

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MÜHİMMAT DEPO YERİ SEÇİMİ VE DAĞITIM AĞI
TASARIMI PROBLEMİ: KARIŞIK TAM SAYILI LİNEER
PROGRAMLAMA VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA ACAR

BALIKESİR, OCAK - 2019

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MÜHİMMAT DEPO YERİ SEÇİMİ VE DAĞITIM AĞI
TASARIMI PROBLEMİ: KARIŞIK TAM SAYILI LİNEER
PROGRAMLAMA VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA ACAR

Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KÜÇÜKKOÇ (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Ramazan YAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Kadriye ERGÜN

BALIKESİR, OCAK - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

MUSTAFA ACAR tarafından hazırlanan "MÜHİMMAT DEPO YERİ SEÇİMİ VE DAĞITIM AĞI TASARIMI PROBLEMİ: KARIŞIK TAM SAYILI LİNEER PROGRAMLAMA VE UYGULAMASI" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 07.01.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

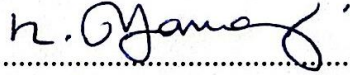
Jüri Üyeleri

İmza

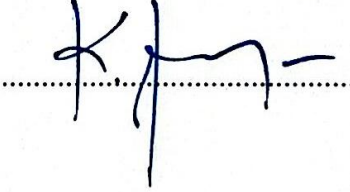
Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KÜÇÜKKOÇ


.....

Üye
Prof. Dr. Ramazan YAMAN


.....

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Kadriye ERGÜN


.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

MÜHİMMAT DEPO YERİ SEÇİMİ VE DAĞITIM AĞI TASARIMI PROBLEMİ: KARIŞIK TAM SAYILI LİNEER PROGRAMLAMA VE UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA ACAR

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ İBRAHİM KÜÇÜKKOÇ)

BALIKESİR, OCAK - 2019

Bir tesis yerinin belirlenmesi problemi, üretim süreçlerinin bir araya getirileceği ve üretim faaliyetinin gerçekleştirileceği tesisin nereye kurulacağına çözüm getirir. Karşılaşılabilecek maliyetler arasında en büyük maliyete sahip olan tesis yeri seçimi problemleri birçok faktör göz önünde bulundurularak çözülmesi gerekmektedir. Dağıtım ağı tasarımı problemi de yerine getirilmesi gereken tüm işlemlerin uzun dönemde etkili olarak çalışabilmesi için çözüm bulunması gereken en kritik karar problemlerinden biridir. Genel olarak dağıtım ağı tasarımı problemleri için alınması gereken kararlar; kurulacak tesis sayısını, konumunu, kapasitesini ve bu tesisler arasındaki nakliye miktarlarını tespit etmeyi gerektirmektedir. Dağıtım ağı tasarımı gibi stratejik seviyeli planlarda verilecek yatırım kararlarının geri dönüşleri taktik ve operasyonel seviyelerde verilecek yatırım kararlarından çok daha yüksek seviyededir. Bir örgüt için önceliği stratejik seviyeli kararlar oluşturacağından taktik ve operasyonel seviyedeki kararların planlanmasında sınırlılık teşkil etmektedir. Bu çalışmada, aday olarak tanımlanmış mühimmat depolama noktaları ile coğrafi olarak dağıtılmış askeri birlikler arasındaki mühimmat dağıtım ağı düşünülerek, mühimmat depolarının tesis yeri seçimi problemi ele alınmaktadır. Problem, aday noktalar arasından mühimmat depolarının yer seçimini belirlemek ve hangi türden kaç tane depo yapılacağına karar vermektir. Problem, ayrıca depolardan birliklere taşınan birçok tipteki mühimmat miktarını eşzamanlı olarak belirlemek için dağıtım ağının tasarımını da içerir. Mühimmat depolarının yer seçiminden ve farklı tipteki mühimmatların bu depolardan birliklere farklı miktarlarda taşınmasından kaynaklanan maliyeti minimize etmek için matematiksel modeller önerilmektedir. Model daha sonra aşamalı olarak geliştirilmekte ve bir uygulama ile jenerik durumlar için çeşitli senaryolar sunulmaktadır. Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS) ile kodlanmış uygulamanın çözümünden elde edilen sayısal sonuçlar sergilenerek, problem odaklı parametrelerin büyüklüğünün model çözme süresine olan etkisi deneysel testlerle araştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Mühimmat deposu, tesis yeri seçimi, dağıtım ağı tasarımı, karışık tam sayılı programlama, optimizasyon

ABSTRACT

THE AMMUNITION DEPOT LOCATION SELECTION AND DISTRIBUTION NETWORK DESIGN PROBLEM: A MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL AND ITS APPLICATION

MSC THESIS

MUSTAFA ACAR

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASST. PROF. DR. İBRAHİM KÜÇÜKKOÇ)

BALIKESİR, JANUARY 2019

The problem of locating a facility brings solution for where the production processes will be held and the production facility will be built. Among the costs that may be encountered, the facility location problems which have the greatest cost, should be solved by considering many factors. The distribution network design problem is one of the most critical decision problems in which a solution must be found in order to sustain the effective performability of all processes in the long term. In general, the decisions to be taken for the problems of distribution network design require to determine the number, location, capacity of the facility to be established and the transportation quantities between these facilities. The return of investment decisions in strategic level plans such as distribution network design is much higher than investment decisions at tactical and operative levels. As the priority for an organization is to make strategic-level decisions, it is a limitation in the planning of decisions at the tactical and operative level. In this study, the problem of the location of ammunition stores is studied considering the ammunition distribution network between the candidate ammunition store locations and the geographically distributed military units. The problem is to determine the location of ammunition stores between candidate points and to decide how many stores are to be constructed from which type. The problem also includes the design of the distribution network to simultaneously determine the amount of ammunition of various types carried from stores to units. Mathematical models are proposed to minimize the costs associated with site selection of ammunition stores and transportation of different types of ammunition from these stores to units. The model is then gradually developed and several scenarios are presented with an application for generic situations. Numerical results, obtained from the solution of the application, coded with General Algebraic Modelling System (GAMS), are demonstrated. The effect of size of problem-oriented parameters on model execution time is also investigated by experimental tests.

KEYWORDS: Ammunition store, facility location, distribution network design, mixed-integer programming, optimization

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	1
1. GİRİŞ	2
2. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ	6
2.1. Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Tanımı ve Önemi	6
2.2. Tesis Yeri Seçim Süreci	10
2.3. Tesis Yeri Seçimini Etkileyen Faktörler	11
2.4. Tesis Yeri Seçimi Problemleri	12
2.5. Tesis Yeri Seçimi Modellerinin Sınıflandırılması.....	14
2.5.1. P-Merkez Problemleri	16
2.5.2. P-Medyan Problemleri	18
2.5.3. Kapsama Problemleri	19
3. MÜHİMMAT DEPOLARI VE ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ	27
3.1. Patlayıcı Madde ve Mühimmatın Depolanması	27
3.1.1. Cephanelik ve Depolama Sahası.....	27
3.1.2. Cephanelik Çeşitleri	28
3.1.3. Açıkta Depolama.....	30
3.1.4. Transit Depolama	31
3.1.5. Park Sahası	32
3.2. Mühimmat Dağıtımı	32
3.3. Ulaştırma Problemleri	33
3.3.1. Ulaştırma Modeli	34
3.3.2. Dengeli ve Dengesiz Ulaştırma Problemleri.....	38
3.4. Literatür Taraması	38
4. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELLEME	46
4.1. Problemin Tanımı.....	46
4.2. Varsayımlar ve Sınırlılıklar	47

4.3.	Matematiksel Model.....	48
4.3.1.	Parametreler	49
4.3.2.	Karar Değişkenleri	50
4.3.3.	Ara Değişkenler	50
4.3.4.	Amaç Fonksiyonu	50
4.3.5.	Kısıtlar.....	50
5.	GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULANMASI.....	53
5.1.	Problem Girdisi	53
5.2.	Elde Edilen Çözüm (Model-I).....	57
5.3.	Model İyileştirme ve Sonuçları	60
5.3.1.	Model II – Bazı Mühimmat Depoları İçin Minimum Oran	61
5.3.2.	Model-III – Özel Depolama Gerektiren Özel Ekipman.....	64
5.3.3.	Model-IV – Maksimum Zaman Limiti	67
6.	ANALİZ VE TARTIŞMA.....	70
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
8.	KAYNAKLAR	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kapsama katsayıları matrisi.....	21
Şekil 3.1: Örnek depolama sahası/sitesi.....	28
Şekil 3.2: İglo tipi standart toprak örtülü cephanelik.....	29
Şekil 3.3: İglo tipi standart olmayan toprak örtülü cephanelik.....	29
Şekil 3.4: Yerüstü kargir cephanelik.....	29
Şekil 3.5: Sac baraka cephanelik.....	30
Şekil 3.6: Gömme cephanelik.....	30
Şekil 3.7: Açıkta depolama.....	31
Şekil 3.8: Transit depolama.....	31
Şekil 3.9: Park sahası.....	32
Şekil 3.10: Arz merkezinden tüketim merkezine problemin gösterilmesi (Kocaoğlu, 2010)	36
Şekil 3.11: Ulaştırma tablosunun genel gösterimi.....	37
Şekil 4.1: Çalışılan problemin temsili modeli.....	47
Şekil 5.1: Askeri birlikler ve aday depolama sahalarının konsept gösterimi.....	53
Şekil 5.2: Model-I'e göre elde edilen dağıtım ağının şematik gösterimi.....	60
Şekil 5.3: Model-II kullanılarak elde edilen çözümün şematik gösterimi.....	63
Şekil 5.4: Model-III kullanılarak elde edilen çözümün şematik gösterimi.....	66
Şekil 5.5: Model-IV kullanılarak elde edilen çözümün şematik gösterimi.....	69
Şekil 6.1: Farklı parametreler altında model çalışma süreleri.....	71

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1: Aday depolama sahası ve talep noktaları arasındaki mesafe (km cinsinden).....	54
Tablo 5.2: Aday depolama sahaları ve talep noktaları arasındaki ulaşım süreleri (dk cinsinden).....	55
Tablo 5.3: Askeri birliklerin her bir mühimmat tipi için talep miktarı (ton cinsinden).....	56
Tablo 5.4: Farklı mühimmat depolarına ait kapasite değerleri ve inşa maliyetleri.....	57
Tablo 5.5: Farklı mühimmat tipleri için taşıma maliyeti katsayıları.....	57
Tablo 5.6: Model-I'in çözümüne göre depolardan birliklere taşınan mühimmat/ekipman miktarları	59
Tablo 5.7: Her noktadaki kurulan mühimmat depolarının sayısı (Model-I kullanılarak)	60
Tablo 5.8: Aday depolama sahalarında kurulan mühimmat depolarının sayısı (Model-II kullanılarak).....	61
Tablo 5.9: Model-II çözümüne dayalı olarak mühimmat depolarından birliklere sevkiyat miktarları	62
Tablo 5.10: Her bir aday sitede kurulan mühimmat depoları	64
Tablo 5.11: Model-III'ün çözümünden elde edilen sevkiyat miktarları	65
Tablo 5.12: Her bir aday sahada inşa edilen mühimmat depoları (Model-IV ile)	67
Tablo 5.13: Model-IV kullanılarak elde edilen çözüm sonucu sevk edilecek mühimmat miktarı.....	68

KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AHP	: Analitik hiyerarşi prosesi (Analytic Hierarchy Process)
ANP	: Analitik ağ prosesi (Analytic Network Process)
CBS	: Coğrafi bilgi sistemi (Geographical Information System)
DATP	: Dağıtım ağı tasarım problemi
GAMS	: General Algebraic Modeling System (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi)
KKP	: Küme kapsama problemi
MBKP	: Maksimum beklenen kapsama problemleri
MDATP	: Mühimmat dağıtım ağı tasarımı problemi
MKP	: Maksimum kapsama problemleri
NATO	: North Atlantic Treaty Organization
NBC	: Nükleer-biyolojik-kimyasal (nuclear-biological-chemistry)
NP-Zor	: Non-polynomial zor problem
PB	: Para birimi

ÖNSÖZ

Öncelikle mensubu olmakla her daim gurur duyduğum ve yüksek lisans yapma imkânını sunan Kara Kuvvetleri Komutanlığı'na ve sıralı amirlerime şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Lisansüstü tez çalışmalarım esnasında, zaman mevhumu gözetmeksizin değerli bilgilerini her daim paylaşan, her konuda destek sağlayan, en bunaldığım zamanlarda bana güç ve moral veren, varlığını daima yanımda hissettiğim ve bu tezin ortaya çıkmasında en büyük katkısı olan kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KÜÇÜKKOÇ'a özellikle teşekkürü bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca, yüksek lisans eğitimimde emeği geçen bütün değerli hocalarıma ve enstitü çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Son olarak; bugünlere gelmemde üzerimde büyük emekleri olan ve her zaman hayır dualarını üzerimde hissettiğim annem Bediha ACAR ile babam Hasan ACAR'a, varlıkları her daim bana güç ve huzur veren sevgili eşim Gökçe ACAR, biricik yavrularım Gökdeniz ile Denizhan'a ve diğer aile üyelerine teşekkürü bir borç bilir, üzerinde hür ve bağımsız yaşadığımız topraklarda bizlere akıl ve ilim yolunu miras olarak bırakan Başöğretmen Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK'e şükranlarımı sunarım.

1. GİRİŞ

Tesis yeri seçim problemleri uzun zamandan beri insanoğlunu meşgul eden, üzerinde araştırmalar yapılan konuların başında gelmektedir. Harekât araştırması ve lojistik sahasında tesis yer seçimi problemine çözüm getirebilecek modeller geliştirilmekte ve çalışmalar artarak devam etmektedir.

Tesis yer seçimi problemleri ile ilgili olarak yapılmış çalışmalar; deponun konumu, dağıtım yapanlar için dağıtım tesis konumu, fabrika, cami, üniversite gibi kamu hizmet tesislerinin yer seçimi gibi konuları kapsarken; hızla ilerleyen ve değişen teknoloji ile birlikte tesis yer seçimi problemleri ile ilgili yapılan çalışmalar bilgisayar şebekeleri için veri saklama merkezi, mobil şebeke servis destekleyicisi ve telefon operatörleri için baz istasyonları konumlarının seçimi gibi alanlarda da uygulanabilmektedir.

Tesis yeri seçimi problemlerine çözüm getirmek maksadıyla birçok model geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları, en ideal tesis yerinin belirlenmesinden ziyade, tesis yeri kararı için önemli olabilecek tesis yeri özelliklerinin, tesis yeri hususlarının ve bölge özelliklerinin tespit edilmesinin, toplanmasının ve değerlendirilmesinin çok daha önemli olduğu nitel tesis yeri modelleri olabilmektedir. Bu modeller, tesis yeri hususlarının ve belirli bir problem için her bir tesis yeri hususunun taşıdığı önem derecesini belirlemeye çalışan, tesis yeri kararının verilmesinden çok alternatif tesis yerlerinin analiz edilmesi için veriler sunan modellerdir. Diğer tesis yeri seçimi modelleri ise nicel modeller olarak adlandırılır. Bu modellerde ise sayısal değerler ile oluşturulmuş olan kompleks problemler halindeki alternatif tesis yerleri analiz edilerek optimum tesis yerine karar verilir. Nicel tesis yeri seçimi modelleri ile ilgili en genel sınıflandırma Daskin (1995) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre tesis yeri seçimi modelleri; Sürekli (Düzlem), Kesikli (Ayrık) veya Ağ Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Ağaç Yapısında veya Genel Grafik Yapısında Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Mesafe Ölçüsüne Göre Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Yerleştirilecek Tesis Sayısına Göre (Çoklu veya Tekli) Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Statik veya Dinamik Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Deterministik veya Probabilistik Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Tek veya Çoklu Ürün Modelli Tesis Yeri Seçimi

Modelleri, Özel Sektör veya Kamu Sektörü Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Tek Amaçlı veya Çok Amaçlı Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Esnek veya Esnek Olmayan Talep Durumuna Göre Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Kapasite Kısıtlı veya Kapasite Kısıtsız Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Talebin En Yakın Tesisten veya Dağıtılarak Karşılmasına Göre Tesis Yeri Seçimi Modelleri, Hiyerarşik veya Tek Aşamalı Tesis Yeri Seçimi Modelleri, İstenen veya İstenmeyen Tesisler Olmasına Göre Tesis Yeri Seçimi olmak üzere 13 farklı şekildedir.

Tesis yeri seçimi problemleri için geliştirilen modellerin çözümü amacıyla da benzer şekilde klasik ve sezgisel olmak üzere iki tür yöntem geliştirilmiştir. Klasik çözüm yöntemlerinde model ile ilgili bilgilerin sayısallaştırılması ve uzman bir ekip tarafından analize tabi tutulması gerekmektedir. Sezgisel yöntemler ise tesis yeri seçimi problemlerini de içeren ve diğer yöntemle istenilen sürede çözümü mümkün gözükmeyen NP-zor sınıfına giren optimizasyon problemlerinin çözülmesi için kullanılan yöntemlerdir.

Tesis yer seçimi kararları genellikle uzun vadeli kararlardır ve sabittir. Ulaşım, envanter ve bilgi paylaşım kararları, dağıtım ağının parametrelerindeki değişikliklere dayalı olarak hızla yeniden optimize edilebilirken, tesis yeri seçim kararlarını değiştirmek ara dönemde bile zordur. Ürünün kalitesi ne kadar iyi olursa olsun tesis yeri seçimlerinde efektif olmayan kararlar aşırı maliyet ve zayıf hizmet kalitesiyle sonuçlanır. Bu yüzden tesis yeri seçimi kararları etkili dağıtım ağı tasarımında hayati rol oynar (Daskin, Snyder ve Berger, 2003; Jia vd. 2018).

Tesis yeri seçim problemleri genellikle tesislerin optimum sayısı, kapasitesi, tipi ve coğrafi bir bölgedeki konumuna karar verme konularıyla ilgilendir. Amaç, müşteri talebini karşılarken aynı zamanda inşaat ve ulaşım maliyetlerini en aza indirmektir (Tang, Lehuédé ve Péton, 2016). İşletme maliyetleri (Kuehn ve Hamburger, 1963) karşılanan talep noktalarının sayısı (Church ve Velle, 1974) ve maksimum ulaşım zamanı (Elloumi, Labbé ve Pochet, 2004) da bu problemlerde optimize edilmiştir (Rahmaniani ve Ghaderi, 2013).

Dağıtım ağı tasarımı problemi (DATP), yerine getirilmesi gereken tüm fonksiyonların uzun dönemde etkili olarak çalışabilmesi için çözüm bulunması şart olan en kritik karar problemlerindedir. Dağıtım ağı tasarımı problemleri için alınması

gereken kararlar genellikle; kurulacak tesis miktarını, konumunu, iş hacmini ve tesisler arasındaki nakliye sayılarını tespit etmeyi içermektedir. Dağıtım ağı tasarımı gibi üst seviyeli planlarda verilecek yatırım kararlarının geri dönüşleri daha alt seviyelerde verilecek kararlardan daha yüksek düzeydedir. Herhangi bir örgüt için önceliği üst seviyeli kararlar olacağından daha alt seviyedeki kararların planlanmasında sınırlılık teşkil etmektedir.

Bu çalışmanın ana konusu ise tesis yer seçimi ve dağıtım ağı tasarımı problemidir. Bu problemler, farklı özellikleri ve amaçlarından dolayı, literatürde birbirinden farklı problemler olarak incelenmektedir. Bundan dolayı, bu problemlerin gerek modellenmesi gerekse çözülmesi konusunda farklı yaklaşımlar öngörülmektedir. Ayrıca, özel bir tesis yeri seçimi probleminin çözümü için düşünülen yaklaşım, az bir farklılık gösteren başka bir tesis yeri seçimi probleminin çözümünde geçerliliğini kaybetmektedir. Bu tezin amacı, farklı yapısal özelliklere sahip ve Daskin (1995) tarafından yapılan sınıflandırmada farklı sınıflara ait, birden fazla tesis yeri seçimi ve dağıtım ağı tasarımı problemi için kullanılabilecek ortak bir karışık tamsayılı lineer programlama modeli oluşturarak, tesis yeri seçimi ve dağıtım ağı tasarımı problemlerinde ortak bir model kullanılabilmesini sağlamaktır.

İkinci bölümde, tesis yeri seçim problemleri hakkında bilgi verilmekte ve modeller sunulmaktadır. Üçüncü bölümde mühimmat depoları ve mühimmat dağıtımı ile ulaştırma yönetimi ve ulaştırma problem ve modelleri hakkında kuramsal olarak bilgi verilmekte ve literatür taraması yapılmaktadır.

Dördüncü bölümde, mühimmat deposu yeri ve dağıtım ağı tasarımı problemi, farklı çeşitte mühimmatlar ve depo tipleri dikkate alınarak tanımlanmaktadır. Her bir farklı kapasiteye sahip depolar, kuruluş için belirli bir bütçeye ihtiyaç duymaktadır. Yani birliklerin taleplerini karşılamak için çeşitli miktarlarda aday depolar inşa edilebilir. Birlikler tarafından talep edilen çeşitli tipteki mühimmatların belirli miktarları, birden fazla mühimmat deposundan karşılanabilir. Ayrıca, çalışmada sunulan karışık tamsayılı programlama modelleri çoklu hedefleri entegre etmektedir; örneğin, gerçek bir uygulamada kuruluş ve ulaşım maliyetlerinin en aza indirilmesi gibi.

Beşinci bölüm, çeşitli aday noktalardan, birliklerden, depo türlerinden ve mühimmat çeşitlerinden oluşan bir uygulama çalışmasıdır. Geliştirilen matematiksel programlama modeli GAMS’de bulunan CPLEX çözücüsü ile çözümlenerek aynı bölümde sunulmuştur. Ayrıca, model analiz edilerek, daha pratik koşullarla birlikte iyileştirmeler ile sunulmaktadır. Geliştirilen modele yeni kısıtlar ilave edilmiştir. Her bir durum için CPLEX çözümleri elde edilmiş ve görsel olarak sunulmuştur.

Altıncı bölümde CPLEX’in ihtiyaç duyduğu süre üzerine probleme özel parametrelerin etkisini ölçmek için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla analiz edilerek sunulmuştur.

Yedinci bölümde ise bu tez kapsamında yapılan çalışma ve ulaşılan sonuçlar konusunda genel bir değerlendirme yapılarak gelecekte yapılması mümkün olan araştırma önerileri sunulmaktadır.

