005, <[http://www.seslisozluk.com / ?word=overhaul](http://www.seslisozluk.com/?word=overhaul)>

SHETTY, B., "Approximate Solutions to Large Scale Capacitated Facility Location Problems", **Applied Mathematics and Computation**, 39, 1990, 159-175.

WANG, S. ve diğçerleri," Resource Planning and A Depot Location Model For Electric Power Restoration", **European Journal of Operational Research**, Vol.155,16 Mayıs 2004

Wikipedia Home Page, 30 Kasım 2005,<[http://en.wikipedia.org/wiki/United\\_States\\_armed\\_forces](http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_armed_forces)>