2. TESİS YERİ SEÇİMİ PROBLEMLERİ

Tesis yeri, kuruluşların üretim faaliyetlerini yaptıkları yerdir (Tüzmen, 2010). Başka bir deyişle, tesis yeri üretim faaliyetleri için ihtiyaç olan teknik ve ekonomik şartları diğerlerine göre daha rasyonel şekilde yerine getiren, böylelikle işletmeciye başarı kazandıran yerdir (Cemalcılar vd. 1993). Bir başka ifade ile, tesis yeri bir işletmenin temin, üretim, depolama ve dağıtım gibi işlevlerini ve bunlara bağlı iktisadi amaçlarını yerine getirebileceği en rasyonel yerdir (Barutçugil, 1988).

2.1. Tesis Yeri Seçimi Problemlerinin Tanımı ve Önemi

Tesis yeri ile ilgili tanımların neredeyse tamamında özel sektör kuruluşları anlatılsa da özünde tesis yeri kamu kurum ve kuruluşları için de çok önemlidir. Özel sektör kuruluşları üretim merkezlerini, satış noktalarını ve depolarının yerlerini belirlemeye çalışırken kamu kurum ve kuruluşları da vatandaşlarına hizmet verecekleri yerler ile ilgili kararlar verirler. Sonuç olarak, ister özel sektörde isterse kamuda olsun, her kurum ve kuruluş tesis yeri seçimi problemlerine çözüm üretmek için çalışmaktadırlar.

Tesis yeri seçimi problemleri, i adet tesisten j adet yere planlanan nakliye masraflarını en aza indirecek şekilde tesislerin yerleştirilmesi şeklinde tanımlanabilir (Tavakkoli ve Shayan, 1998). Başka bir deyişle; hizmet veren tesisin belli kısıtlar göz önünde tutularak, hizmet talep edenlerin (talep noktası) taleplerinin karşılanması için üstlenilecek olan harcamaları en düşük seviyede tutacak uygun yerlere yerleştirilmesini ve her bir talep noktasının hizmet veren tesislere tanımlanmasını içeren problemlerdir (Bastı, 2012).

Tesis yerinin seçimi, ilk olarak yaklaşık 180 yıl önce ekonomist ve işletme iktisatçıların dikkatini çekmiştir. İlk olarak inceleyenler, Alman iktisatçı olan J.H-Von Thünen ile Alfred Weber'dir. İkinci Dünya Harbi'nden sonraki çalışmalarda genellikle Anglo-Sakson, özellikle Amerikalı bilim adamlarından başta W. Isard olmak üzere, W.J. Baumol, L. Moses, P. Wolfe, A. Kuehn öne çıkmıştır (Mucuk, 2005).

İşletmeler kendi maksatlarını hayata geçirecek olan en rasyonel, optimum tesis yerini seçmek için uğraşırlar. Tesis yeri seçimi işletmenin başta üretim planlaması faaliyeti olmak üzere üretim kontrolü, malzeme taşınması, tesis yeri düzenleme gibi öteki faaliyetleri ile de yakinen ilgilidir (Özdamar, 2007).

İşletmeler için tesis yeri seçimi orta ve uzun vadeli bir planlamaya göre yapılır. Bundan dolayı işletmenin tesis yeri seçiminin ilk önce sağlam gerekçelere dayalı olması istenir. Doğru alınmamış bir işletme tesis yeri seçimi kararı, kısa ve orta vadede değiştirilmesi uygun olamayacağından, bu durum işletmeyi yüksek maliyetlerle başbaşa bırakabilir. Bu yanlış tesis yeri seçim kararı, işletmeye uzun yıllar yük olabilir. Bu nedenle tesis yeri seçiminin birçok faktör göz önünde bulundurularak nesnel ilkelere göre doğru bir şekilde yapılması gerekir (Tekin, 2011).

Tesis yeri seçim kararının verilmesi işletmeleri, dolayısıyla milli ekonomiyi önemli derecede etkilemektedir. Ekonominin var oluş sebebi olan üretim faktörlerinin kıt olduğu gerçeği ile gelişmekte olan ülkelerde ülke kaynaklarının israfına neden olan hatalı yer seçimi kararı verilmesi, işletmenin sahip olduğu maddi varlıkların da atıl duruma düşmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla hem işletme üretime geçemediğinden veya zamanında geçemediğinden dolayı zarar edecek, böylece ülke ekonomisi de zarar görecektir.

Bu sebeptendir ki, yeni bir işletme için tesis yeri seçimine karar vermek, öncelikli bir konudur (Francis ve White, 1998). Hatalı seçilmiş bir tesis yeri, işletmeyi daha faaliyete geçmeden zarara ve kötü sona sürükleyebilir. Bu nedenle işletme kurulurken girişimci ve iştirakçi, başarısını ya da başarısızlığını önemli ölçüde etkileyebilecek kararlar dizisine iyi çalışmalıdır. Bunlar (Demir ve Gümüşoğlu, 2009):

- Çalışmaların ölçüsü (Çalışma derecesi ya da kapasite),

Bu ölçüye hangi nicelikte ürün üretilecek ya da hizmet sunulacak ve müşteriye hangi fiyatla arz edilecek gibi konular da girer,

- Uygun üretim öğeleri birleşiminin (kombinasyon) seçimini kapsayan tekniğin benimsenmesi (Üretim/İşlemler yönetimi),
- İşletmenin tesis yeri.

Bu üç ögeden oluşan karar dizisinin her biri, birbirleri ile yakından ilişki içinde buldukları için, birbirine bağlı bir şekilde düşünülmelidir. Üretim kapasiteleri, değişik pazarlarda rekabet edebilmek için çeşitli miktarlarda üretim gerektirdiğinden farklı tesis yerleri seçmeyi gerektirebilir. İşletmelerin büyük oranda ihtiyaç duydukları hammadde ve diğer üretim öğelerini daha ucuz kaynaklardan sağlamak istemesi, üretim unsurları ve üretim yöntemini etkileyebilir. Dolayısıyla, kapasite ve üretim yöntemleri birbirlerini de etkilemektedir. Fakat, kapasitenin tesis yeri seçimine etkisi, üretim yöntemlerinin tesis yeri seçimine etkisinden daha az olmaktadır.

Büyük karlar elde eden işletmelerden bazıları zamanla yüksek miktardaki satış ücretlerine rağmen elde ettikleri kar marjlarının azalmakta olduğunu görebilirler. Bunun temel nedenlerinin birincisi olarak, işletmelerin tesis yerinin yanlış seçilmesinden kaynaklanan büyük maliyet masraflarıyla üretim yapmaları gösterilebilir. Bu tür işletmeler ya buldukları yerlerde kalarak yüksek maliyet giderlerini, üretimin başka aşamalarında gerçekleştirecekleri tasarruflarla gidermek, ya da yerleşim alanlarını değiştirerek çok daha elverişli bir bölgeye taşınma seçenekleriyle karşı karşıyadırlar (Karalar, 2005).

İşletmelerin mevcut tesisi olmasına rağmen yeni bir tesis yerine ihtiyaç duymalarının temel sebeplerini şöyle sıralamak mümkündür (Tekin, 2012):

- İşletmenin girdilerinde meydana gelen değişimler,
- Müşteri yoğunluğunun coğrafi olarak yer değiştirmesi,
- Şirket birleşmesi veya işletmenin büyümesi,
- Teknolojik değişimle oluşan yeni üretim tekniklerinin, makine ve teçhizatların kullanılması.

Tesis yeri seçimi yukarıda belirtilen şekillerde olabileceği gibi aynı zamanda tüm işletme bölümleri için söz konusu da olmayabilir. Kimi bölümler değişik yerlerde kurulabilirler. Girişim bir ya da birkaç bölümünü maliyet giderleri avantajlarından ya da sosyal politik nedenlerden ötürü aynı yerde bulundurmayabilir. Ana tesis bir yerde, yedek parça tesisi bir başka yerde, araştırma ve geliştirme bölümü ise öteki işletmelerin AR-GE bölümleriyle iş birliği yapabileceği ve/veya olanakların daha iyi

olduğu bir bölgede olabilir. Bir işletmenin 30 - 50 yıl gibi bir süre aynı yerde çalışmalarında bulunması, girişimin yer değiştirme ya da var olanı kapatıp başka yerde yenisini açma sorunu ile hiç karşılaşmadığı anlamına gelmemelidir (Demir ve Gümüšoğlu, 2009).

Belirtildiği üzere bir coğrafi bölge içerisinde halen mevcut ve kurulması planlanan tesislerin süreç içinde sürekli hareketli olduğu gözlemlenir. Yer seçimini etkileyen faktörlerden birinin önemini yitirmesi, buna karşın bir başkasının önem kazanması sonucunda bir işletme, tesis yeri ile ilgili karar vermek zorunda kalabilir. Satışların artması, pazar kayması, kaynakların tükenmesi, gibi sebeplerden dolayı firma aşağıdaki kararlarla karşı karşıya kalabilir (Garett ve Silver, 1973):

- İşi rakiplere bırakmak,
- Olanaklı ise mevcut tesisleri genişletmek,
- Mevcut tesisi genişletmeden taşeron işletmelerle varlığını sürdürmek,
- Mevcut tesisi kapatmadan gereksinim duyulan ek üretimi başka yerde kurulacak yeni bir tesis/işletme ile karşılamak,
- Mevcut tesisi tamamen kapatarak yeni bir tesis kurmak.

Optimal tesis yeri seçilirken; verimlilik, iktisadilik, karlılık ve etkinlik faktörlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu dört faktör şöyle açıklanabilmektedir (Tekin, 2012):

- Verimlilik; bir üretim ya da hizmet sisteminin ürettiği çıktı ile, bu çıktıyı yaratmak için kullanılan girdi arasındaki ilişkidir.
- İktisadilik; belirli girdilerle elde edilen mal ve hizmet üretiminin birim başına düşen maliyetin minimum olduğu durumu gösterir.
- Karlılık; belirli bir dönemde kullanılan sermayenin verimliliğini ifade etmekte olup, sermayedeki artışı gösterir.
- Etkinlik; işletmenin önceden belirlenen amaçlarına ve hedeflerine ulaşabilme derecesini ifade etmektedir. Etkinlik, işletme faaliyetlerinin etki ve

verimliliğiyle yakından ilgilidir.

2.2. Tesis Yeri Seçim Süreci

Bir işletme kurulmadan önce, ön çalışmalar yapılır. Bu çalışmaların ilk aşamasını da tesis yerinin belirlenmesi oluşturur. İşletmenin kurulma aşamasında ilk önemli faktör tesis yeri seçimidir. Bu nedenle tesis yeri seçilirken çok titiz bir çalışma yapılması gerekir.

Tesis yerinin seçimi aşamasında uyulması gereken belli prensipler vardır. Bunlar şöyle özetlenebilir (Kobu, 2003):

- İşletmenin ihtiyaçları objektif olarak saptanmalıdır. Seçilecek yerin bu ihtiyaçları optimum şekilde karşılayacak nitelikte olması istendiğinden açık, tam ve eksiksiz ihtiyaç tanımları yapılması şarttır.
- Seçilecek yerin tesisin faaliyetlerine yapacağı etkileri belirleyen karakteristikleri saptanmalıdır. İhtiyaçlarda olduğu gibi burada da tam ve gerçeğe uygun bilgilerin toplanmasına özen gösterilmelidir.
- Yer seçimi çalışmaları disiplinli bir şekilde, aşamaları karıştırılmadan ve sıra ile yürütülmelidir.
- Her aşamanın gerektirdiği uzman kişi ve tesisler isabetle belirlenerek faydalanma olanakları araştırılmalıdır.
- Bu prensipler göz önünde bulundurularak tesis yerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Yer seçimi yapılırken aşağıda belirtilen aşamaların eksiksiz ve doğru biçimde yerine getirilmesi doğru sonuca ulaşma da önemlidir (Üreten, 2006).

Aşama 1: İşletmelerin ihtiyaçları doğrultusunda tesis yerinde bulunması gereken özelliklerin, başka bir deyişle, önemli tesis yeri faktörlerinin belirlenmesi

Aşama 2: Politik, sosyal, ekonomik ve pazarla ilgili verilerden yararlanılarak tesis yeri alternatiflerinin belirlenmesi

Aşama 3: Alternatiflerin, temel ihtiyaçlar karşısında değerlendirilerek kabul edilmeyecek nitelikte olanlarının elenmesi

Aşama 4: Uygun modeller kullanılarak (maliyet-hacim vb.), alternatiflerin sayısal (yani ekonomik) temele göre karşılaştırılması

Aşama 5: Daha az somut faktörlerin göz önüne alınması için faktör sıralama yöntemi veya diğer subjektif yöntemler kullanılarak alternatiflerin sayısal olmayan temele göre karşılaştırılması

Aşama 6: Alternatifler içinden en iyi tesis yerinin seçilmesi

2.3. Tesis Yeri Seçimini Etkileyen Faktörler

Tesis yeri, bir taraftan en uygun fiyat ve miktarda hammadde, işgücü temini sağlayabilecek, diğer taraftan minimum maliyetle dağıtım gerçekleştirebilecek; böylelikle işletmenin kârını maksimize edebilecek bir yer olmalıdır. Dolayısıyla, birçok faktörün etkisi altında olan tesis yeri seçilirken objektif kararların verilmesi gerekir (Korkut, Doğan ve Bekar, 2010).

Tesis yerini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörleri ekonomik, doğal ve sosyal faktörler olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür.

Ekonomik Faktörler

Ekonomik faktörler doğrudan işletmenin maliyet unsurlarından oluşmaktadır. Bir tesisin kurulmasında ve üretimin başlamasından tüketiciye sunulmasına kadar ki süreçte hammadde kaynaklarının taşınması, işgücü potansiyelinin durumu, çalışanların ücretlendirilmesi, kolay ulaşım vb. birçok faktör ekonomik faktörler arasında yer almaktadır.

Doğal Faktörler

Doğal faktörler, işletmenin faaliyette bulunduğu iş kolunu yakından ilgilendiren faktörlerdir. İşletmenin faaliyet alanını olumlu veya olumsuz etkileyebilecek doğal faktörler tesisin kuruluş aşamasında göz önünde

bulundurulmalıdır. Tesis yerinin yer aldığı bölgenin iklim koşulları, arazi özellikleri ve su kaynaklarına yakınlığı tesisin çalışma gücünü doğrudan etkileyebilecek bir güce sahiptir.

Sosyal Faktörler

İşletmelerin en önemli girdilerinden birisi insan gücüdür. Tesisin hangi kademesinde görev alırsa alsın insan unsurunun yaşam şartları ve çevresi çalışanların performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle tesisin kurulacağı yerde yaşayan diğer insanların iletişime kapalı olması veya tesise yakın bir yerleşimin olmaması gibi etkenler çalışanları olumsuz etkiler. Bunun yanında günümüzde artan çevre bilinci sonucunda tesisin atıklarının değerlendirilmesi ve doğaya zararlı olup olmaması tesisin kurulacağı yerde yaşayan insanların tesisi kabullenme derecesini belirlemektedir.

2.4. Tesis Yeri Seçimi Problemleri

Hangi konumda olursa olsun insanların karşısına çıkan en büyük sorunlardan biri, karar vermektir. Karar vericinin statüsü ve karardan etkilenen sistemlerin büyüklüğüne göre bu karardan elde edilen sonucun yararı veya zararı da o seviyede büyük olmaktadır. Karar vermek en temel şekilde mevcut alternatif hareket tarzlarından, amaca göre en çok yararı sağlayanın seçilmesi olarak tanımlanabilir. Bilimsel anlamda karar verme teriminden ise daha çok sayısal analizlere ve modellere dayanan ve konuyla ilgili kriterleri dikkate alarak alternatifler arasından amaca en çok hizmet edeni seçmek anlaşılmaktadır.

Bu bölümde incelenecek olan tesis yeri seçimi problemleri de yukarıda bahsedilen bilimsel karar problemi türlerindedir. Drezner (1995)'e göre, tesis yeri seçimi problemleri, bir ya da daha fazla tesisin ulaşılan talep noktalarını en çok yapmak, kat edilen yolu en aza indirmek veya bunun gibi belirlenebilecek herhangi bir amaç doğrultusunda en iyi tesisin yerini belirleyebilme problemleridir. Üreten (1999)'in belirttiği gibi, bir hastane, bir imalât işletmesi ya da bir banka için kuruluş yeri seçiminde göz önüne alınması gereken faktörler farklılık gösterse de, gerek hizmet gerekse de ürün üreten işletmelerin tümü açısından, yer seçimi kararının önemi

büyükür. Tesis yeri seçimi problemleri, belirli kısıtlar altında bazı talep veya müşteri kümelerinin isteklerini karşılamak için gerekli maliyeti minimum yapacak şekilde, bir kaynak veya tesis kümesinin fiziksel olarak nereye yerleştirilmesi gerektiğini araştırır (Hale ve Moberg, 2003).

Bu problemlerde yerleştirilmeye çalışılan tesisler çok geniş bir anlam yelpazesine sahiptir. Yerleştirilmek istenen tesisler bazen okul, hastane, alışveriş merkezi, sinyal verici kule veya radar olabileceği gibi, bu çalışmada kullanılan mühimmat depoları da olabilir. Benzer şekilde, bu problemlerde amaç da farklılık gösterebilir. Örneğin bir problemde alışveriş merkezini talep noktalarına en yakın yere kurmak amaçlanırken, diğer bir problemde çöp toplama noktalarını en uzak yere kurmak amaçlanabilir. Owen ve Daskin (1998)'in belirttiği gibi, yöneylem araştırması alanında çalışan kişiler, tesis yerleşimi konusunda karşılaşılabilecek çok sayıda problem türüne çözüm bulabilecek matematiksel modeller ve çözüm teknikleri geliştirmişlerdir.

Tesis yeri seçimi problemleri önemini hâlâ korumaktadır. Bunun nedeni, coğrafyanın bütün teknolojik gelişmelere rağmen organizasyon üzerinde çok etkili olmaya devam etmesidir. Amaç ya da tesis tipi ne olursa olsun, tesis yeri seçimi problemlerinde kaçınılmaz olarak coğrafi faktörler kararı etkilemektedir.

Daskin (1995), tesis yeri seçimi problemlerinin matematiksel model yaklaşımı ile formüle edilebilmesi için, aşağıda belirtilen dört hususun karar vericiler tarafından cevaplandırılması gerektiğini belirtmiştir:

- Yerleştirilecek hizmet birimi sayısı,
- Her bir hizmet biriminin konuşlandırılacağı yer,
- Her bir hizmet biriminin büyüklüğü (kapasitesi),
- Taleplerin hizmet birimlerine nasıl tahsis edileceği.

Tesis yeri seçimi problemlerinin çözümünde takip edilen işlem sırası; problemin tanımı, problemin analizi, alternatif sonuçların araştırılması, çözümün seçilmesi ve çözüm hakkında yorumların yapılması olarak belirtilebilir. Tesis yeri seçimi problemlerinde problemin tanımına göre her bir modelin kendine özgü bir

yapısı vardır. Genel mantığa bağlı kalmak üzere ihtiyacı karşılayacak şekilde model kurulur. Dolayısıyla, bütün yerleştirme problemlerinde kullanılacak genel ve temel bir yerleştirme modeli bulunmamaktadır (Current, Daskin ve Schilling, 2002).

2.5. Tesis Yeri Seçimi Modellerinin Sınıflandırılması

Tesis yeri seçimi problemleri gittikçe artan bir şekilde geniş bir alanda kullanılmaktadır. Bundan dolayı bu tip problemlere olan ilgi giderek artmış ve bu konuda yeni araştırmalar yapılmıştır. Bunun sonucunda da bir çok tipte yer seçimi problemleri ortaya çıkmıştır. Brandeau ve Chiu (1989), ve Daskin (1995), yer seçimi problemlerini, çözüm uzayları, hizmet birimi sayıları, taleplerin olasılık-yoğunluk ve elde edilme durumları gibi çok farklı kriterleri göz önüne alarak sınıflandırmışlardır. Erkut ve Neuman (1989), yerleştirilecek hizmet birimi sayılarına, sınırlı veya sınırsız kapasiteli olmalarına, hizmet birimlerinin yakın veya uzak olmasının istenmesine; Francis vd. (1983), hiyerarşik veya tek kademeli olmalarına göre yer seçimi problemlerini farklı biçimlerde sınıflandırmışlardır.

Daskin (1995)'in belirttiği gibi aday noktaları ile talep noktalarının olduğu ve üzerinde bulunduğu düzlemin şekline ve özelliğine bağlı olarak, yer seçimi problemleri, düzlemsel (planar), şebeke yapısında (network) ve kesikli olarak üçe ayrılmıştır. Ayrıca, şebeke yapısındaki modeller de ağaç yapısında (tree) ve genel grafik yapısında olmak üzere iki alt bölüme ayrılmıştır. Francis ve White (1983) ise düzlemsel yer seçimi problemlerini, aday tesis yerlerinin belirli bir düzlem üzerinde ve sonsuz sayıda olan, genelde öklid mesafesini içeren problem türleri olarak tanımlamışlardır. Daskin (1995) şebeke tipi modelleri, aday noktaları ve talep noktalarının belirli bir şebeke üzerinde belirli düğüm noktaları üzerinde oluşabilen problem türü olarak nitelerken; Francis ve White (1983) şebeke tipi modellerde mesafeyi iki düğüm arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlamışlardır ve bu mesafelerin pozitiflik, simetriklik ve üçgen eşitsizliği özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Diğer bir sınıflama şekli ise tesis sayısına bağlı olarak tek tesisli ya da çok tesisli olarak sınıflandırmaktır. Levin ve Ben Israel (2001)'e göre m adet tesis ve n adet müşteriden oluşan bir müşteri kümesinde $m \neq 1$ olduğu durumlarda problem, çok tesisli

yer seçimi olarak tanımlanabilir. Revelle ve Eiselt (2005)'e göre diğer bir sınıflandırma şekli ise sürekli ve kesikli yer seçimi problemleridir. Çoğunlukla düzlemsel ya da d -boyutlu uzayda uygulama alanı bulan sürekli problemler genelde doğrusal olmayan optimizasyon yapısı gösterirken, daha çok şebeke problemlerinde uygulama alanı bulan kesikli problemler ise içerdikleri ikili karar değişkenleri ile tamsayı programlama ya da kombinatoriyal optimizasyon problemleri içerisine girer. Bununla birlikte sürekli ve kesikli problemin özelliklerini bünyesinde bulunduran birçok hibrid modele rastlamak da mümkündür. Benzer bir şekilde, yer seçimi problemleri, girdi setlerinin ve çözümün durumuna göre statik veya dinamik olarak sınıflandırılabilir. Dinamik yer seçimi problemlerini tanımlarken, parametrelerin zamana bağlı olarak değişebileceğini, ancak statik problemlerde ulaşılan sonucun o ana ait bir sonuç olduğu ve şartlar değişse de sonucun değişmeyeceği belirtilmiştir (Current, Daskin ve Schilling, 2002).

Bazı yer seçimi problemlerinde amaç, istenmeyen tesislerin daha uzağa yerleştirilmesi olabilir. Örneğin şehir çöplüklerinin yerleşim yerlerinden uzakta olması gibi. Bu tür problem tiplerinin ve amaç fonksiyonlarının farklılıklarından dolayı, problemler, arzu edilen ve arzu edilmeyen tesis yerleşim problemleri olarak da sınıflandırılabilir (Erkut ve Neuman 1989). İstenmeyen tesislerin bir ağ üzerindeki yerlerinin seçimi problemlerinde, önceden belirlenmiş bir minimum kapsama mesafesi içindeki düğümlere ait ağırlıkları en aza indirecek olan yerlere tesislerin yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu tür problemlerin uygulama alanları, toplumun yaşadığı yoğun bölgelerden olabildiğince uzakta ve belirlenen mesafeler dışındaki bölgelere yerleştirilmek istenen çöplükler, nükleer reaktörler, hapishaneler ve askerî üsler gibi tesisleri içermektedir (Berman ve Kruss, 2002). Current, Min ve Schilling (1990), amaca göre sınıflandırma yapmışlardır. Yer seçimi problemlerinde genel olarak, maliyetin azaltılması, kazancın artırılması, talebin tam karşılanması, çevresel sorunların çözülmesi olarak amaçlar yoğunlaşmaktadır.

2.5.1. P-Merkez Problemleri

P-Merkez Problemleri, Hakimi (1965)'nin bir şebeke üzerindeki tesis yerlerinin, düğüm veya düğümleri birbirlerine bağlayan yollar üstünde seçilebileceğini açıklaması ile başlamıştır. P-Merkez problemleri, şebeke üzerindeki tesis aday noktasının talep noktalarına olan en büyük mesafesinin dolayısıyla da maliyetinin minimizasyonu ile ilgilidir. Bu problemlerin amacı, birden fazla tesis sayısı için, talep noktaları ve bu talep noktalarına en yakın aday noktalar arası en büyük mesafenin minimizasyonudur.

Özaykuç (2004) genel olarak tesis yeri seçimi problemlerinde üç çeşit maliyet olduğunu kabul etmektedir. Birincisi başlangıç (kuruluş) maliyeti, tesisin herhangi bir potansiyel noktaya kurulma maliyetidir. Çoğunlukla aynı şebeke içinde herhangi bir yere tesis kurma maliyetlerinin eşit olduğu kabul edilmektedir. İkincisi ceza maliyeti, müşterilere hiçbir hizmet yapılmadığı zaman ortaya çıkan maliyettir. Üçüncüsü ulaşım (nakliye) maliyeti ise, müşteri ile tesis arasında hizmet biriminin veya ürünün taşınmasından doğan maliyettir ve bu maliyetin tesis ile müşteri arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olduğu kabul edilmektedir. Müşteriler kendisine belli bir mesafede bulunan (kendi ilgi alanı içerisindeki) bir tesisten hizmet almak istemektedirler.

P-Merkez problemlerinin amaç fonksiyonunun ve kısıtlarının matematiksel formda gösterimi aşağıdaki şekildedir (Mirchandani ve Franchis, 1990):

$$\text{Min } M \quad (2.1)$$

$$M \geq C_i \sum_j (d_{ij} X_{ij}) \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$\sum_j X_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.3)$$

$$\sum_j Y_j = P \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i, j \quad (2.5)$$

$$X_{ij}, Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \quad (2.6)$$

Değişken ve indislerin anlamları aşağıdadır:

i = Talep noktaları ($i=1,2,\dots,I$),

j = Tesislere ait aday noktaları ($j=1,2,\dots,J$),

d_{ij} = i talep noktası ile j tesisi arasındaki ulaşım mesafe ya da süresi,

P = Yerleştirilecek tesis sayısı,

C_i = i noktasındaki talep miktarı (ağırlık katsayısı),

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ müşterisi } j \text{ tesisine atanırsa,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$

$Y_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasında tesis açılırsa,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$

Modelin (2.1) amaç fonksiyonu, M 'yi minimize etmektedir. (2.2) numaralı kısıt, i ve j noktaları arasındaki en büyük mesafenin M 'den küçük olmasını sağlamaktadır. Modelin (2.3) numaralı kısıtı, i noktasındaki tüm taleplerin karşılanmasını garanti etmektedir. (2.4) numaralı kısıt açılacak tesis sayısının P kadar olmasını sağlamaktadır. (2.5) numaralı kısıt, i noktasındaki tüm taleplerin sadece bir tesisten karşılanacağını belirtmektedir. (2.6) numaralı kısıt, X_{ij} ve Y_j karar değişkenlerinin 0 veya 1 değeri alabileceğini ifade etmektedir.

Yukarıdaki modelde dikkat edilmesi gereken konu C_i ağırlık katsayısıdır. Bu katsayı talep noktaları arasında ağırlıklandırma yapılmasını sağlamakta ve sonuç olarak problemin çözümünü etkilemektedir. Bazı problemlerde ağırlıklandırma yapılması gerekmemektedir. Bu durumlarda problemde C_i katsayısı talep noktaları için aynı kullanılmakta olup, bu durumda problem ağırlıklandırılmamış P-Merkez problemi olarak adlandırılmaktadır. Ağırlıklandırılmamış P-Merkez problemlerinin ilgili kısıtı ise aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$M \geq \sum_j (d_{ij} X_{ij}) \quad \forall i \in I \quad (2.2a)$$

Tesis yeri seçimi problemleri hesaplama karmaşıklığı fazla olan NP-zor problemlerdir. Bu tür problemlerde karmaşıklık çok fazladır ve optimal çözüm elde etmek güçtür. NP-zor problemlerin çözümü için üssel zamanlı algoritmalar

kullanılmaktadır (Garey ve Johnson, 1979). P-Merkez problemleri NP-zor problemlere örnek teşkil etmektedir. Alan üzerindeki P-Merkez problemlerinin uygulamalarına yönelik en iyi sonuçları elde edebilen metotlar geliştirilmeye çalışılmış ve buna yönelik olarak Voronoi diagramı kullanılmıştır (Garey ve Johnson, 1979).

2.5.2. P-Medyan Problemleri

Tesis yeri seçim problemlerinde kullanılan en yaygın modellerden birisi de P-Medyan modelleridir. P-Medyan problemlerinde temel amaç, talep noktası ile tesis aday yeri arasındaki toplam ortalama mesafeyi veya süreyi minimize etmektir. Bu amaca en kısa toplam ortalama mesafe veya süre bulunarak ulaşılabilir. Coğrafi faktörlerin bir gereği olarak, hizmet noktasının talep noktasına olan mesafesi arttıkça, o hizmet noktasının etkinliği azalmaktadır. Normal şartlar altında talep ediciler, örneğin insanlar, talep ettikleri hizmeti kendilerine yakın olan hizmet noktasından (alışveriş merkezi) almak isterler. Elbette bunun tersi durumu da söz konusudur. Negatif talebi olan tesislerin (örneğin çöplükler), mümkün olduğunca insanlardan uzak mesafede yerleştirilmesi arzu edilir. Bu durumda P-Medyan problemlerinin amacı toplam ortalama mesafeyi maksimize etmektir.

P-Medyan Problemlerinin matematiksel modeli aşağıda açıklanmıştır (Soydemir, 2005):

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j d_{ij} X_{ij} \quad (2.7)$$

$$\sum_j X_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.8)$$

$$\sum_j Y_j = P \quad \forall j \in J \quad (2.9)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i, j \quad (2.10)$$

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

Modelde kullanılan değişken ve indisler aşağıda tanımlanmıştır:

i = Talep noktaları ($i=1,2,\dots,I$),

j = Hizmet yeri aday noktaları ($j=1,2,\dots,J$),

d_{ij} = i talep noktası ile j tesisi arasındaki ulaşım süre ya da mesafesi,

P = Yerleştirilecek toplam tesis sayısı,

$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ müşterisi } j \text{ tesisine atanırsa,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$

$Y_j = \begin{cases} 1, & j \text{ noktasında tesis yeri seğilirse,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$

Amaç fonksiyonu (2.7) toplam mesafeyi minimize eder. (2.8) numaralı kısıt ile tüm müşterilerin talepleri karşılanır. (2.9) numaralı kısıt ile P sayıda hizmet noktası açılır. (2.10) numaralı kısıt ile müşteri talepleri tek bir hizmet yeri tarafından karşılanır. (2.11) numaralı kısıt sayesinde X_{ij} ve Y_j değişkenleri 0 ya da 1 değerini alırlar.

P-Medyan problemlerinde karşılaşılabilecek özel bir durum ise talep noktalarına yoğunluk katsayısı atamaktır. Bu durumda, modelin amaç fonksiyonu ile toplam ortalama mesafe veya süre minimize edilirken, talep ile hizmet noktaları arası mesafelerin talep noktası yoğunluk katsayısı (W_i) ile çarpımından yararlanılır. Bu şekilde ağırlıklandırılmış P-Medyan probleminin amaç fonksiyonu ise aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\text{Min} = \sum_i W_i \sum_j d_{ij} X_{ij} \quad (2.7a)$$

W_i = i noktasındaki müşteri talep ağırlığı.

2.5.3. Kapsama Problemleri

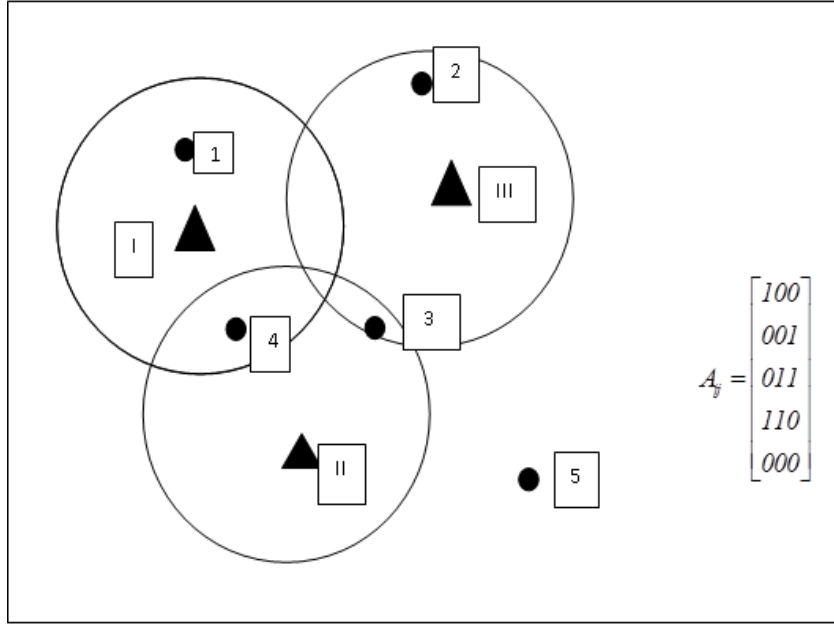
Yer seçimi problemlerinde talebin karşılanmasında dikkate alınacak temel faktör mesafedir. Eğer talep noktası mesafe yönünden etki mesafesinin içinde ise talep karşılanır. Ancak her durumda mesafe tek başına belirleyici değildir. Örneğin bir

deponun talebi karşılaması için hem etki mesafesi içinde olması hem de gerekli stok miktarına sahip olması gerekmektedir.

Bu durum kapsama kavramını ortaya çıkarmıştır. Owen ve Daskin (1998)'e göre tesisleri yerleştirmede esas kriter kapsamadır. Eğer bir talep noktası kaplandı olarak ifade edilirse bu o talep noktasının, açılan bir tesisin belirlenen mesafe ya da uzaklık sınırları içinde olduğu anlamına gelir. Francis ve White (1983) talep noktaları ile aday tesis yerleri arasında 0 ya da 1 değeri alan bir karar değişkeni tanımlamıştır. Buna göre $i=(1,2,\dots,I)$ talep noktaları kümesi, $j=(1,2,\dots,J)$ ise aday tesis yeri kümesi olarak tanımlanırsa, A_{ij} değişkeni, eğer i talep noktası j tesisi tarafından kaplanıyorsa 1, kaplanmıyorsa 0 değerini alacaktır. Buna göre A_{ij} matrisi kapsama katsayıları matrisi olarak isimlendirilir.

Kapsama problemleri, talep noktaları ihtiyaçlarının belirli bir mesafe veya süre içinde belli sayıdaki hizmet noktaları tarafından giderilmesini amaçlamaktadır. Başlangıçta, tesis sayısının sınırlı olması ya da olmaması durumuna göre iki ana model geliştirilmiştir. Tesis sayısı sınırsız ve tüm talepleri karşılamak amacıyla ilk geliştirilen model 'Küme Kapsama Problemi (KKP)' olarak bilinmektedir (Toregas ve diğerleri 1971).

Konuyu bir örnek ile daha iyi açıklayalım. Araziye konuşlanmış olan Bölük Timlerine (Bl.Timi) muhabere desteği sağlayacak olan röle istasyonlarını ele alalım. Şekil 2.1'de, 3 adet röle istasyonu ve 5 adet Bl.Timi gösterilmiştir. Bir röle istasyonunun 10 km. mesafeyi destekleyebildiğini düşünürsek, kapsama katsayılar matrisi aşağıdaki gibi oluşur. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 5 nci Bl.Timi hiçbir istasyon tarafından kaplanamazken, 4 ncü Bl.Timi hem 1 hem de 2 numaralı istasyon tarafından kaplanmaktadır.



Şekil 2.1: Kapsama katsayıları matrisi

Kapsama problemleri, Küme Kapsama, Maksimum Kapsama ve Maksimum Beklenen Kapsama Problemleri olarak üçe ayrılmaktadır.

a. Küme Kapsama Problemleri

Yer seçimi problemlerinin en basiti olarak nitelendirilen KKP, hizmet için tanımlı mesafe ya da zaman kısıtı altında tüm talep noktalarını kaplayabilmek için gerekli minimum tesisi, sonsuz sayıda aday tesis arasından seçer. Küme Kapsama Problemi, gerçek hayatta yaşanan durumların birçoğunu karşılamaktan uzaktır. Fakat bir faaliyetin planlanması safhasında tüm talebi karşılamak için ihtiyaç duyulan hizmet birimi ya da tesis sayısının alt sınırının ortaya konması açısından fikir verebilir (Brotcorne vd. 2003).

Küme Kapsama Problemlerinin matematiksel modeli aşağıdadır:

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

$$\sum_j A_{ij} \cdot X_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (2.13)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.14)$$

Modelde kullanılan değişkenlerin ve indislerin tanımları aşağıdadır:

i = Talep noktaları kümesi ($i=1,2,\dots,I$),

j = Aday tesis noktaları kümesi ($j=1,2,\dots,J$),

D_{ij} = i talep noktası ile j aday tesis yeri arasındaki mesafe,

D_c = Kapsama mesafesi,

N_i = i noktasına D_c mesafesinden yakın j aday noktalar kümesi ($j, d_i \leq D_c$),

F_j = j aday noktasında kurulacak tesisin kurulma maliyeti,

$A_{ij} = \begin{cases} 1, & j \text{ aday noktası } i \text{ talep noktasını kapsarsa,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$

$X_j = \begin{cases} 1, & j \text{ aday noktasında tesis kurulursa,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$

Denklem (2.12)'deki amaç fonksiyonu, tüm noktaları kaplayacak şekilde tesis açılma maliyetlerini minimum yapmaktadır. Kısıt (2.13) tüm talep noktalarının en az bir defa kaplanmasını sağlamaktadır. Son kısıt (2.14) ise X_j değişkeninin 0 ya da 1 değerini almasını sağlamaktadır.

Eğer amaç fonksiyonu, tesislerin açılma maliyeti olmadan ifade edilirse amaç fonksiyonunun değeri, açılması gereken minimum tesis sayısını verir. Bu tür problemlerin çözümü için Daskin (1995), birkaç değişik satır ve sütün eleme işlemleri ile problemi sadeleştirmiştir. Owen ve Daskin (1998) bu modelde talep noktalarının herhangi bir önceliği bulunmadan ifade edildiğini ve amacın sadece tüm noktaları kapsamak olduğunu belirtmiştir. Aynı zamanda kapsama mesafesi olan D_c değeri ile açılacak olan tesis sayısı arasında ters orantı olduğunu ifade etmişlerdir.

b. Maksimum Kapsama Problemleri

Maksimum Kapsama Problemleri (MKP) konunun uzmanı birçok bilim adamı tarafından en yararlı yer seçimi problemi olarak nitelendirilmektedir. Gerçek dünya problemlerinde tüm talep noktalarını kaplayabilecek sayıda tesisi kurma imkanı yoktur. Church (1984)'e göre bu yüzden eldeki mevcut tesis sayısı ve kapsama

mesafesi ile kaplanabilecek talep noktası maksimum yapılmalıdır. Kısaca maksimum kapsama problemlerinin amacı eldeki kaynakları en iyi şekilde kullanarak, m adet tesis ile kaplanacak talep sayısını maksimize etmektir.

Gerçek şartlarda eldeki kaynaklar her zaman kısıtlıdır. Bu kaynakların amaca en uygun şekilde düzenlenmesi ve kullanılması gerekmektedir. Maksimum Kapsama Problemleri yapısı gereği bunu sağladığından dolayı, son yıllarda özellikle askerî konularda uygulama alanını genişlemiştir. Örnek olarak, turizm yerlerindeki Jandarma karakol binalarının konuş yerlerine karar verilmesi (Sarıkaya, 2003); Jandarma devriyeleri ve trafik timlerinin belirli bir sorumluluk bölgesi içerisinde en uygun yerleşimi (Sökmen, 2003); askerî kara gözetleme radarlarının araziye konuşlandırılmasına yönelik çalışma (Sakallı, 2004) ve sabit hava savunmasında 35 mm'lik Oerlikon bataryalarının en uygun mevzi yerlerine karar verilmesi (Tanergüçlü, 2004) gösterilebilir.

KKP'de kullanılanlara ilâve olarak, MKP'de kullanılan değişken ve indisler aşağıdadır:

$H_i = i$ talep noktasında oluşan talep miktarı,

$M =$ Kurulabilecek tesis sayısı,

$Z_i = \begin{cases} 1, & i \text{ talep noktası kaplanırsa} \\ 0, & \text{diğer hallerde} \end{cases}$

MKP'nin matematiksel modeli ise aşağıdaki gibidir:

$$\text{Maks } \sum_i H_i Z_i \quad (2.15)$$

$$\sum_j A_{ij} X_j \geq Z_i \quad \forall i \in I \quad (2.16)$$

$$\sum_j X_j \leq M \quad (2.17)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.18)$$

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

Amaç fonksiyonu (2.15) talep miktarı ile ağırlıklandırılmış, kaplanan tesis sayısını maksimum yapmaktadır. Kısıt (2.16) ise herhangi bir talep noktasını kaplanmış olarak değerlendirebilmek için en az bir tesis tarafından kaplanması ve bu tesisin açılmasına karar verilmiş olması şartlarını sağlar. Kısıt (2.17) ise açılacak tesis sayısının en fazla M kadar olmasını sağlar. Kısıtlar (2.18) ve (2.19) X_j ve Z_i değişkenlerinin 0 ya da 1 değeri almasını sağlar.

Bu modellerde kaplanma değeri, tesis ve talep noktaları arasındaki mesafeye bağlıdır ve sadece 0 ya da 1 değerini alır. Yani mesafeye bağlı olarak bir talep noktası ya kaplanmış (1) ya da kaplanmamıştır (0). Berman ve Kruss (2002)'un belirttiği gibi bazen kaplanma değerinin, tesise olan mesafe ile ters orantılı olarak değerlendirilebileceği gibi kaplanmanın sadece mesafeye bağlı olmadığı durumlar da olabilir. Daskin (1995), MKP'ni NP-zor olarak tanımlamış ve çözüm için etkili olarak kullanılabilecek sezgisel teknikler olduğunu açıklamıştır.

c. Maksimum Beklenen Kapsama Problemleri

Daha önce belirtildiği gibi Küme Kapsama Problemleri tüm talep noktalarını minimum tesis ya da maliyet ile kapsamayı amaçlarken, Maksimum Kapsama Problemleri mevcut tesis sayısı ile en fazla talep noktasını kapsamayı amaçlamaktadır. İki modelde de kabul edilen temel varsayım, seçilen aday noktasının atandığı talep noktalarının tümünün taleplerini karşılayacağı yönündedir. Daha basit bir ifade ile aday noktaların hizmet verememe olasılığı dikkate alınmamıştır. Oysa gerçek durumda aday noktalar talep noktalarına her an hizmet veremeyebilir. Talep noktasını kaplayan tesis hizmet veremeyecek durumda olabilir ve sonuç olarak talep tek bir nokta tarafından karşılandığı durumda gerçekte talep karşılanmaz olur. Bu sorunu gidermek amacıyla tesisin hizmet verememe olasılığı modele eklenir. Maksimum Beklenen Kapsama Problemi (MBKP) tesislerin hizmet verememe ihtimalini değerlendirerek, belirli sayıda tesisi, beklenen kapsama değerini maksimum yapacak şekilde yerleştirmeyi hedeflemektedir (Batta vd. 1989).

MBKP'de tesislerin hizmet verememe olasılığı modele yansıtıldığından dolayı, modelin gerçek durumu karşılama hassasiyeti artmaktadır. Bundan dolayı MBKP'de esas amaç talep noktalarını mevcut tesisler ile sadece bir defa değil olabildiğince fazla miktarda kaplayarak, talep noktalarının hizmet alamama olasılığını en aza indirmektir.

Bir tesisin hizmet verememe olasılığı “ q ” olarak alındığında, tesisin hizmet verme ya da talebi karşılama olasılığı “ $(1-q)$ ” olarak tespit edilir. Eğer “ q ” değerinin tüm aday noktalar için aynı olduğu kabul edilirse, bir talep noktasını kaplayabilen “ t ” adet aday nokta olduğu durumda, talep noktasının beklenen kapsama değeri “ $(1-q^t)$ ” olmaktadır. Dolayısıyla bir talep noktasını kaplayan aday nokta sayısı arttıkça, talep noktasının beklenen kaplanma değeri artmaktadır fakat bu aday noktada %100 kaplanma ancak sonsuzda sağlanmaktadır. MBKP’nin değişken ve indisleri aşağıdadır.

M = Kurulabilecek en fazla tesis sayısı,

H_i = i noktasında oluşan talep miktarı,

H_{it} = t adet tesis ile kaplanan i talep noktasında oluşan talep miktarı,

$$H_{it} = \begin{cases} h_i, & (1 - q^t) \\ 0, & q^t \end{cases}$$

$$C_{it} = \begin{cases} 1, & i \text{ talep noktası en az } t \text{ tesis tarafından kaplanırsa,} \\ 0, & \text{diğer hâller,} \end{cases}$$

Talep noktasının beklenen kaplanma değeri ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$\begin{aligned} E(H_{it}) &= H_i(1 - q^t) + 0(q^t) \\ &= H_i(1 - q^t) \end{aligned}$$

Tanergüçlü (2004)’ye göre talep noktasını kaplayan tesis sayısında meydana gelen artışın, aynı talep noktasının beklenen kaplanma değerinde meydana getireceği etki ise aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\begin{aligned} \Delta E(H_{it}) &= E(H_{it}) - E(H_{i,t-1}) \\ &= H_i(1 - q^t) - H_i(1 - q^{t-1}) \\ &= H_i[(1 - q^t) - (1 - q^{t-1})] \\ &= H_i(q^{t-1} - q^t) \\ &= H_i \cdot q^{t-1}(1 - q) \end{aligned}$$

Yukarıdaki hesaplamaların ardından MBKP'nin matematiksel modeli aşağıdaki şekilde oluşmaktadır;

$$Maks W = (1 - q) \sum_i \sum_{t=1}^T H_i \cdot C_{it} \cdot q^{t-1} \quad (2.20)$$

$$\sum_{t=1}^T C_{it} \leq \sum_j A_{ij} \cdot X_j \quad \forall i \in I \quad (2.21)$$

$$\sum_j X_j \leq M \quad (2.22)$$

$$X_j, C_{it} \in \{0,1\} \quad (2.23)$$

Amaç fonksiyonu (2.20) her talep noktası için beklenen kaplanma değerini maksimum yapmaktadır. Kısıt (2.21) ise ' C_{it} ' değişkeni için değer atamakta ve bir üst sınır oluşturmaktadır. Amaç fonksiyonunda ' C_{it} ' değişkeninin katsayısı t değeri arttıkça azalmaktadır. Bunun nedeni ise talep noktasını kaplayan her bir yeni tesisin, talep noktasının beklenen kaplanma değerine marjinal katkısının azalmasındandır. Kısıt (2.22) kurulabilecek tesis sayısını sınırlamakta, kısıt (2.23) ise karar değişkenlerinin alabileceği değerleri belirlemektedir.

MBKP'nin yukarıda bahsedilen matematiksel formülasyonu, ' q ' hizmet verememe olasılığının bütün aday noktalar için aynı değerde olduğu varsayımına dayanmaktadır.

3. MÜHİMMAT DEPOLARI VE ULAŞTIRMA PROBLEMLERİ

Patlayıcı maddeler ve mühimmat bu maksatla tasarlanmış, tahsis edilmiş ve diğerlerinden ayrılmış binalarda depolanır. Standart depolar (cephanelik) mevcut değilse, neme ve ani ısı değişikliklerine karşı koruma sağlayan ve yeterli havalandırma vasıtalarına sahip binalar tercih edilir. Ahşap veya toz üreten maddelerden yapılmış zeminlerde depolama yapılmamasına dikkat edilir. Mühimmat depolanan cephaneliklerde ateş yakılmasına veya soba kullanımına izin verilmez. Mühimmat bulunan binalar başka bir amaç için kullanılmaz. Mühimmat ve patlayıcı maddeler bodrum katlarında, tavan aralarında, yatakhanelerde, malzemeliklerde veya başka amaçlarla kullanılan binalarda depolanmaz.

3.1. Patlayıcı Madde ve Mühimmatın Depolanması

3.1.1. Cephanelik ve Depolama Sahası

Mühimmat ve patlayıcı maddelerin depolanması için özel yapılmış binalara cephanelik denir. Birçok cephaneliğin birleşmesinden meydana gelen sahalar mühimmat depolama sahası denir. Mühimmat ve patlayıcı maddelerin depolanması için cephaneliklerde yer bulunmadığı takdirde, uygun iç hatlar mesafesi alınması koşuluyla araçlar, depolama yeri olarak kullanılabilir.

Cephanelik sahaları (Şekil 3.1) birden fazla sayıda ve tipte mühimmat deposunu barındırır. İçinde barındırdıkları cephanelik tip ve sayısına göre kapasite miktarları ile kuruluş maliyetleri değişiklik gösterir. Cephanelik depolarının yüksek maliyetlerinden dolayı ne tür bir cephanelik sahası kurulacağı ve bu cephanelik sahasının kurulacağı yer seçilirken; oluşabilecek tehdit tipi, hangi maksatla hangi birlikleri destekleyeceği, hangi tip mühimmatı barındıracağı, mühimmatları nakledebileceği ulaşım ağlarına mesafesi ve coğrafi faktörler çok iyi analiz edilmelidir. Her bir faktörün önem derecesi, kendi içerisinde hiyerarşik sırada olmamakla beraber, zaman zaman farklılık gösterebilir.

Cepanelikler sahip oldukları fiziksel özellikleri itibariyle ve yukarıda sıralanan faktörler ışığında depolayacakları mühimmat tipleri de değişiklik gösterir. Ayrıca, her bir tip mühimmatın da kendine has özelliğinden dolayı her bir tip cepanelikte depolanması mümkün görünmemektedir. Bu bakımdan, cepaneliklerin destekledikleri birliklerin imkan ve kabiliyetleri ile hangi tip mühimmattan ve ne kadar talep edebilecekleri faktörleri de göz önünde tutularak, hangi türden yapılacakları, kapasiteleri ve bunun sonucunda da kuruluş maliyetlerine karar verilir.



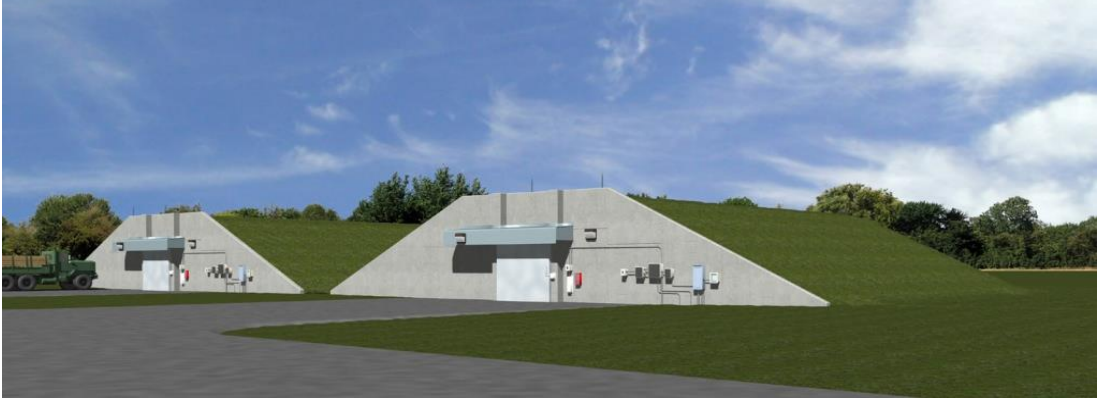
Şekil 3.1: Örnek depolama sahası/sitesi

3.1.2. Cepanelik Çeşitleri

Kullanılan cepanelik tipleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

- **İglo Tipi (Toprak Örtülü) Cepanelikler:** Takviye edilmiş oval tavanlı ve üstü toprak örtülü cepaneliklerdir. NATO tipi (Standart tip) İglo (Şekil 3.2), Milli (standart olmayan - Şekil 3.3) ve İklimlendirilmiş Milli İglo olmak üzere üç çeşittir.
- **Kargir Cepanelikler:** Yer üstü betonarme tek katlı bina şeklindeki cepaneliklerdir (Şekil 3.4).
- **Baraka Cepanelikler:** Nissen, Butler, Akomal ve Lurya olarak dört çeşittir (Şekil 3.5).

- **Standart Dışı Cephanelikler:** İglo, Kargir ve Baraka cephanelikler dışında kalıp, yaygın olmayan ve Galeri Depo, Gömme Depo vb. isimlerle adlandırılan cephaneliklerdir (Şekil 3.6).



Şekil 3.2: İglo tipi standart toprak örtülü cephanelik



Şekil 3.3: İglo tipi standart olmayan toprak örtülü cephanelik



Şekil 3.4: Yerüstü kargir cephanelik



Şekil 3.5: Sac baraka cephanelik



Şekil 3.6: Gömme cephanelik

3.1.3. Açıkta Depolama

Mühimmatın açıkta depolanması ne istenilen ne de tavsiye edilen bir yöntemdir (Şekil 3.7). Sadece şu hallerde müsaade edilebilir:

- (1) Cephanelikte depolamak için yer olmaması.
- (2) Geçici olarak tasnif için.
- (3) Mühimmatın kuruluş dışı olması.

Çalınması muhtemel mühimmat tipleri (hafif silah mühimmatı, el bombaları, roketler, füzeler, tahrip cephanesi) tasnif çalışması haricinde açıkta depolanmaz.



Şekil 3.7: Açıkta depolama

3.1.4. Transit Depolama

Mühimmat veya kullanıcı birliklerin boş depolama kapasitesi mevcutları yeterli olduğu takdirde en az bir depo transit cephanelik olarak ayrılabilir. Transit cephanelikler (Şekil 3.8) olarak yetkilendirilen ve belirlenen depolarda, farklı uyum gruplarının mühimmat ve patlayıcıları, uygun nakliye yöntemi için izin verilen müşterek uyum gruplarına göre bulundurulabilir. Transit depo;

- Mühimmat transferlerinde, iade olan veya transfer edilecek gelen mühimmatın geçici olarak tasnifi, muayenesi ve sayımında,
- Kafile birleştirilmesi ve geçici olarak depolanmasında kullanılır.



Şekil 3.8: Transit depolama

3.1.5. Park Sahası

Park sahası (Şekil 3.9), mühimmat ve patlayıcı madde yüklü araçların geçici olarak emniyetle park edebilecekleri etrafı barikat veya toprak sütte ile çevrelenmiş bir bölgedir. Araçlar burada eğitim, konvoy oluşturma veya taşıyıcıya yükleme faaliyetleri icra edebilir.



Şekil 3.9: Park sahası

3.2. Mühimmat Dağıtımı

Mühimmatı, mühimmat depolarında değil de birliklerin üzerinde bulundurmamak, muharip birliklerin mesaisini artıracacağı gibi mühimmatın uygun şartlarda (iklimleme vb.) saklanması, bakımı, dağıtımı gibi faaliyetler için büyük miktarlarda kaynak, insan gücü ve zaman kaybı yaratacaktır. Bunun yanı sıra, yüksek miktarlarda depolanan mühimmatın kullanım süresi dolduktan sonra kullanılmamasının yaratacağı maddi kayıp ve bu mühimmatın emniyetli bir şekilde elden çıkartılması da ilave kaynak israfına yol açacaktır.

Bu gibi mahzurlarından ötürü mühimmat havuzları şeklinde depolanmayı esas alan bir yapı tercih edilmektedir. Bu sayede birliklerin üzerinde gereksiz bir yük bırakılmamakta ve gereksiz stoklar teşkil edilmemiş olmaktadır. Esas görevleri mühimmatı uygun iklimleme şartlarında, emniyetli bir şekilde depolamak ve gerekli bakımlarını vs. yapmak olan mühimmat depolarına ilk giren ilk çıkar prensibiyle

dağıtım prensibi uygulanmaktadır.

Akaryakıt depoları ve boru hatları gibi mühimmat depolarının kuruluşu ve konuşlanması soğuk savaş döneminin etkisiyle olmuştur. Dönemin şartları ve tehdit algılamasına yönelik olarak büyük stoklar yapılmış ve depoların yerleri de bu esaslarda belirlenmiştir.

Birliklerin eğitim, tatbikat ve atışlarda kullandığı mühimmat ile iç güvenlik faaliyetleri icra edilen bölgelerde kullanılan mühimmatın ikmalî mühimmat depolarından sağlanmaktadır.

Söz konusu mühimmatın seferberlik ve muharebe şartlarında ikmalinin nasıl yapılacağı seferberlik planlarında yer almaktadır ve bu konu bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Üretilen ya da temin edilen mühimmatın, her ne kadar bazı istisnaları olsa da dağıtım görevi ve sorumluluğu Mühimmat Ana Deposundan itibaren başlamaktadır. Bunun dışında dağıtımlar olsa da bu çalışmada dikkate alınmayacaktır.

3.3. Ulaştırma Problemleri

Ulaştırma taleplerinin belirlenmesi, ulaştırma çeşitlerine ait iş hacimlerinin karşılaştırılması, optimum ulaştırma tipinin seçimi, planlanması, programlanması, bunların yayımlanması, uygulanmakta olan programın ulaştırma faaliyetlerinin kontrol edilmesi, görülen aksaklıkların plan ve program dönemi içerisinde yeniden ele alınması, muhtemel problem sahalarının tespit edilmesi ve giderilmesi için tedbirler alınmasını kapsayan tüm faaliyetler ulaştırma yönetiminin faaliyetleridir (Erdal, 2004).

Ulaştırma faaliyetleri üretim, depolama ve tüketim faaliyetleri arasındaki bağlantıyı sağlar. Ayrıca alınan, verilen veya tahsis edilen terminal kaynaklarının kullanılmasını da içerir. Ulaştırmanın daha fonksiyonel, rasyonel olarak, süratli bir biçimde planlanması, takip edilmesi ve uygulanmasında ulaştırma üniteleri arasında bilgilerin sayısal ortamda alış-verişi kaçınılmazdır. Bütün faaliyetler ulaşım yazılımını ihtiva eden programlar vasıtasıyla düzenlenebilir. Bu koordinasyonun sağlanması da

ulaştırma yönetiminin faaliyetidir.

Ulaştırma alt yapısı ve teknolojisinin gelişmesi, yaygınlaşması ve çeşitlenmesi, içinde bulunduğumuz yüzyılda dünya ekonomisine damgasını vurmaktadır. Gelişmekte olan ticaret ve yatırım ağları, artan sermaye akımı ve büyüyen enerji talebi uluslararası ticaret, yatırım, finansman ve turizm sektörü için çok daha büyük fırsatlar yaratmıştır. Buna bağlı olarak, önümüzdeki yıllarda da ulaştırma sektörünün, toplumun ve ülkelerin ekonomik, sosyal, kültür ve politik yapılarında vazgeçilmez bir ana faktör olacağı ve tüm alt sistemlerin birbirlerini tamamlayacak biçimde kullanıldığı kompakt bir sistem olarak kendisini göstereceği değerlendirilmektedir.

Tüm dünya ülkelerinin hem çoğalan demografik yapıları hem de negatif şartlara rağmen hayata geçirdiği kalkınma hızı ve içinde bulunduğu coğrafyada üstlenmesi gereken vazifesi gereği, devam ettirilebilir bir büyüme politikası içinde uygun ve gerçekçi ulaştırma planlarını hayata geçirme gayreti içinde olmaları kaçınılmazdır.

Tüm dünyadaki ulaştırma sistemlerinin koordineli ve birleşik yapısı ekonomik gelişmenin de en önemli unsurlarından birisi olarak kabul edilmekte ve ulaştırma ve haberleşme sistemleri tüm ülkelerde konfora, modernizasyona, sürate ve bilgi toplumuna erişmenin en etkili yollarından birisidir.

3.3.1. Ulaştırma Modeli

Bir fabrikada ya da bir işletmede üretilen ürünlerin çeşitli pazarlara, tüketiciye veya depolara dağıtılmasını kapsayan problemlerin uygun çözümünü sağlayan matematiksel modeller ulaştırma modeli olarak adlandırılır. Bu model sayesinde arz merkezi ile talep noktaları arasında yapılan dağıtımlar en ekonomik şekilde yapılır (Kocaoğlu, 2010).

Ulaştırma modeli matematiksel model olup, ürünlerin arz merkezlerinden talep merkezlerine minimum maliyet prensibi ile dağılımını belirler. Bu modele ait değişkenler arz, talep ve birim başına düşen maliyetlerdir. Bu problemler, merkezlerin kapasitelerine ilişkin kısıtlamalar ve arz merkezlerinden talep merkezlerine ait birim başına düşen taşıma maliyetleri ile belirlenir.

Doğrusal programlama modellerinde olduğu gibi, ulaştırma modelinin kurulması ve uygulanmasında da bazı varsayımların kabul edilmesi gerekmektedir. Bu varsayımlar, aşağıda verildiği şekilde sıralanabilir:

- Sunum ve istem merkezleri arasında dağıtım yapılacak bütün malların aynı birimlerle ifade edilmesi gerekmektedir.
- Dağıtım yapılacak olan malların sunum merkezinden doğrudan üretim merkezine gönderilmesi yani arada herhangi bir tali depodan veya ara dağıtım merkezinden nakil olmaması gerekir.
- Sunum merkezinde üretilen toplam ürün miktarı ile istem merkezinin talep ettiği ürün miktarı denk olmalıdır. Aksi takdirde eşitliği saklamak için ilave bir istem merkezi yani kukla olarak tabir edilen yeni bir istem merkezi açmak hesaplamaları buna uygun olarak yapmak gerekir.
- Arz merkezleri ile tüketim merkezleri arasındaki her malın bir birimlik taşıma maliyeti bilinmeli ve bu maliyet değişmemelidir.
- Ulaştırma modelinde yer alan kısıtlayıcılara ait karar parametrelerinin katsayıları 1 veya 0 olmalıdır.

Bu varsayımlara göre, genel olarak ulaştırma modeli matematiksel yapısı aşağıda belirtildiği şekilde tanımlanmaktadır (Kocaoğlu, 2010):

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (3.1)$$

Sunum kısıtı:

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.2)$$

Yukarıda belirtilen (3.2) numaralı denklem, arz merkezinin toplam kapasitesini göstermektedir.

İstem kısıtları:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

Yukarıda belirtilen (3.3) numaralı denklem, istem merkezinin toplam talep miktarını göstermektedir.

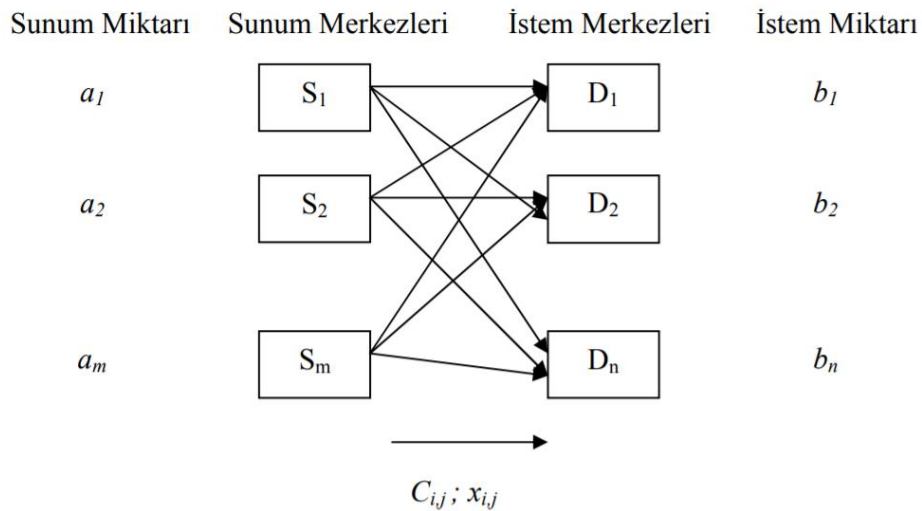
Negatif değer almama kısıtı:

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i \geq \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.5)$$

Uygun çözümü bulmak için sunum miktarı ile talep miktarı eşit olmalıdır. Bu durum, verilen matematiksel model içinde görülmektedir.

Arz merkezinden tüketim merkezine ulaştırma probleminin gösterimi Şekil 3.10'da belirtilmiştir. Şekil 3.11'de verilmiş çizelgede ise ulaştırma tablosunun temel gösterimi görülmektedir (Kocaoğlu, 2010).



Şekil 3.10: Arz merkezinden tüketim merkezine problemin gösterilmesi (Kocaoğlu, 2010)

		İSTEM MERKEZLERİ				
		1	2	n	TOPLAM SUNUM
SUNUM MERKEZLERİ	1	$C_{1,1}$	$C_{1,2}$		$C_{1,n}$	a_1
	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$		$x_{1,n}$		
	2	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$		$C_{2,n}$	b_2
	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$		$x_{2,n}$		
	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
m	$C_{m,1}$	$C_{m,2}$		$C_{m,n}$	a_m	
$x_{m,1}$	$x_{m,2}$		$x_{m,n}$			
TOPLAM İSTEM	b_1	b_2	b_n	$\sum a_i$ $\sum b_j$	

Şekil 3.11: Ulaştırma tablosunun genel gösterimi

Verilen şekillerde kullanılan notasyonun açıklaması aşağıdaki gibidir:

m : Ulaştırma modelindeki toplam sunum alanı sayısı,

n : Ulaştırma modelindeki toplam istem alanı sayısı,

C_{ij} : i . arz alanından j . tüketim alanına bir birimlik malın taşınması maliyeti

a_i : Arz alanının kapasitesi

b_j : Tüketim alanının kapasitesi

x_{ij} : Karar parametresi, i . arz alanından j . tüketim alanına ulaştırılacak mal sayısı

Şekil 3.11’de yer alan bölümler göze veya hücre adıyla tanımlanmaktadır. X_{ij} her i hücreden j hücreye taşınacak mal miktarını, C_{ij} ise bu taşınan her malın birim fiyatını temsil etmektedir (Kocaoğlu, 2010).

Oluşturulan ulaştırma modeline ait uygun çözüme ulaşılabilmesi için toplam arz miktarının, toplam tüketim miktarına eşit veya ondan büyük olması gerekmektedir.

Yukarıdaki tabloda m sayısı kadar satır, n sayısı kadar sütun vardır. Dolayısıyla toplam hücre sayısı $m \times n$ ifadesinden elde edilmektedir.

3.3.2. Dengeli ve Dengesiz Ulaştırma Problemleri

Ulaştırma modelinde, arz edilen miktar ile talep edilen ürün miktarı eşitse, bu ulaştırma problemine, Dengeli Ulaştırma Problemi denir (Kocaoğlu, 2010).

Eğer arz edilen ürün miktarları ile talep edilen ürün miktarları arasında eşitlik yok ise bu durumda ortaya çıkan ulaştırma problemlerine, Dengesiz Ulaştırma Problemleri denir. Bu problemi dengeli hale getirebilmesi için “kukla” diye tabir edilen ilave bir istem merkezine ihtiyaç duyulur.

Arz fazlası olması durumu: Yapılan arz miktarının yani arzın, talep edilen ürün miktarından fazla olması durumunda dengesiz ulaştırma problemi ortaya çıkar. Bu sorunun dengelenmesi için aradaki arz fazlası miktar için yapay talep noktası oluşturulur. Yapay olarak hazırlanmış bu talepler, gerçekten gönderim yapılmayacağı için, gönderim yani ulaştırma maliyeti sıfır olacaktır.

Karşılınmayan talep durumu: Toplam arz edilen ürün miktarı, talep edilen ürünün miktarını karşılamıyorsa, oluşacak durumdur. Karşılınamayan bu talep miktarı kadar yapay olarak arz noktası oluşturulur. Gerçekte karşılanamamış bu talep miktarı veya olmayan bir arz noktasından karşılanması durumunda ortaya ceza maliyeti çıkar.

3.4. Literatür Taraması

Literatür incelendiğinde; tesis yeri seçim analizi ve ağ tasarım problemlerinin, ağ optimizasyonundaki iki büyük araştırma alanı olarak ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Contreras ve Fernández, 2012). Tesis yeri seçimi ve ağ tasarım problemleri hakkında ayrı ayrı geniş çaplı araştırmalar olmuştur. Bu yüzden tesislerin nereye yerleştirileceği ve hangi hizmetlerin seçileceği gibi çeşitli kararlar da dâhil olmak üzere etkili bir taşıma ağı tasarlamak son derece karmaşık bir sorundur (Bektas ve Crainic, 2008; Rahmaniani ve Ghaderi, 2015).

NP-Zor problemlerinin bu iki sınıfı, tesis yeri seçimi ve ağ tasarım problemleri (Crainic ve Kim, 2007; SteadieSeifi vd. 2014) olarak önemli bir dikkat çekmesine rağmen ayrı ayrı optimize edilmişlerdir. Diğer taraftan son zamanlarda birçok akademisyen tarafından bu iki yakın ilişkili problem arasındaki eksik bağlantıya değinilmiştir. Bunun nedeni ise bir dağıtım ağının tasarımının, tesislerin en uygun şekilde yer seçiminin yapılmasına taşıma masrafları açısından oldukça etkilemesidir (Melkote ve Daskin, 2001).

Dağıtım ağındaki tesis inşa maliyetlerine ilave olarak nakliye masrafları da optimize edilmelidir. Yüksek maliyetinden dolayı yeni bir tesis eklemektense dağıtım ağını optimize etmek daha etkili olabilir. Bu noktadan hareketle Daskin vd. (1993) kapasitesiz tesis yer seçimi / dağıtım ağı tasarımı problemini tanıttı. Birleştirilmiş tesis yer seçimi / dağıtım ağı tasarımı problemleri tesis maliyetleri, ağ tasarım maliyetleri ve işletme maliyetleri arasında ilişkileri gösteren bazı durumları modellemeyi içerdiğinden oldukça faydalı çalışmalardır. Bu görüşe katkıda bulunan Berman vd. (1992), esas ağın modifiye edilmesinin tesislere olan erişimi geliştirebileceği düşüncesini ortaya attı. Benzer şekilde Peeters ve Thomas (1995) esas ağın p-medyan yerleşim-tahsis problemleri için en uygun çözümünü gösterdi.

Kapasitesiz tesis yer seçimi / dağıtım ağı tasarımı problemi, tesisler için sonsuz bir kapasite olduğunu varsayar, böylece de sonsuz miktarda talep yaratabilirler. Fakat bu varsayım, tesislerin kapasitelerinin önemli derecede kapasiteleri altında hizmet vereceğinin önceden bilinmediği durumlarda geçerli olmayabilir. Bu bağlamda, kapasitesiz tesis yer seçimi / dağıtım ağı tasarımı probleminin ana varsayımı, yani tesislerin sonsuz kapasitede oluşunu kısıtlayan kapasiteli tesis yeri seçimi / dağıtım ağı tasarımı problemlerini ise Melkote ve Daskin (2001) tanıttı.

Kapasiteli tesis yeri seçimi / dağıtım ağı tasarımı problemlerininin NP-zor doğasından dolayı birkaç sezgisel ve metasezgisel algoritmaları literatürde önerilmiştir. Drezner ve Wesolowsky (2003) tavlama benzetimi ve genetik algoritmaya dayalı bir aday bağlantı seti ile bir ağ üzerindeki tek bir tesisin yer seçimini optimize etmek için bir model ve metasezgisel algoritmalar önerdi.

Cocking (2008) sermaye kısıtını da dikkate aldı ve bütçe kısıtlamalı kapasitesiz tesis yer seçimi / dağıtım ağı tasarımı problemini hem sezgisel hem de

kesin yaklaşımlar kullanarak çözdü. Tesis yer seçimi / dağıtım ağı tasarımı probleminin problem odaklı yapısına dayalı olarak özel bir sezgisel, tavlama benzetimi ve değişken komşuluğu araması metasezgiselleri, basit açgözlü sezgisel ve yerel arama sezgiseli Cocking (2008) tarafından geliştirilmiştir. Başka bir bütçe kısıtlı model Ghaderi ve Jabalameli (2013) tarafından sağlık hizmeti uygulaması yoluyla tesislerin açılması ve bağlantılar kurulması için bir bütçe kısıtı dikkate alınarak geliştirilmiştir. Ayrıca modeli çözmek için tavlama benzetimi ve dal sınır algoritmasına dayalı metodlar önermişlerdir. Başka bir problem de maksimum örtüşen ağ iyileştirme problemini ortaya koyan Murawski ve Church (2009) tarafından sunuldu ve çözüldü. Problem mevcut tesislerin bulunduğu yeri sabit tutan ancak ulaşım ağını iyileştiren sağlık hizmetlerine erişimin iyileştirilmesi sorununu ele almaktadır. Bigotte vd. (2010) tüm tesis sınıflarına erişimi en üst düzeye çıkarmak için entegre kentsel hiyerarşi ve ulaşım ağı planlaması için karma tamsayı bir optimizasyon modeli önermiştir.

Yeni bir tesis lokasyon ve ağ tasarım modeli Contreras ve diğerleri (2012) tarafından önerildi. Modelin amacı ağdaki maksimum ulaşım zamanını en aza indirmektir. Contreras ve Fernandez (2012) tesislerin yerini tespit ve altta yatan formülasyonlar için algoritmik stratejiler sağlamıştır. Afshari ve diğerleri (2014) müşteri memnuniyeti ve sürdürülebilirliği sağlayarak karlılığı en üst düzeye çıkarmak için dağıtım-hizmet ağındaki tesis yeri kararlarını optimize etmeyi amaçlamıştır.

Bilir vd. (2017) talebin fiyat ve fayda fonksiyonu tarafından belirlenebileceği varsayımıyla riskleri en aza indirirken, karları ve satışları en üst düzeye çıkarmak için entegre çok amaçlı tedarik zinciri ağına rekabetçi tesis yeri modeline hitap etmektedir. İlgili araştırmacılar ulaşım ağı tasarımı problemleri (Farahani, Miandoabchi, Szeto ve Rashidi, 2013), çok katlı tesis yer seçimi problemleri (Ortiz-Astorquiza, Contreras ve Laporte, 2018) ve tesis yeri seçimi problemlerini (Farahani vd. 2012) kapsayan detaylı literatür araştırmalarına başvurabilir.

Mühimmat ya da askeri malzeme tedariki ile ilgili olarak ilk girişimlerden biri kaynak direktifli bir ağ optimizasyon algoritması yoluyla kapasiteli bir ağda çoklu malların dağıtımını planlayan Staniec (1984)'e aittir. Cain (1988), operatif seviyede ABD askeri gücünün seferde ihtiyaç duyabileceği mühimmat için, dağıtım modeli önermiştir. MDATP'ni yerleştirme-araç rotalama problemi içinde çalışmış ve mühimmat ikmalinin sürekli sağlanması maksadıyla mühimmat depolama sahalarının

en uygun bölgelere yerleştirildiği ve buna uygun mühimmat dağıtım ağının tasarlandığı dinamik karışık tamsayılı programlama modeli çalışmıştır. Hennen (1970)'in çalışması ise, ABD birliklerinde yöneylem araştırmalarının başladığı zamanı göstermek açısından değerli olan envanter ve stok yönetimi için statik ve deterministik bir hedef programlama modelini kapsamaktadır.

Saunders-Newton (1993) uyarlanabilir dağılım kavramını üç farklı form ve aynı zamanda sağlamlık ile karakterize edilen bir karşılaştırma dağılımı kavramı olarak tanımlamıştır. Araştırma sonuçları uyum yeteneği ile karakterize edilen bir sistemin geleceğin dinamik ortamlarına daha uygun olduğunu göstermiştir. Hancock ve Lee (1998) mühimmat tedarik zincirini etkileyen sorunları inceleyerek mühimmatın taşınmasını iyileştirmek için önerilerde bulunmuştur.

MDATP ile aynı kapsamda olmamalarına rağmen, bu çalışmaların daha alt seviyelerinde etkileri gözlemlenen farklı araştırmalar da mevcuttur. Bell (2003), ABD Hava Kuvvetleri'ne ait bazı birliklerin sefer için talep edeceği mühimmat miktarları için mühimmat depolarının konumlarına ve birlik-depo eşleşmelerine karar vermek amacıyla, maliyet minimizasyonu ile uygun sahaların seçilmesi için bir kapsama modeli önermiştir. Böylece gelecekteki potansiyel görevlerin desteğini geliştirmek için ABD Hava Kuvvetleri'ne ait mühimmat depolama tesislerini ve envanterlerini bulmak için tesis yeri ve kaynak tahsisi ile ilgili ortak problemi incelemiştir. Gue (2003) stok seviyesini minimize edecek, dağıtım sistemi için karayolu ulaşım imkanlarına ilaveten havayolu imkanları ile desteklenen birimlerinin maliyetini en aza indirecek muharebe hizmet desteği için karışık tamsayılı programlama ile uygulanan dinamik bir dağıtım modeli önermiştir. Modelinde destek birimlerinin yerleri, birimler tarafından tutulan stoklar ve birimler arasında taşınan miktarlar alınan kararlar arasındadır.

Powell (2004), MDATP'nin içinden atama boyutunun öne çıkarıldığı bir çalışma yapmıştır. Patlayıcı madde nakliyesi için optimum yük gemileri kombinasyonlarını tespit etmek için, iki amaç belirlemiştir. Bunları maliyet minimizasyonu ve karşılanamayan talebin minimizasyonu olarak seçmiştir. Clark (2004) çalışmasında, öncelikle maliyet minimizasyonunu sağlayarak mühimmat araçları için rotalama yaptığı, daha sonra araç kapasitelerini dikkate alarak nakliye zamanlarını belirlediği, araç rotalama ve listeleme problemi için sütun oluşturma

usulünü kullanan planlama yöntemini önermiştir. Mühimmat taşımacılığını, dağıtım sisteminin bir zaman-uzay ağı temsili yoluyla planlama sorununa değindi. Bu amaçla büyük ölçekli bir optimizasyon tabanlı planlama yöntemi sunulmuştur.

Lenhardt (2006) deniz piyade sınıfı kaynaklarını su, yakıt ve mühimmat malzemelerini zaman kısıtlamaları olan kısıtlı ağlar üzerinden muharebe ekiplerine taşımak için en iyi şekilde nasıl kullanılacağına dair bir değerlendirme yapmıştır. Mühimmat taşımacılığında kullanılmak üzere, taşıma maliyetlerinin minimize edildiği kapasiteli araç rotalama problemi için bir model önermiştir. Şahin (2006) karışık tamsayılı optimizasyon modeli önerdiği çalışmada, katedilecek mesafeyi ve mühimmat taşımacılığı esnasında karşılaşılabilecek tehlikeleri minimize etmek gibi amaçlara yönelik çalışmıştır.

Toyoğlu vd. (2011), savaş alanında etkili ve esnek bir dağıtım sistemi sağlamak için bir mobil mühimmat dağıtım sistemi geliştirerek statik bir karışık tamsayılı programlama formülasyonu geliştirmiş ve çözüm süresini azaltmak ve çeşitli problem durumlarını çözmek için çeşitli geçerli eşitsizlikler elde etmiştir. Yerleştirme-atama ve yerleştirme-araç rotalama problemlerinin çalışıldığı ayrıt tabanlı ve düğüm tabanlı olarak iki model tasarlamıştır. Muharebenin değişik ve birbiri ardınca devam eden safhalarında olması gereken dağıtım ağını tasarlayarak, statik modelden dinamik durumlarda da faydalanılabileceğini gösteren dinamik bir model geliştirmiştir. Karataş vd. (2019), askeri tesis yer seçimi ile ilgili literatürün yakın zamanda gözden geçirilmesini sağlamıştır.

Çağrı (2007), ilk kurulum ve nakliyelerden kaynaklanan toplam maliyetleri minimize etmeyi amaçladığı çalışmada statik ve deterministik bir problemi ele almış, kurulması planlanan depoların yerlerinin seçilmesi probleminin çözümü için genetik algoritma modelini uygulamıştır. Halen mevcut olan ve bundan dolayı bir maliyeti olmayan depolar, model içinde çeşitli senaryolar ile çalışılmıştır.

Şatır (2003)'ın taktik seviye olan tugay birliklerinden operatif ve hatta stratejik seviye olan Lojistik Komutanlığı'na kadar depolanması gereken 203 mm topçu mühimmatı miktarlarının öncelikle tespit edildiği çalışmada envanter ve depolama maliyetleri belirlenmiştir. En düşük maliyeti verecek kontrol süresi ve en fazla olması gereken depolama miktarları hesaplanarak, Mühimmat Bölükleri'nden, Lojistik

Komutanlığı'na kadar talepleri karşılayacak şekilde, depolanması gereken mühimmat miktarlarını tespit etmiş ve mühimmat ikmal sistemi için farklı bir depolama stratejisi önermiştir.

Akardere (2005), hali hazırda bulunan depolarda en uygun miktarda ve türde mühimmat depolanmasına imkan veren, birliklerin barış ve sefer dönemlerinde talep edebilecekleri mühimmatların sınırlanmadan karşılanmasını amaçlayan bu çalışmada en uygun dinamik bir mühimmat ikmali için model geliştirmiş ve böylelikle ikmal zincirindeki depolardan yapılacak en uygun faydayı sağlayan mühimmat ikmallerini belirlemiştir.

Bayram (2002), barış ve seferde talep edilecek ihtiyaçları optimize etmek için, ABD askeri birliklerinin tehlikeli madde üretim tesislerinin on senelik bir periyodunu kapsayan, üretim zamanlarını gösteren çizelgeleme problemini çalışmıştır.

Özçevik (2002) yaptığı simülasyon çalışmasında; bir tank taburunun seferden önce kışlada kullandığı mühimmat ve yakıt ikmal sistemlerini değerlendirerek, muharebe hizmet desteğine direkt etkisi olan etmenleri belirlemiş, elde ettiği model çıktılarını istatistiksel usullerle analiz ederek, doğabilecek aksaklıkların proaktif yaklaşımla ortaya konulabileceğini göstermiştir.

Sabuncuoğlu ve Utku (2002) yaptıkları simülasyon çalışmalarında, kolordu topçu mühimmat ikmal sistemlerinin önceki ve yeni hallerinin performansını analiz etmiş ve optimum bir sistem tasarlamıştır. Ayrıca, yüksek maliyet gerektirebilecek depo yerlerinin halihazırdaki kuruluş konumları yeni bir değişiklik kararına gerek olup olmadığı konusunu da araştırmışlardır.

Albayrak (2005) silah ve mühimmat planlaması için bir model önerdiği çalışmada; çatışmaları göz önüne alarak, iki kişilik sıfır toplamlı oyun temelinde beklendik kesikli-zamanlı bir stokastik modeli kapsayan kazanç/kayıp simülasyonu modeli, karar destek sistemi olarak kullanılabilir optimizasyon modeli ve Monte Carlo simülasyon modeli olan üç farklı model tasarlamıştır. Bu üç modelin ortak özelliği, herbirinin kara kuvvetleri için esas harekât nevilerinden olan taarruz ve savunma için hazırlanan farklı senaryolar dâhilinde çalıştırılmış olmalarıdır. Her bir senaryoda kullanılan nispi muharebe güçleri, 1:1 ya da 3:1 olarak alınmıştır.

Karabacak (2012) topçu sınıfı için mühimmat seçiminin ne kadar önemli olduğuna vurgu yaparak; bu sürece etkisi olan faktörleri tespit etmiştir. Bu faktörler göz önünde tutularak, analitik hiyerarşi prosesi (AHP) tekniğiyle, hedefi baskı altına alarak bölgedeki düşman birliklerini imha etmek için kullanılacak mühimmatların kullanım sırası belirlenmiş, çalışmanın sonunda elde edilen veriler analitik çalışma prosesi (ANP) tekniğiyle ele alınmış ve karşılaştırılması sağlanmıştır.

Erdal (2014), Jandarma Genel Komutanlığı'nın tüm Türkiye coğrafyasına dağıtım sağlayabileceği dağıtım ağ tasarımı problemini ele almıştır. Türkiye'de mühimmat yüklü araçların kullanmak zorunda olduğu yollar, yönetmelik ve yönergeler ile belirlenmiş olduğundan, çalışmasında bir araç rotalama çalışması yapmamıştır. MDATP, yer seçimi ve atama kapsamında ele alınmıştır. Çok sayıda farklı risk kriteri kullanılarak, potansiyel depo yerlerinin risk katsayıları hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bu şekildeki kısıtlar ile modellemenin uygulanabilir olmadığını, bunun sebebinin de aynı seviyedeki noktalar arasında geçişe izin verilmesi gerektiğini, ancak seviyelerin birbirlerinden ayrılmasında zorluklar olacağını, ağ tasarımının büyük bir şebeke sistemi içinde uygulandığından noktalar arasındaki akışların modellenmesini çok daha kompleks bir hale getirdiğini ifade etmiştir.

Literatür incelendiğinde mühimmat depo yeri seçimiyle doğrudan ilgili çok fazla çalışma gözlemlenmemiştir. Araştırma sırasında karşılaşılan mühimmat, patlayıcı madde, nükleer-biyolojik-kimyasal (NBC), akaryakıt depo yer seçimi ve uygulamaları ile bulunan çalışmalar ise aşağıda açıklanmıştır.

Keskin (2016), mühimmat depoları yer seçimi için coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri konulu yüksek lisans çalışmasında, belirlediği dokuz kriteri AHP yöntemi kullanarak ağırlıklandırmış ve bu ağırlıkları kullanarak CBS yardımıyla alternatif yerler belirlemiştir. Son olarak P-Medyan modeli kurarak alternatif yerler arasından maliyeti minimize eden optimal patlayıcı ve mühimmat depo yeri belirlemiştir. Akyol (2003), nükleer, biyolojik ve kimyasal korunma donanımı depolarının yerlerinin matematiksel modelleme ile tespiti konulu yüksek lisans çalışmasında, modellerde kesikli yer seçimi modelleri olan P-Medyan ve P-Merkez tamsayılı doğrusal modeli kullanarak çözüme varmıştır.

Soydemir (2005), kritik askeri bölgelerde kimyasal terörist saldırılara karşı

erken ihbar ve ikaz sistemlerinin yerleştirilmesi konulu yüksek lisans çalışmasında problemi formüle ederken, en iyi mevzi yerlerini bulmak için noktasal ve görüş açılı dedektör sistemleri için sırasıyla maksimum kapsama ve maksimum beklenen kapsama modellerini temel alarak iki ayrı model önermiştir. Gökmen (1999), yüksek lisans çalışmasında Kara Kuvvetleri bünyesinde akaryakıt ve mühimmat depolarının Türkiye genelinde dağılımının optimizasyonu üzerine çalışmıştır.

Yukarıda sunulan literatür çalışmaları gözden geçirildiğinde; mühimmat depo yeri seçimi ile dağıtım ağı tasarımı probleminin birlikte ele alındığı araştırmaya rastlanılmamıştır. Mühimmat dağıtımı konusundaki araştırmalar bir miktar olsa da mühimmat deposu tesis yeri ve dağıtım ağı tasarım probleminin birlikte ele alındığı bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu sebepten dolayı, mühimmat depo yeri seçimi ile bu depolardan askeri birliklere kadar olan çeşitli dağıtım ağı tasarım problemlerinin ele alınması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu maksatla hazırlanan bu tez, mühimmat depo yeri seçimi ile bu depolardan askeri birliklere kadar olan çeşitli dağıtım ağı tasarım problemlerinin birlikte ele alınması bakımından literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

4. PROBLEM TANIMI VE MATEMATİKSEL MODELLEME

Bu çalışmayla, talep noktalarının mühimmat ihtiyacına yönelik karmaşık bir ikmal sistemi ile yürütülen faaliyeti, mühimmat ağı dağıtım sistemi ile mühimmat depo yer seçimini birlikte çalışarak daha rasyonel hale getirmek için karışık tam sayılı lineer programlama ile matematiksel bir model geliştirilmiştir.

Bu problemin çözümünde her bir talep noktasının mühimmat ihtiyacını birden fazla aday mühimmat deposundan karşılayabilecek bir model kullanılmıştır.

Uygulanabilir ve etkin bir model geliştirilerek, sistemin matematiksel modelinin kurulması ve çözümlerinin elde edilmesi sağlanmıştır. Literatürde mühimmat depo yer seçimi ile mühimmat ağı dağıtım sisteminin birlikte ele alınarak, her bir talep noktasının birden fazla aday noktadan desteklenme konusunun çalışılmadığı da görülmüştür.

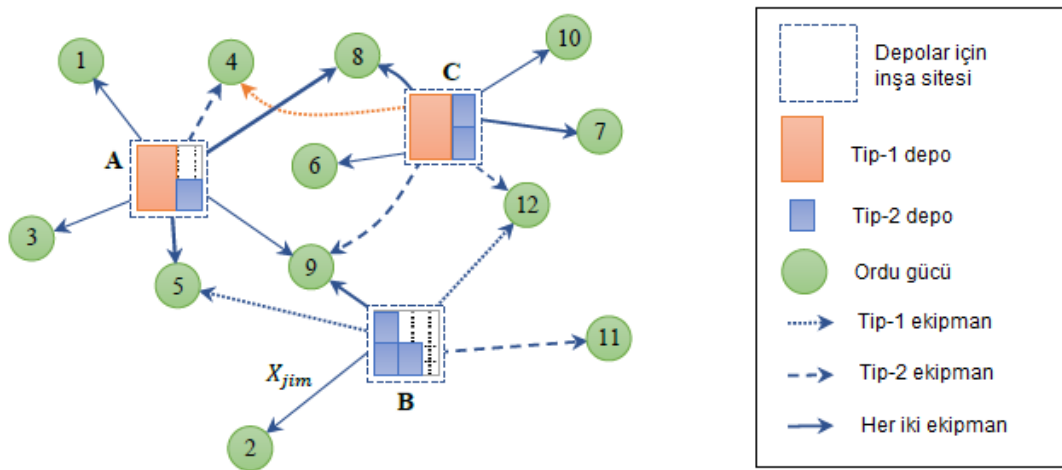
Bu çalışma ile bazı özel cins mühimmatın da yine mühimmat depolarından birliklere (müşteri) ikmalinin yapılmasına yönelik öneriler ve sonuçlarının analizi yapılmıştır. Bu maksatla matematiksel modeller önerilmiş ve neticeleri gösterilmiştir.

4.1. Problemin Tanımı

Birbiriyle bağlantılı iki problem, yani tesis yeri seçimi problemi ve dağıtım ağı tasarım problemi (her ikisi de NP-zor olarak bilinir) bu araştırmada birlikte ele alınır. Mühimmat depolarını yerleştirmek için $j = 1, 2, \dots, n_j$ ve $j \in J$ iken toplamda n_j aday site bulunmaktadır. Her bir aday sitesinde, mühimmat depoları farklı türlerde inşa edilebilir ($k=1, 2, \dots, n_k$ ve $k \in K$). Mühimmat deposunun her tipi, belirli bir inşaat maliyetine (μ_k) sahiptir ve önceden bilinen (CP_k) toplam kapasiteye sahiptir. Yani, birden fazla mühimmat deposu, coğrafi olarak dağılmış silahlı kuvvetlere ($i=1, 2, \dots, n_i$ ve $i \in I$) hizmet etmek için her aday sitede konumlandırılabilir. Mühimmat deposu siteleri (veya kısaca mühimmat depoları) silahlı kuvvetler için farklı mühimmat türleri ($m=1, 2, \dots, n_m$ ve $m \in M$) tedarik edecektir. Böylece birlikler tarafından yapılan talep, D_{im} , mühimmat tipi m için karşılanmalıdır.

Bir birliğin (i) talebi kapasitesine göre birden fazla mühimmat deposu tarafından karşılanabilir. Her ünitenin teslimat maliyeti silahlı kuvvetlerden mühimmat deposuna kadar karşılanabilir. j sitesindeki mühimmat deposundan m mühimmat tipinin birimi (ton) başına teslimat maliyeti $\alpha_{ji} \times \beta_m \times \delta$ olarak hesaplanır. Bu denklemden α_{ji} , j mühimmat deposundan i birliğine olan mesafeyi (km olarak) gösterir.

Şekil 4.1, incelenen problem için açıklayıcı uygulama modelini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi, çeşitli depolama kombinasyonları, yani tip-I ve / veya tip-II içeren üç mühimmat deposu (A, B ve C) bulunmaktadır. Bu noktalar, coğrafi olarak dağılmış 12 birliğe iki tip mühimmat tedarik etmektedir.



Şekil 4.1: Çalışılan problemin temsili modeli

Her birliğe farklı mühimmat türlerine olan talebini karşılamak için bir veya daha fazla depo tarafından hizmet sunulabilir. Örneğin tüm mühimmat depoları (A, B ve C) 9. birliğin talebini karşılamak için mühimmat tedarik ediyor. A ve B, her iki teçhizatı da 9. birliğe taşıyorken, C bu birliğe sadece 2. tip mühimmat tedarik ediyor. Şekil 4.1’de, depolar ve birlikler arasındaki hattın genişliği ulaşım hacmine karşılık gelmektedir. Örneğin, A’dan 8’e olan nakliye hacmi aynı depodan 1’e olandan daha fazladır.

4.2. Varsayımlar ve Sınırlılıklar

İncelenen problemin varsayımları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Planlama talepleri kapsamında mühimmat talepleri bilinir ve belirsizlik yoktur.
- Her bir mühimmat deposu için kuruluş maliyeti bilinir ve herhangi bir aday nokta için aynıdır.
- Her mühimmat deposunun toplam kapasitesi bilinir ve belirsizlik yoktur.
- Sadece bir tür ulaşım düşünülür, havayolu, denizyolu ve demiryolu gibi alternatifler yoktur.
- Farklı mühimmatlar için depolama alanı açısından bir fark yoktur. Bir mühimmat deposunun kapasite sınırlaması açısından sadece mühimmatın ağırlığı dikkate alınır.
- Mühimmat depoları karışık bir şekilde aday noktalara yerleştirilebilir. Örneğin 2. tipten 3 mühimmat deposu ve 3. tipten 8 mühimmat deposu aday nokta j 'ye yerleştirilebilir. Böylece j sitesinin toplam kapasitesi $3 \times CP_2 + 8 \times CP_3$ şeklinde hesaplanabilir ve j sitesi için kuruluş maliyeti $3 \times \mu_2 + 8 \times \mu_3$ şeklinde hesaplanabilir ($\sum_{k \in K} CP_k Y_{jk}$ ifadesi kullanılarak).

Klasik p-medyan, p-merkez ve maksimum kapsama problemlerinden farklı olarak, bir mühimmat için bir birlikten gelen talep birden fazla mühimmat deposu tarafından karşılanabilir. Bu, nakliye miktarının belirli bir mühimmat deposundan belirli bir birliğe taşınması için bir karar değişkeni (≥ 0) gerektirir ve bu da çözümün arama aralığını genişletir.

4.3. Matematiksel Model

Yukarıda tarif edilen problemi çözmek için bir karışık tamsayılı doğrusal programlama modeli önerilmiştir. Gösterimler ve parametreler aşağıdaki gibi sunulmuştur.

Notasyon

i : birlik indeksi, $i=1,2,\dots,ni$ ve $i \in I$

j : aday mühimmat deposu noktası, $j=1,2,\dots,n_j$ ve $j \in J$

m,n : mühimmat tipi, $m=1,2,\dots,n_m$ ve $m,n \in M$

k,h : mühimmat deposu tipi, $k=1,2,\dots,n_k$ ve $k,l,h \in K$

4.3.1. Parametreler

D_{im} : Birlik tarafından planlama ufku içinde m tipindeki mühimmat için talep

μ_k : k tipindeki mühimmat deposu için kuruluş maliyeti (TL)

CP_k : k tipindeki mühimmat deposu için toplam kapasite (ton)

α_{ji} : j mühimmat deposundan i birliğine olan mesafe (km)

β_m : m tipindeki mühimmatın birimi (ton) başına teslim etmek için sabit indeks

δ : Bir kilometre için birim mühimmat (herhangi bir tür) başına taşıma maliyeti (TL/km)

L : Çok büyük bir pozitif sayı

φ : İnşa edilebilecek maksimum mühimmat deposu sayısı

P_h : İnşa edilen tüm depolar arasında belirli mühimmat depolarının toplam kapasitesinin gerekli olan minimum oranı

PR : Toplam talebin en az P_h miktarını karşılamak için inşa edilmesi gereken mühimmat depo tipleri (h) seti

PS_n : Özel mühimmat n 'nin depolanabildiği mühimmat depoları seti

t_{ji} : j ve i arasındaki ulaşım süresi

θ : Talebi karşılamak için izin verilen zaman limiti miktarı

4.3.2. Karar Değişkenleri

Model, j sitesinde kurulan k tipinde mühimmat deposu sayısını ve her bir askeri birliğe, kurulan her mühimmat deposundan taşınacak her mühimmat tipinin miktarını belirlemeyi amaçlamaktadır.

X_{jim} : j mühimmat deposundan i birliğine taşınacak olan m tipinde mühimmat miktarı, $X_{jim} \geq 0$.

Y_{jk} : j noktasında inşa edilen mühimmat depolarının sayısı, $Y_{jk} \geq 0$.

4.3.3. Ara Değişkenler

V_{ji} : j deposundan i birliğine mühimmat nakliyesi olup olmadığı bilgisini tutan ikili değişken.

$$V_{ji} = \begin{cases} 1 & \sum_{m \in M} X_{jim} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j \in J, i \in I.$$

4.3.4. Amaç Fonksiyonu

Denklem (4.1)'de sunulan amaç fonksiyonu, mühimmat deposu kuruluş maliyeti ve nakliye maliyeti toplamını en aza indirmeyi amaçlamaktadır (mühimmat depolarından birliklere her tipte mühimmat için).

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \mu_k Y_{jk} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} \alpha_{ji} \beta_m \delta X_{jim}. \quad (4.1)$$

4.3.5. Kısıtlar

Denklem (4.2)'de sunulan ilk kısıt bir mühimmat deposunun j aday noktasında (herhangi bir türde) inşa edilmiş en az bir depo varsa bir birliğe hizmet verebilmesini

sağlar.

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim} \leq L \sum_{k \in K} Y_{jk} \quad \forall j \in J. \quad (4.2)$$

İkinci kısıt, Denklem (4.3), her bir aday nokta için kapasite kısıtlamasını karşılar. Bir j mühimmat deposundan nakledilen toplam mühimmat miktarı, j mühimmat deposu noktasında inşa edilen mühimmat depolarının (herhangi bir tipte) kapasitelerinin toplamını aşamaz.

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim} \leq \sum_{k \in K} CP_k Y_{jk} \quad \forall j \in J. \quad (4.3)$$

Her bir mühimmat tipi için her bir birliğin talebi mühimmat deposu noktalarından taşınarak karşılanmalıdır, Denklem (4.4).

$$D_{im} \leq \sum_{j \in J} X_{jim} \quad \forall i \in I, m \in M. \quad (4.4)$$

Aday noktaların fiziksel sınırlamalarından dolayı, belirli sayıda mühimmat deposu (herhangi bir türde) inşa edilebilir. Denklem (4.5), inşa edilen toplam mühimmat deposunun izin verilen maksimum sınırı aşmadığını karşılar, φ .

$$\sum_{k \in K} Y_{jk} \leq \varphi \quad \forall j \in J. \quad (4.5)$$

Son olarak karar değişkenleri için işaret kısıtları Denklem (4.6)'da sunulmuştur.

$$Y_{jk}, X_{jim} \geq 0 \quad \forall j \in J, i \in I, m \in M, k \in K. \quad (4.6)$$

Burada dikkat edilmesi gereken yer iki karar değişkeninin de (X_{jim} ve Y_{jk}) pozitif değer aldığıdır ki bu da problemi çözmeyi daha da zor hale getirmektedir. Bir taraftan Y_{jk} ikili değişken değildir ve j aday noktasında inşa edilmiş k tipi mühimmat depolarının sayısını gösteren sınırsız tamsayı değişkenleri olabilir. Diğer taraftan basit bir maksimum kapsama veya P-Medyan probleminden farklı olarak X_{jim} belirli bir

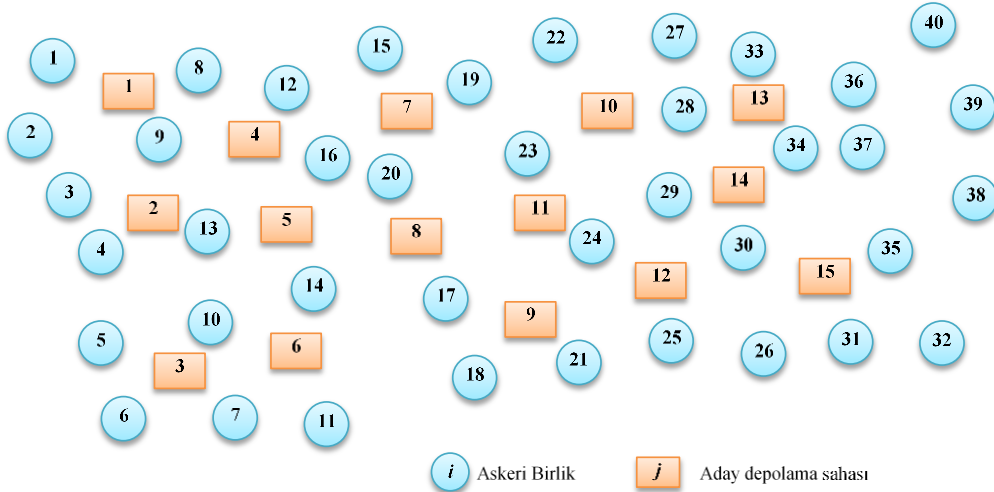
tedarik alanından belirli bir talep eden birime belirli bir mühimmat türünün miktarını belirler. Böylece bazı ordu kuvvetlerinin, belirli bir tipte inşa edilmiş birden fazla mühimmat deposunun bir karışımından belirli mühimmat türlerine olan talebi karşılanabilir.

5. GELİŞTİRİLEN MODELİN UYGULANMASI

Bu bölümde, önceki bölümde önerilen modelin geçerliliğini ve pratikliğini göstermek için bir uygulama yürütülmüştür. Aşağıdaki alt bölümler uygulama için kullanılan veriyi ve önerilen matematiksel model kullanılarak çözülen problemde elde edilen sonuçları sunmaktadır.

5.1. Problem Girdisi

Birliklere ait talepler ile mühimmat depo kapasitelerine ait gerçek değerlerin kullanılmasının gizlilik kısıtlamaları nedeniyle orantısal olarak oluşturulmuş jenerik değerler belirlenmiştir. 15 adet aday mühimmat yeri depolama sahaları (1-15) ile 40 adet talep eden birlik yerleri (1-40) Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Aday mühimmat depolama sahaları ile talep eden birlik yerleri arasındaki uzaklıklar mesafe (km) bakımından (α_{ji}) Tablo 5.1’de, süre bakımından (t_{ji}) ise Tablo 5.2’de verilmektedir. Mühimmat konvoyunun saatteki hızı ortalama 50 km/ sa olarak alınmıştır. Tabloda sunulan değerler, haritada verilen düğümler arasındaki gerçek mesafelerden alınmıştır. Unutulmamalıdır ki, bazı düğümler harita üzerinde birbirine yakın görülebilir, ancak gerçek seyir mesafesi alanın coğrafi koşullarından dolayı daha uzun olabilmektedir.



Şekil 5.1: Askeri birlikler ve aday depolama sahalarının konsept gösterimi

Tablo 5.1: Aday depolama sahası ve talep noktaları arasındaki mesafe (km cinsinden)

<i>i/j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	211	564	707	358	535	873	741	891	1242	1101	985	1412	1378	1247	1640
2	230	583	690	377	554	892	760	910	1261	1120	1004	1431	1397	1266	1659
3	318	426	482	431	423	749	739	866	1185	1103	961	1388	1451	1320	1642
4	563	332	224	485	410	549	661	691	985	1025	847	1233	1401	1270	1519
5	683	408	126	605	477	532	680	674	966	1022	830	1214	1398	1270	1500
6	782	430	145	636	499	554	702	696	938	1044	852	1186	1420	1292	1472
7	716	363	220	569	423	322	567	462	627	810	618	875	1168	1058	1161
8	216	275	560	69	246	501	314	468	819	674	558	985	951	820	1213
9	389	228	287	311	303	551	619	693	987	983	841	1235	1331	1200	1521
10	594	241	150	447	301	314	504	457	749	805	613	997	1181	1053	1283
11	937	665	691	790	680	348	467	257	156	492	325	404	697	740	690
12	506	559	722	359	481	460	211	417	768	474	455	882	751	620	1013
13	492	139	150	345	217	338	450	480	774	814	636	1022	1190	1059	1308
14	453	100	222	306	144	223	339	365	659	703	521	907	1079	948	1193
15	733	732	895	586	654	591	338	502	733	337	453	752	577	446	876
16	261	320	605	114	291	456	269	423	774	629	513	940	906	775	1168
17	775	436	518	628	451	119	364	211	376	496	304	624	872	744	910
18	944	672	758	797	687	355	474	264	87	423	332	335	628	671	621
19	1091	1070	1233	944	992	850	676	702	789	354	548	683	264	133	580
20	452	311	474	305	233	258	75	225	576	439	319	746	815	684	978
21	1114	884	970	967	878	567	588	476	125	406	340	150	476	607	409
22	1064	1063	1226	917	985	916	669	768	855	420	614	784	365	234	681
23	639	481	644	492	403	258	113	110	461	325	135	562	703	573	820
24	1110	952	1043	963	874	640	584	492	309	246	336	187	232	363	349
25	1251	1021	1107	1104	1015	704	725	613	262	499	477	112	443	574	272
26	1424	1209	1295	1277	1203	892	898	801	450	534	665	298	372	503	149
27	1139	1138	1301	992	1060	991	744	843	930	495	689	859	440	309	756
28	884	883	1046	737	805	742	489	629	721	312	480	727	456	325	787
29	1176	1044	1141	1029	966	738	650	590	407	286	434	285	136	267	253
30	1329	1197	1283	1182	1119	880	803	741	438	439	585	207	277	408	100
31	1602	1392	1478	1455	1386	1075	1076	984	633	712	848	476	512	643	173
32	1791	1581	1667	1644	1575	1264	1265	1173	822	901	1037	665	641	772	362
33	1300	1299	1462	1153	1221	1152	905	1004	949	656	850	757	461	408	603
34	1418	1295	1390	1271	1217	987	901	839	656	537	683	464	251	382	218
35	1501	1378	1473	1354	1300	1070	984	922	645	620	766	414	334	465	135
36	1427	1394	1538	1280	1316	1135	1000	987	927	639	833	735	444	391	568
37	1226	1193	1337	1079	1115	934	799	786	723	438	632	531	243	190	377
38	1636	1513	1608	1489	1435	1205	1119	1057	808	755	901	577	469	600	298
39	1406	1373	1517	1259	1295	1114	979	966	879	618	812	648	423	370	369
40	1409	1408	1562	1262	1330	1159	1014	1011	956	663	857	764	468	415	610

Tablo 5.2: Aday depolama sahaları ve talep noktaları arasındaki ulaşım süreleri (dk cinsinden)

<i>i/j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	253	677	848	430	642	1048	889	1069	1490	1321	1182	1694	1654	1496	1968
2	276	700	828	452	665	1070	912	1092	1513	1344	1205	1717	1676	1519	1991
3	382	511	578	517	508	899	887	1039	1422	1324	1153	1666	1741	1584	1970
4	676	398	269	582	492	659	793	829	1182	1230	1016	1480	1681	1524	1823
5	820	490	151	726	572	638	816	809	1159	1226	996	1457	1678	1524	1800
6	938	516	174	763	599	665	842	835	1126	1253	1022	1423	1704	1550	1766
7	859	436	264	683	508	386	680	554	752	972	742	1050	1402	1270	1393
8	259	330	672	83	295	601	377	562	983	809	670	1182	1141	984	1456
9	467	274	344	373	364	661	743	832	1184	1180	1009	1482	1597	1440	1825
10	713	289	180	536	361	377	605	548	899	966	736	1196	1417	1264	1540
11	1124	798	829	948	816	418	560	308	187	590	390	485	836	888	828
12	607	671	866	431	577	552	253	500	922	569	546	1058	901	744	1216
13	590	167	180	414	260	406	540	576	929	977	763	1226	1428	1271	1570
14	544	120	266	367	173	268	407	438	791	844	625	1088	1295	1138	1432
15	880	878	1074	703	785	709	406	602	880	404	544	902	692	535	1051
16	313	384	726	137	349	547	323	508	929	755	616	1128	1087	930	1402
17	930	523	622	754	541	143	437	253	451	595	365	749	1046	893	1092
18	1133	806	910	956	824	426	569	317	104	508	398	402	754	805	745
19	1309	1284	1480	1133	1190	1020	811	842	947	425	658	820	317	160	696
20	542	373	569	366	280	310	90	270	691	527	383	895	978	821	1174
21	1337	1061	1164	1160	1054	680	706	571	150	487	408	180	571	728	491
22	1277	1276	1471	1100	1182	1099	803	922	1026	504	737	941	438	281	817
23	767	577	773	590	484	310	136	132	553	390	162	674	844	688	984
24	1332	1142	1252	1156	1049	768	701	590	371	295	403	224	278	436	419
25	1501	1225	1328	1325	1218	845	870	736	314	599	572	134	532	689	326
26	1709	1451	1554	1532	1444	1070	1078	961	540	641	798	358	446	604	179
27	1367	1366	1561	1190	1272	1189	893	1012	1116	594	827	1031	528	371	907
28	1061	1060	1255	884	966	890	587	755	865	374	576	872	547	390	944
29	1411	1253	1369	1235	1159	886	780	708	488	343	521	342	163	320	304
30	1595	1436	1540	1418	1343	1056	964	889	526	527	702	248	332	490	120
31	1922	1670	1774	1746	1663	1290	1291	1181	760	854	1018	571	614	772	208
32	2149	1897	2000	1973	1890	1517	1518	1408	986	1081	1244	798	769	926	434
33	1560	1559	1754	1384	1465	1382	1086	1205	1139	787	1020	908	553	490	724
34	1702	1554	1668	1525	1460	1184	1081	1007	787	644	820	557	301	458	262
35	1801	1654	1768	1625	1560	1284	1181	1106	774	744	919	497	401	558	162
36	1712	1673	1846	1536	1579	1362	1200	1184	1112	767	1000	882	533	469	682
37	1471	1432	1604	1295	1338	1121	959	943	868	526	758	637	292	228	452
38	1963	1816	1930	1787	1722	1446	1343	1268	970	906	1081	692	563	720	358
39	1687	1648	1820	1511	1554	1337	1175	1159	1055	742	974	778	508	444	443
40	1691	1690	1874	1514	1596	1391	1217	1213	1147	796	1028	917	562	498	732

Tablo 5.3: Askeri birliklerin her bir mühimmat tipi için talep miktarı (ton cinsinden)

Birlik	Mühimmat Tipi						
	1	2	3	4	5	6	7
1	170	275	400	670	1400	1185	400
2	150	281	423	674	1405	1091	600
3	321	340	342	560	1360	1299	800
4	270	468	470	830	1650	1180	350
5	190	680	680	560	1230	1730	540
6	460	320	870	1390	1900	1670	320
7	280	450	570	690	1175	1325	750
8	300	175	480	390	980	1490	490
9	90	325	640	670	1940	830	400
10	265	341	390	1100	1340	1670	420
11	175	235	438	671	985	1461	934
12	323	658	275	874	1390	1420	630
13	56	387	421	691	1951	1473	870
14	121	324	443	512	1265	918	832
15	183	319	479	504	1318	1104	648
16	71	193	391	943	1785	1700	320
17	112	235	421	751	1341	1730	643
18	183	342	453	647	1180	1649	521
19	61	435	278	447	1794	860	947
20	20	220	224	491	1863	1230	1100
21	143	549	379	672	1620	1195	645
22	102	211	620	387	1007	998	672
23	23	230	211	721	1308	1127	879
24	217	186	321	764	2200	1765	598
25	376	190	210	632	930	1272	983
26	78	159	301	464	1674	791	983
27	173	98	172	731	2100	1980	1002
28	14	95	129	498	2370	2190	1420
29	99	187	284	342	1700	1453	947
30	30	97	231	489	1290	1673	1003
31	91	283	210	539	1005	1293	932
32	210	152	320	431	1302	1329	789
33	152	231	372	673	1866	1160	1008
34	134	241	290	378	2172	1175	875
35	35	197	198	231	1321	1123	786
36	201	123	324	303	1452	1098	999
37	79	165	342	290	890	1720	1023
38	167	191	367	402	1126	1238	793
39	96	218	287	523	1523	1342	1039
40	154	283	476	623	1439	1632	1321

Her aday nokta, kurulan mühimmat deposundan bağımsız olarak $\varphi = 72$ mühimmat deposuna sahip olabilir. Üç tip mühimmat deposunun kapasiteleri ve inşaat maliyetleri Tablo 5.4'te sunulmuştur. Tabloda verilen değerlerin ilgili mühimmat deposu tipinin sadece bir birimi için olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 5.4: Farklı mühimmat depolarına ait kapasite değerleri ve inşa maliyetleri

k	Depo Tipi	Toplam Kapasite (ton) - CP_k	İnşa Maliyeti (PB) - μ_k
1	İglo	500	450000
2	Kargir	450	425000
3	Sac Baraka	410	380000

Ayrıca, her bir mühimmat depolama sahasında 7 çeşit mühimmat cinsinin depolandığı varsayılmıştır. Bu mühimmat cinsleri 1-7 arası rakamlarla temsil edilerek, her bir mühimmat cinsine göre taşıma maliyetleri orantısal olarak oluşturulmuş ve Tablo 5.5'te sunulmuştur. Ayrıca taşıma birim maliyeti her km için 4 PB/km olarak kabul edilmiştir.

Tablo 5.5: Farklı mühimmat tipleri için taşıma maliyeti katsayıları

m	Tanım	β_m
1	Kimyasallar	0.10
2	Mayın	0.15
3	Roketler	0.20
4	Tanksavar	0.25
5	Tank Mühimmatı	0.30
6	Top	0.35
7	Hava Savunma	0.40

5.2. Elde Edilen Çözüm (Model-I)

Denklem (4.1)-(4.6)'da sunulan model GAMS 23.0'da kodlanmış ve GAMS içine gömülen CPLEX çözücüsü kullanılarak çözülmüştür (bu model bundan sonra Model-I olarak adlandırılacaktır). Program, yukarıda sunulan girdi verisi kullanılarak Intel® Core™ i7-6700HQ CPU @ 2.60 GHz ve 16 GB RAM ile donatılmış bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Çözüm (231.995.744 amaç fonksiyonu değerine sahip) 17 dakika içinde "hafıza uyarısı – out of memory" sonlandırma kodu mesajı ile alınmıştır. Bu da problemin karmaşıklığı ve karar değişkenlerinin geniş aralığı göz önüne alındığında makul karşılanmaktadır.

Çözüm optimum olarak gösterilmese de uygulanabilirdir ve mümkün olan en iyi çözüm ile elde edilen çözüm arasındaki mutlak boşluk 34156'dır (%0,02'den daha az). Tablo 5.6 her bir mühimmat deposundan (j) her bir birliğe (i) taşınan mühimmatın/ekipmanın (m) miktarına tekabül eden X_{jim} karar değişkeninin değerini sunar. Bazı değerler, depo ve birlik arasında planlanan bir nakliye olmadığı için sıfır olarak görülmektedir. Örneğin, birlik 3'ün 1. tip ekipman ihtiyacının mühimmat deposu 1 ve 4'ten yüklenerek karşılandığı görülmektedir. Fakat kalan tüm ekipman tipleri için (örn. 2-7) birlik 3'ün talebi sadece depo 1'den yapılan nakliyeyle karşılanmıştır.

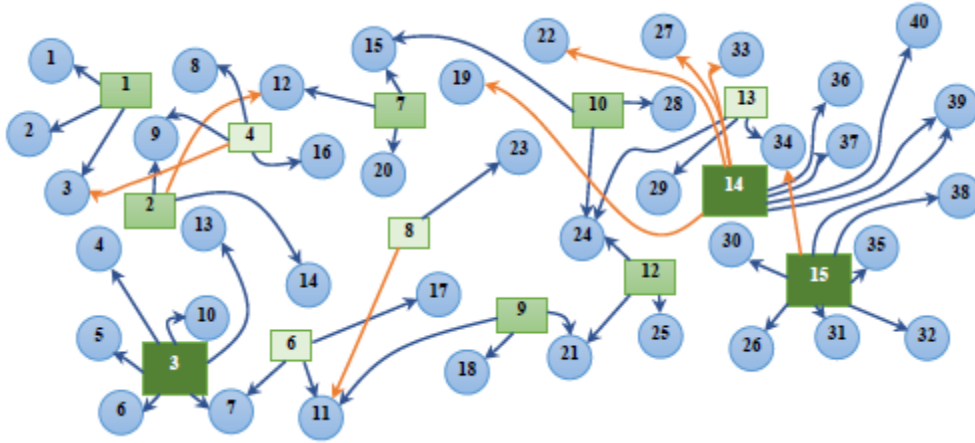
Her bir aday noktadaki (j) (inşa edilen) her bir tip (k) mühimmat deposunun sayısı Tablo 5.7'de sunulmuştur. Tabloda görüldüğü üzere, yapılan mühimmat depolarının toplam kapasitesi ile kullanılan kapasite arasındaki fark çok küçüktür ve bu da önerilen modelin verimliliğini ve çözümün kalitesini göstermektedir. İnşa edilen mühimmat depoları ve birlikler arasındaki ilişki Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Aday sitelerde inşa edilen depolar, destekledikleri toplam kapasiteye göre 3 şekilde gruplandırılırlar (örn. kapasite ≥ 20.000 ; $20.000 > \text{kapasite} \geq 10.000$; ve $10.000 > \text{kapasite}$).

Tablo 5.6: Model-I'in çözümüne göre depolardan birliklere taşınan mühimmat/ekipman miktarları

j 'den	i 'ye	Her bir mühimmat/ekipman tipi m için taşıma miktarları						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	170	275	400	670	1400	1185	400
1	2	150	281	423	674	1405	1091	600
1	3	175	340	342	560	1360	1299	800
2	9	34	325	640	670	1940	830	400
2	12	0	340	421	691	1951	1473	870
2	14	121	324	443	512	1265	918	832
3	4	270	468	470	830	1650	1180	350
3	5	190	680	680	560	1230	1730	540
3	6	460	320	870	1390	1900	1670	320
3	7	153	450	570	690	1175	1325	750
3	10	265	341	390	1100	1340	1670	420
3	13	56	47	0	0	0	0	0
4	3	146	0	0	0	0	0	0
4	8	300	175	480	390	980	1490	490
4	9	56	0	0	0	0	0	0
4	16	71	193	391	943	1785	1700	320
6	7	127	0	0	0	0	0	0
6	11	42	0	0	0	0	0	0
6	17	112	235	421	751	1341	1730	643
7	12	323	658	275	874	1390	1420	630
7	15	183	99	0	0	0	0	0
7	20	20	220	224	491	1863	1230	1100
8	11	1	0	0	0	0	0	0
8	23	23	230	211	721	1308	1127	879
9	11	132	235	438	671	985	1461	934
9	18	183	342	453	647	1180	1649	521
9	21	109	549	379	672	1620	1195	645
10	15	0	220	479	504	1318	1104	648
10	24	11	0	0	0	0	0	0
10	28	14	95	129	498	2370	2190	1420
12	21	34	0	0	0	0	0	0
12	24	39	186	321	764	2200	1765	598
12	25	376	190	210	632	930	1272	983
13	24	167	0	0	0	0	0	0
13	29	99	187	284	342	1700	1453	947
13	34	134	7	0	0	0	0	0
14	19	61	435	278	447	1794	860	947
14	22	102	211	620	387	1007	998	672
14	27	173	98	172	731	2100	1980	1002
14	33	152	231	372	673	1866	1160	1008
14	36	201	123	324	303	1452	1098	999
14	37	79	165	342	290	890	1720	1023
14	39	96	218	162	0	0	0	0
14	40	154	283	476	623	1439	1632	1321
15	26	78	159	301	464	1674	791	983
15	30	30	97	231	489	1290	1673	1003
15	31	91	283	210	539	1005	1293	932
15	32	210	152	320	431	1302	1329	789
15	34	0	234	290	378	2172	1175	875
15	35	35	197	198	231	1321	1123	786
15	38	167	191	367	402	1126	1238	793
15	39	0	0	125	523	1523	1342	1039

Tablo 5.7: Her noktadaki kurulan mühimmat depolarının sayısı (Model-I kullanılarak)

j	Mühimmat deposu sayısı (k)			Toplam Kapasite ($\sum_{k \in K} CP_k Y_{jk}$)	Kullanılan Kapasite ($\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim}$)	Kullanım Oranı
	1	2	3			
1	28	-	-	14,000	14,000	100.0
2	30	-	-	15,000	15,000	100.0
3	57	-	-	28,500	28,500	100.0
4	19	-	1	9,910	9,910	100.0
6	10	-	1	5,410	5,402	99.9
7	22	-	-	11,000	11,000	100.0
8	9	-	-	4,500	4,500	100.0
9	30	-	-	15,000	15,000	100.0
10	22	-	-	11,000	11,000	100.0
12	21	-	-	10,500	10,500	100.0
13	9	-	2	5,320	5,320	100.0
14	71	1	-	35,950	35,950	100.0
15	72	-	-	36,000	36,000	100.0
Toplam	400	1	4	202,090	202,082	-

**Şekil 5.2:** Model-I'e göre elde edilen dağıtım ağının şematik gösterimi

Model-I kullanılarak elde edilen çözümün amaç fonksiyonu değeri (231.995.744), 405 mühimmat deposunun (Tablo 5.7'de sunulduğu üzere) kuruluş maliyetlerinin toplamına ve toplamda 40 birliğe 13 noktada kurulan depolardan 202.082 ton ekipmanın nakliye maliyetine tekabül etmektedir. Sonuçlardan görüldüğü üzere 5. ve 11. aday sitelerde depo kurulmamıştır.

5.3. Model İyileştirme ve Sonuçları

Bu bölümde, önerilen matematiksel model, bazı kısıtlamaları göstermek için

iyileştirilmiştir ve bu kısıtlamalar altında problem tekrar çözülmüştür.

5.3.1. Model II – Bazı Mühimmat Depoları İçin Minimum Oran

Bazı durumlarda bazı teknolojik ve / veya diğer kurumsal kısıtlamalar, tüm mühimmat depolarının karşıladığı toplam talebin belirli bir miktarının belirli bir mühimmat deposu tarafından yerine getirilmesini gerektirebilir. Bu durum ayrıca güvenlik yönünden ve kuruluş kaynaklarının kullanımından da kaynaklanabilir. Model-II, Bölüm 4’te sunulan Denklemler (4.1)-(4.6)’ya ek olarak Denklem (5.1)’in ilave edilmesi ile elde edilmiştir.

$$\left(\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim} \right) P_h \leq CP_h Y_{jh} \quad \forall j \in J, h \in PR \quad (5.1)$$

PR , toplam talebin en az P_h oranını karşılamak için inşa edilmesi gereken mühimmat deposu tiplerinin (h) setidir.

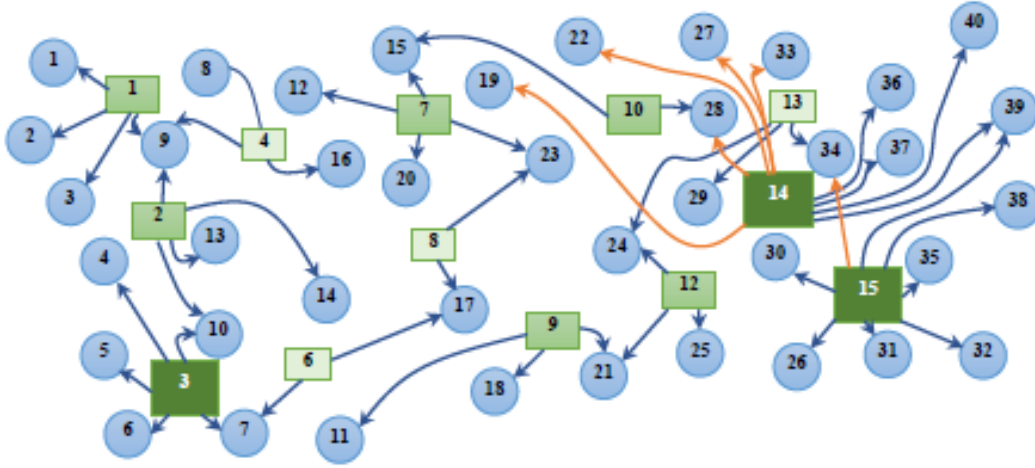
Önceki bölümde verilen problem için $PR = \{2\}$ ve $P_2 = 0.2$ olduğunu varsayalım. Bu demektir ki tüm sitelerden taşınan mühimmatın en az %20’si 2. tip mühimmat deposu tarafından karşılanmalıdır. Problem Model-II kullanılarak çözüldüğünde (Model-I üzerindeki yeni kısıtlar da dahil) Tablo 5.8 ve Tablo 5.9’da sunulan optimum çözüm 17 dakika içinde elde edilmiştir.

Tablo 5.8: Aday depolama sahalarında kurulan mühimmat depolarının sayısı (Model-II kullanılarak)

j	Mühimmat deposu sayısı (k)			Toplam Kapasite ($\sum_{k \in K} CP_k Y_{jk}$)	Kullanılan Kapasite ($\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim}$)	Kullanım Oranı
	1	2	3			
1	22	7	-	14,150	14,150	100.0
2	24	7	-	15,150	15,150	100.0
3	45	13	-	28,350	28,350	100.0
4	15	5	-	9,750	9,750	100.0
6	8	3	-	5,350	5,350	100.0
7	18	5	-	11,250	11,250	100.0
8	7	2	-	4,400	4,400	100.0
9	23	7	1	15,060	15,060	100.0
10	17	5	-	10,750	10,750	100.0
12	16	5	1	10,660	10,660	100.0
13	8	3	-	5,350	5,312	99.3
14	61	17	-	38,150	38,150	100.0
15	54	15	-	33,750	33,750	100.0
Toplam	318	94	2	202,120	202,082	-

Tablo 5.9: Model-II çözümüne dayalı olarak mühimmat depolarından birliklere sevkiyat miktarları

j 'den	i 'ye	Mühimmat tipleri için sevkedilecek miktarlar						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	170	275	400	670	1400	1185	400
1	2	150	281	423	674	1405	1091	600
1	3	321	340	342	560	1360	1299	800
1	9	4	0	0	0	0	0	0
2	9	44	325	640	670	1940	830	400
2	10	37	0	0	0	0	0	0
2	13	56	387	421	691	1951	1473	870
2	14	121	324	443	512	1265	918	832
3	4	270	468	470	830	1650	1180	350
3	5	190	680	680	560	1230	1730	540
3	6	460	320	870	1390	1900	1670	320
3	7	143	450	570	690	1175	1325	750
3	10	228	341	390	1100	1340	1670	420
4	8	300	175	480	390	980	1490	490
4	9	42	0	0	0	0	0	0
4	16	71	193	391	943	1785	1700	320
6	7	137	0	0	0	0	0	0
6	17	92	235	421	751	1341	1730	643
7	12	323	658	275	874	1390	1420	630
7	15	183	230	0	0	0	0	0
7	20	20	220	224	491	1863	1230	1100
7	23	23	96	0	0	0	0	0
8	17	20	0	0	0	0	0	0
8	23	0	134	211	721	1308	1127	879
9	11	175	235	438	671	985	1461	934
9	18	183	342	453	647	1180	1649	521
9	21	126	549	379	672	1620	1195	645
10	15	0	89	479	504	1318	1104	648
10	28	0	1	129	498	2370	2190	1420
12	21	17	0	0	0	0	0	0
12	24	216	186	321	764	2200	1765	598
12	25	376	190	210	632	930	1272	983
13	24	1	0	0	0	0	0	0
13	29	99	187	284	342	1700	1453	947
13	34	134	165	0	0	0	0	0
14	19	61	435	278	447	1794	860	947
14	22	102	211	620	387	1007	998	672
14	27	173	98	172	731	2100	1980	1002
14	28	14	94	0	0	0	0	0
14	33	152	231	372	673	1866	1160	1008
14	36	201	123	324	303	1452	1098	999
14	37	79	165	342	290	890	1720	1023
14	39	96	218	287	523	1444	0	0
14	40	154	283	476	623	1439	1632	1321
15	26	78	159	301	464	1674	791	983
15	30	30	97	231	489	1290	1673	1003
15	31	91	283	210	539	1005	1293	932
15	32	210	152	320	431	1302	1329	789
15	34	0	76	290	378	2172	1175	875
15	35	35	197	198	231	1321	1123	786
15	38	167	191	367	402	1126	1238	793
15	39	0	0	0	0	79	1342	1039



Şekil 5.3: Model-II kullanılarak elde edilen çözümün şematik gösterimi

Şekil 5.3'te sunulan dağıtım ağına göre büyük depoların (20000 tondan fazla kapasiteli) konumlarının değişmediği görülebilir. Fakat Tablo 5.8'deki değerler incelendiğinde, Model-I ile elde edilen çözüme göre, tüm sahalarda inşa edilen depo sayısının 405'ten 414'e çıkarıldığı görülmektedir. Bu, temelde modele dâhil edilen, 1. tip mühimmat deposundan daha az kapasiteye sahip olan 2. tip mühimmat depolarının en az %20'sini açmaya zorlayan kısıt (5.1) yüzündendir. Ayrıca elde edilen çözümün toplam maliyeti yapılan depo sayısındaki artışa bağlı olarak 233.855.757'ye yükselmiştir.

Dağıtım ağı da yeni açılan depolarla değişmiştir. Bazı depolar ve birlikler arasında yeni ulaşım bağlantıları kurulmuştur; örneğin, depo 1'den birlik 9'a, depo 2'den birlik 10 ve 13'e, depo 8'den birlik 17'ye, depo 7'den birlik 23'e ve depo 14'ten birlik 28'e. X_{jim} karar değişkenlerinin değerlerinde de değişiklikler olmuştur. Örneğin Model-I çözümünde birlik 9 tarafından 1. tip mühimmat için olan tüm talep depo 2 (34 ton) ve depo 4 (56 ton) tarafından karşılanmıştır. Fakat Model-II'nin çözümünde bu talebin küçük bir miktarı depo 1 tarafından karşılanmıştır. Diğer taraftan bazı bağlantılar yeni çözümde yok edilmiştir; örneğin, depo 3'ten birlik 13'e, depo 4'ten birlik 3'e, depo 6 ve 8'den birlik 11'e ve depo 10'dan birlik 24'e olan bağlantılar gibi. Örneğin, yeni durumda mühimmat deposu 9'da 1. tipten 7 depo yerine 2. tipten 7 depo ve 3. tipten 1 depo açılmıştır. Yeni açılan 2. tip ve 3. tip depolar ile depo 9'un toplam kapasitesindeki artış sayesinde tüm mühimmat türleri için birlik 11'in talebi (4899 ton) sadece depo 9 tarafından karşılanmıştır.

5.3.2. Model-III – Özel Depolama Gerektiren Özel Ekipman

Gerçek uygulamalarda, bazı özel mühimmat türleri, uygun bir şekilde depolanmak için belli bir tip mühimmat deposu gerektirebilir. Böyle bir durumda, bu özel ekipman için ordu kuvvetlerinden gelen talebi karşılamak maksadıyla bir aday noktada yeterli sayıda mühimmat deposu bulunmalıdır. Bu ortamda, aşağıdaki kısıtlama, Denklem (5.2), modele dahil edilmiştir ve böylece Model-III elde edilmiştir. Böylece Model-III Denklem (4.1)-(4.6), denklem (5.1-5.2) arası denklemlerden oluşmaktadır.

$$\sum_{i \in I} X_{jin} \leq CP_l Y_{jl} \quad \forall j \in J, l \in PS_n \quad (5.2)$$

PS_n özel ekipman n saklayabilen mühimmat depoları setidir.

Girdi verisi Bölüm 5.1'de verilen problem, Model-III kullanılarak çözülmüştür. Tip 2 mühimmatın depolanması için tip 3 mühimmat deposu inşa edilmesi gerektiğini belirten $PS_2=\{3\}$ olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, bir önceki çözülen problemden farklı olarak, PR ve P_2 parametrelerinin değerleri şu şekilde belirlenmiştir: $PR=\{2\}$ ve $P_2 = 0.1$. Bu, inşa edilen mühimmat depolarının kapasitesinin en az %10'unun tip 2'deki mühimmat depoları tarafından muhafaza edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 5.10: Her bir aday sitede kurulan mühimmat depoları

j	Mühimmat deposu sayısı (k)			Toplam Kapasite ($\sum_{k \in K} CP_k Y_{jk}$)	Kullanılan Kapasite ($\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim}$)	Kullanım Oranı
	1	2	3			
1	23	4	2	14,120	14,092	99.8
2	24	4	3	15,030	15,030	100.0
3	46	7	6	28,610	28,610	100.0
4	16	3	1	9,760	9,760	100.0
6	8	2	1	5,310	5,310	100.0
7	21	3	3	13,080	13,080	100.0
8	7	1	1	4,360	4,360	100.0
9	24	4	3	15,030	15,030	100.0
10	16	2	-	8,900	8,900	100.0
12	17	3	2	10,670	10,670	100.0
13	8	2	1	5,310	5,310	100.0
14	61	8	4	35,740	35,740	100.0
15	61	9	4	36,190	36,190	100.0
Toplam	332	52	31	202,110	202,082	-

Tablo 5.11: Model-III'ün çözümünden elde edilen sevkiyat miktarları

j 'den	i 'ye	Dağıtılacak olan m ekipmanı miktarı						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	170	275	400	670	1400	1185	400
1	2	150	281	423	674	1405	1091	600
1	3	321	264	342	560	1360	1299	800
1	9	22	0	0	0	0	0	0
2	3	0	34	0	0	0	0	0
2	9	58	325	640	670	1940	830	400
2	13	0	312	421	691	1951	1473	870
2	14	121	324	443	512	1265	918	832
3	4	270	468	470	830	1650	1180	350
3	5	190	680	680	560	1230	1730	540
3	6	460	320	870	1390	1900	1670	320
3	7	235	450	570	690	1175	1325	750
3	10	265	341	390	1100	1340	1670	420
3	13	56	75	0	0	0	0	0
4	3	0	42	0	0	0	0	0
4	8	300	175	480	390	980	1490	490
4	9	10	0	0	0	0	0	0
4	16	71	193	391	943	1785	1700	320
6	7	45	0	0	0	0	0	0
6	17	112	235	421	751	1341	1730	643
6	20	9	0	0	0	0	0	0
6	23	23	0	0	0	0	0	0
7	12	323	658	275	874	1390	1420	630
7	15	183	319	479	504	770	0	0
7	20	11	220	224	491	1863	1230	1100
7	23	0	33	83	0	0	0	0
8	23	0	197	128	721	1308	1127	879
9	11	175	235	438	671	985	1461	934
9	18	183	342	453	647	1180	1649	521
9	21	96	549	379	672	1620	1195	645
10	15	0	0	0	0	548	1104	648
10	28	0	0	122	498	2370	2190	1420
12	21	47	0	0	0	0	0	0
12	24	196	186	321	764	2200	1765	598
12	25	376	190	210	632	930	1272	983
13	24	21	0	0	0	0	0	0
13	29	99	187	284	342	1700	1453	947
13	33	0	1	0	0	0	0	0
13	34	134	142	0	0	0	0	0
14	19	61	435	278	447	1794	860	947
14	22	102	211	620	387	1007	998	672
14	27	173	98	172	731	2100	1980	1002
14	28	14	95	7	0	0	0	0
14	33	152	230	372	673	1866	1160	1008
14	36	201	123	324	303	1452	1098	999
14	37	79	165	342	290	890	1720	1023
14	39	96	0	55	0	0	0	0
14	40	154	283	476	623	1439	1632	1321
15	26	78	159	301	464	1674	791	983
15	30	30	97	231	489	1290	1673	1003
15	31	91	283	210	539	1005	1293	932
15	32	210	152	320	431	1302	1329	789
15	34	0	99	290	378	2172	1175	875
15	35	35	197	198	231	1321	1123	786
15	38	167	191	367	402	1126	1238	793
15	39	0	218	232	523	1523	1342	1039

Problem önceki modellerin çözüldüğü aynı bilgisayarda CPLEX ile çözülmüştür. Fakat kaynak limiti aşılmış ve amaç fonksiyonu değeri 26.574'lik mutlak bir boşluk ile 233.327.497 PB olarak bulunmuştur. Dahası CPLEX'in (hafıza yerine)

5.3.3. Model-IV – Maksimum Zaman Limiti

Önceden belirlenen bir zaman sınırı içinde bir birliğin talebini sağlamak için bir koşul varsa, zaman kısıtlamaları modele dahil edilebilir. Bu amaçla Denklem (5.3) ve (5.4)'te verilen kısıtlar orijinal Model-I'e eklenmiştir. Bu yüzden Model-IV Denklem (4.1) - (4.6) ve (5.3) - (5.4)'ten oluşur.

$$V_{ji}t_{ji} \leq \theta \quad \forall j \in J, i \in I \quad (5.3)$$

$$\sum_{m \in M} X_{jim} \leq V_{ji}L \quad \forall j \in J, i \in I \quad (5.4)$$

t_{ji} , j ve i arasındaki seyir süresini ifade eden girdi parametresidir; θ izin verilen maksimum zaman limitidir; V_{ji} j 'den i 'ye mühimmat nakliyatı olup olmadığı bilgisini tutan ikili değişkendir. Eğer $\sum_{m \in M} X_{jim}$ değeri 0'dan büyük ise V_{ji} 1 değerini alır; aksi halde 0 değerini alır.

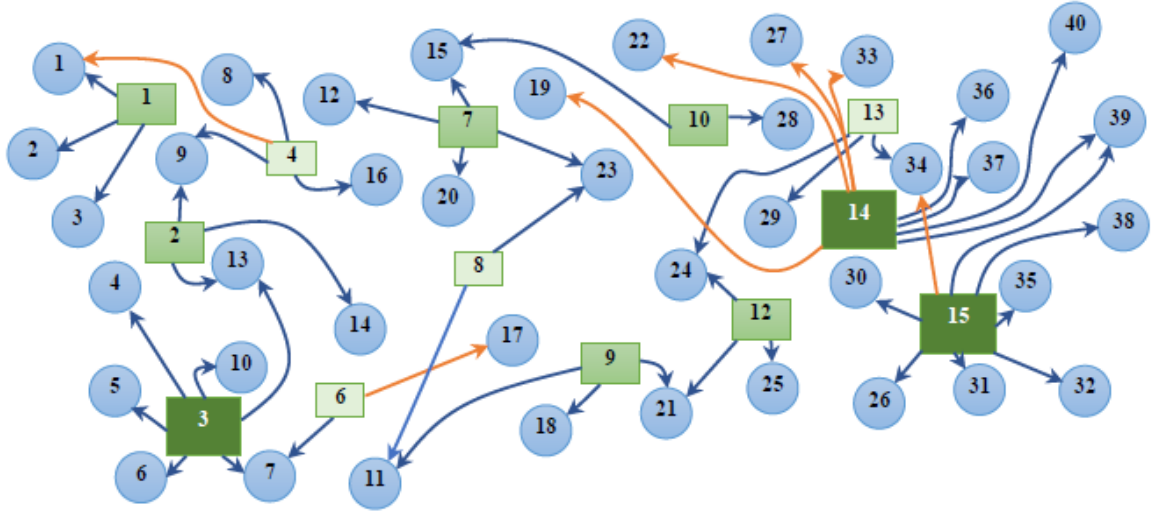
Bölüm 5.1'de sunulan problem girdi verisi olarak verilen mühimmat deposu alanlarından birliklere gerçek nakliye zamanları ve $\theta=500$ dakika olduğu düşünülerek Model-IV kullanılarak çözülmüştür. 231.958.193 amaç fonksiyonu değerli çözüm kaynak limitinin aşıldığını belirten mesajla 17 dakika içinde elde edilmiştir (mutlak boşluk 35.995 olarak rapor edilmiştir). Her bir aday sitede açılan depoların sayısı ve nakliye miktarları sırasıyla Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'te sunulmuştur. Tablolarda verilen sonuçlara dayalı olarak kurulan dağıtım ağı da Şekil 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.12: Her bir aday sahada inşa edilen mühimmat depoları (Model-IV ile)

j	Mühimmat deposu sayısı (k)			Toplam Kapasite ($\sum_{k \in K} CP_k Y_{jk}$)	Kullanılan Kapasite ($\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} X_{jim}$)	Kullanım Oranı
	1	2	3			
1	28	-	-	14,000	14,000	100.0
2	30	-	-	15,000	15,000	100.0
3	57	-	-	28,500	28,500	100.0
4	19	1	-	9,950	9,950	100.0
6	9	-	2	5,320	5,320	100.0
7	22	-	-	11,000	10,992	99.9
8	9	-	-	4,500	4,500	100.0
9	30	-	-	15,000	15,000	100.0
10	22	-	-	11,000	11,000	100.0
12	21	-	-	10,500	10,500	100.0
13	9	-	2	5,320	5,320	100.0
14	71	-	-	35,500	35,500	100.0
15	73	-	-	36,500	36,500	100.0
Toplam	400	1	4	202,090	202,082	-

Tablo 5.13: Model-IV kullanılarak elde edilen çözüm sonucu sevk edilecek mühimmat miktarı

j 'den	i 'ye	Dağıtım yapılacak m mühimmatı miktarı						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	24	275	400	670	1400	1185	400
1	2	150	281	423	674	1405	1091	600
1	3	321	340	342	560	1360	1299	800
2	9	0	319	640	670	1940	830	400
2	13	0	380	421	691	1951	1473	870
2	14	121	324	443	512	1265	918	832
3	4	270	468	470	830	1650	1180	350
3	5	190	680	680	560	1230	1730	540
3	6	460	320	870	1390	1900	1670	320
3	7	193	450	570	690	1175	1325	750
3	10	265	341	390	1100	1340	1670	420
3	13	56	7	0	0	0	0	0
4	1	146	0	0	0	0	0	0
4	8	300	175	480	390	980	1490	490
4	9	90	6	0	0	0	0	0
4	16	71	193	391	943	1785	1700	320
6	7	87	0	0	0	0	0	0
6	17	112	235	421	751	1341	1730	643
7	12	323	658	275	874	1390	1420	630
7	15	183	88	0	0	0	0	0
7	20	20	220	224	491	1863	1230	1100
7	23	3	0	0	0	0	0	0
8	11	4	0	0	0	0	0	0
8	23	20	230	211	721	1308	1127	879
9	11	171	235	438	671	985	1461	934
9	18	183	342	453	647	1180	1649	521
9	21	70	549	379	672	1620	1195	645
10	15	0	231	479	504	1318	1104	648
10	28	14	95	129	498	2370	2190	1420
12	21	73	0	0	0	0	0	0
12	24	0	186	321	764	2200	1765	598
12	25	376	190	210	632	930	1272	983
13	24	217	0	0	0	0	0	0
13	29	99	187	284	342	1700	1453	947
13	34	91	0	0	0	0	0	0
14	19	61	435	278	447	1794	860	947
14	22	102	211	620	387	1007	998	672
14	27	173	98	172	731	2100	1980	1002
14	33	152	231	372	673	1866	1160	1008
14	36	201	123	324	303	1452	1098	999
14	37	79	165	342	290	890	1720	1023
14	39	26	0	0	0	0	0	0
14	40	154	283	476	623	1439	1632	1321
15	26	78	159	301	464	1674	791	983
15	30	30	97	231	489	1290	1673	1003
15	31	91	283	210	539	1005	1293	932
15	32	210	152	320	431	1302	1329	789
15	34	43	241	290	378	2172	1175	875
15	35	35	197	198	231	1321	1123	786
15	38	167	191	367	402	1126	1238	793
15	39	70	218	287	523	1523	1342	1039



Şekil 5.5: Model-IV kullanılarak elde edilen çözümün şematik gösterimi

Model-IV, Model-III değil Model-I üzerinden yeni kısıtlamalar eklenerek türetilmiş olduğu için burada elde edilen sonuçlar Model-I ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak tartışılacaktır. Elde edilen sonuçlara göre mühimmat deposu siteleri ve birlikler arasındaki kırılan bağlantılar şu şekildedir: site 2'den birlik 12'ye, site 4'ten birlik 3'e, site 6'dan birlik 11'e ve site 10'dan birlik 24'e. Temel olarak 3 ve 12 nolu birliklerin talebi sırasıyla 4 ve 2 nolu sitelerden gelen nakilleri içeren bir karışım yerine, 500 dakikalık hareket mesafesi (sırasıyla site 1 ve site 7) aralığındaki mühimmat deposu siteleri tarafından karşılanmıştır. Site 1'de aynı sayıda depo açılmıştır, tip 1 mühimmat deposundan 28 adet (bakınız Tablo 5.7 ve Tablo 5.13). Yani site 1'deki depoların toplam kapasitesi aynıdır. Ancak maliyet dengelenmiştir ve birlik 1 tarafından yapılan talebin bir parçası site 4'ten kurulan yeni bir bağlantı ile yerine getirilmiştir. Böylece site 1'in kapasitesi aşılmamıştır. Benzer şekilde site 2'nin (zaman limitinin sonucu olarak site 2 ve birlik 12 arasındaki yok edilen bağlantı yüzünden boşalmıştır) kalan kapasitesi birlik 13'e ekipman tedarik etmek için değerlendirilmiştir. İlk çözümde (Model-I'den elde edilen ve Bölüm 5.1'de sunulan) birlik 13 tarafından talep edilen tüm ekipman sadece site 3 tarafından (site 2'den daha uzaktadır) karşılanmıştır.

6. ANALİZ VE TARTIŞMA

Probleme özel parametrelerin problemi çözmek için gereken süreye etkisini ölçmek için bir dizi hesaplama testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla problem, farklı seviyelerde birliklerin sayısı (i), aday sitelerin sayısı (j), mühimmat tiplerinin sayısı (m) ve mühimmat depo tiplerinin sayısı (k) gibi girdi parametreleri kullanılarak Model-I ile çözülmüştür. Model, her defasında sadece bir parametrenin değeri değiştirilerek çalıştırılmış ve çalışma süresi kaydedilmiştir. Maksimum zaman sınırı, yani model çalışma süresinin üst sınırı, 3600 sn'ye ayarlanmıştır. Bu zaman sınırını aşan bir model sonlandırılmış ve en iyi çözüm rapor edilmiştir.

Şekil 6.1, yukarıda bahsedilen dört parametrede yapılan değişiklik ile yürütme süresinin nasıl etkilendiğini göstermektedir. İlk olarak, Şekil 6.1(a)'da görüldüğü gibi, birliklerin sayısı 24'ten 26'ya çıkarıldığında, yürütme süresi hızla artmıştır. İlginç bir şekilde, 28 ve 32 adet birlik dikkate alınmasıyla model çalışma süresinde azalma gözlenmektedir. Birliklerin sayısının 32'den 36 ve 40'a değişmesiyle (3600 sn'ye ayarlanan) zaman sınırı aşılmış ve program sona ermiştir.

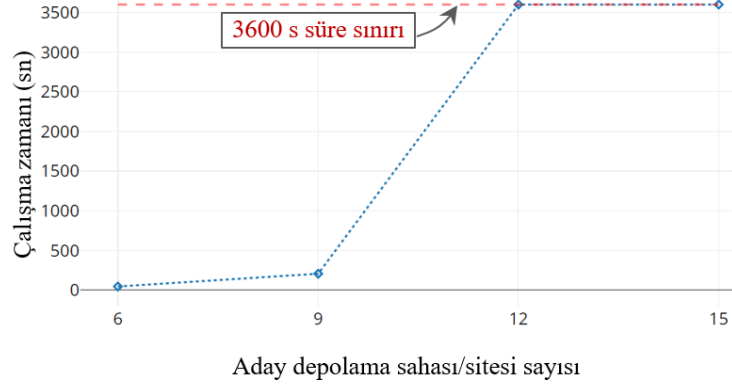
Aday sitelerin sayısının da arama alanının büyüklüğüne etkisi vardır ve bu nedenle modelin yürütme süresini etkiler. Bu amaçla aday alanların sayısı sırasıyla 6, 9, 12 ve 15 olarak belirlenmiş ve model çalıştırılmıştır. Her bir çalışma için yürütme süresi kaydedilmiş ve Şekil 6.1(b)'deki gibi çizilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, aday alanların sayısı 12'ye değiştirildiğinde, yürütme süresinde önemli bir artış meydana gelmiştir. Bu, $3 \times ni \times nm + 3 \times k$ ile karar değişkenlerinin sayısını önemli ölçüde artırmaktadır. Bu durum fazladan 849 karar değişkeni (hem X_{jim} hem de Y_{jk} olarak) ve arama alanında büyük bir artış anlamına gelmektedir. Bu nedenle, yürütme süresi 3600 s zaman sınırını aşmıştır.

Mühimmat türlerinin sayısı da modelin yürütme süresinin ana belirleyicilerinden birisidir. Şekil 6.1(c)'de görüldüğü gibi, mühimmat türlerinin sayısı arttıkça çalışma süresi kademeli olarak artmıştır. Sadece bir mühimmat türü göz önüne alındığında uygulama süresi çok azken, mühimmat sayısı 6'ya ulaştığında zaman sınırı aşılmıştır. Mühimmat tiplerinin daha büyük bir sayısıyla problemin karmaşıklığının artması şaşırtıcı değildir. Bu durum, birliklerin sayısındaki artışa ve aday sitelerin sayısındaki artışa benzer birçok yeni karar değişkenine (X_{jim}) yol açmaktadır.

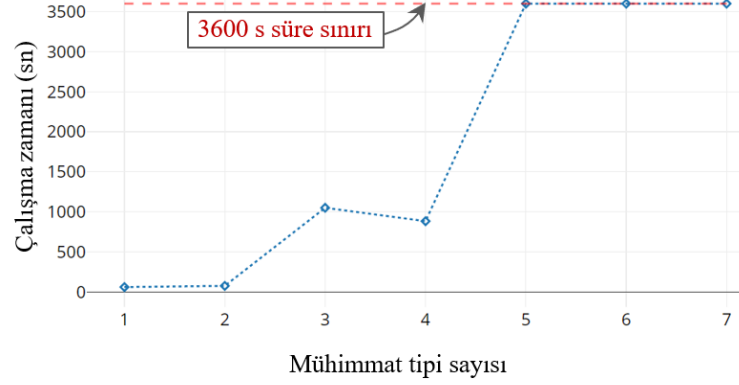
(a)



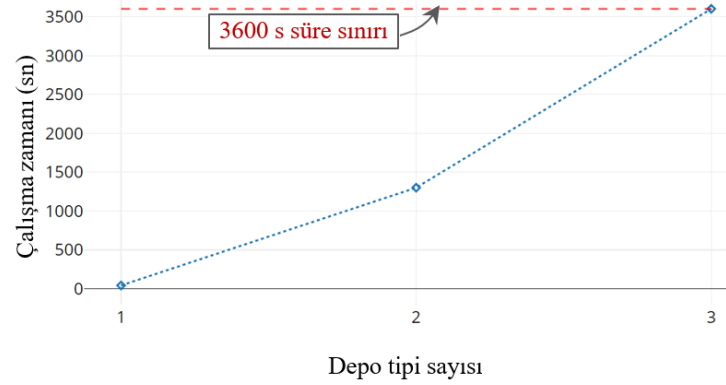
(b)



(c)



(d)



Şekil 6.1: Farklı parametreler altında model çalışma süreleri

Son olarak, farklı türde mühimmat depoları kullanımının yürütme süresine etkisi araştırılmıştır, Şekil 6.1(d). Bu, X_{jim} karar değişkenlerinin sayısı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmamasına rağmen, Y_{jk} karar değişkenlerinin sayısını etkilemekte ve iki karar değişkeni, X_{jim} ve Y_{jk} , arasındaki etkileşimleri etkilemektedir. Bu da problem karmaşıklığının artmasına ve arama alanının genişlemesine neden olmaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tesis yeri seçimi problemlerinin bir özelliği olarak kararlar orta veya uzun vadeli ve ulaştırma ağlarının tasarımı, envanter kararları veya operasyonel düzeyde verilen diğer kararlar ile ilgili başka kararları etkilemektedir. Daha fazla sayıda tesis inşaatı, tesisler talep yerlerine daha yakın olma eğiliminde olduğundan ulaşım maliyetini düşürecektir. Ancak, yeni depoların inşaatı nedeniyle toplam maliyet artacaktır. Bu nedenle, yeni depoların inşaat maliyeti ile bu depolardan müşterilere (veya talep edilen noktalara) taşınmanın maliyeti arasında bir bağıntı vardır.

Birbiriyle yakın ilişkisi olan tesis yeri ve dağıtım ağı tasarım problemleri genellikle bağımsız olarak ele alınmaktadır. Literatürde mühimmat depo yer seçimi ile mühimmat ağı dağıtım sisteminin birlikte ele alınarak, her bir talep noktasının birden fazla aday noktadan desteklenme konusunun çalışılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, talep noktalarının mühimmat ihtiyacına yönelik karmaşık bir ikmal sistemi ile yürütülen faaliyeti, mühimmat ağı dağıtım sistemi ile mühimmat depo yer seçimini birlikte çalışarak daha rasyonel hale getirmek için karışık tam sayılı lineer programlama ile matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu problemin çözümünde her bir talep noktasının mühimmat ihtiyacını birden fazla aday mühimmat deposundan karşılayabilecek bir model kullanılmıştır.

Bir karışık tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı oluşturulmuş ve (i) belirli bir türden mühimmat depolarının en azından belirli bir miktarının kullanılması, (ii) belirli bir mühimmat tipi için belirli bir mühimmat deposunun inşası, (iii) ve talepleri karşılamak için azami süre sınırlaması gibi gerçek dünyada bazı gerçekçi kısıtlamaları temsil etmek için aşamalı olarak geliştirilmiştir. Ayrıca, aday bir sahada açılacak maksimum depo sayısı da modellerde dikkate alınmıştır.

Önerilen modeller, mühimmat deposu kuruluş maliyetlerinin toplamı ve depolardan birliklere ulaştırılacak nakliye masrafları ile karakterize edilen toplam maliyeti en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Modellerde birden fazla türden mühimmat deposu düşünülmüştür. Onların kuruluş maliyetleri ve toplam mühimmat kapasiteleri de farklıdır. Böylelikle, dağıntık birliklerden gelen talebi en düşük maliyetle karşılayabilmek için bir aday sahaya bir grup farklı depo kurulabilir. Kaynak limitinin

aşılması durumunda, şimdiye kadar elde edilen en iyi çözüm, her model ve çözümü için sunulmakta ve tartışılmaktadır. Modellerden elde edilen sonuçlar, açılmış olan depo sayısı ve birliğe gönderilen her bir mühimmat tipi dikkate alınarak, detaylı tartışmalar ile birbirleriyle karşılaştırılmaktadır.

Birlikler, aday sahaları, farklı mühimmat türleri ve mühimmat deposu türleri için çeşitli seviyelerde ihtiyaç duyulan yürütme süresini ölçmek için bir dizi deneysel test de gerçekleştirilmiştir. Yürütme süresinin ve dolayısıyla problem karmaşıklığının, birliklerin sayısı dışındaki parametrelerin büyüklüğündeki artışla birlikte hızla arttığı görülmektedir. İlginçtir ki, birliklerin sayısının 26'dan 28'e ve 32'ye çıkması, yürütme süresini mutlaka olumsuz yönde etkilememiştir. Bununla birlikte, 3600 s zaman sınırı içinde birliklerin sayısı 36 ve 40'a çıkarıldığında sorun aniden çözülemez hale gelmiştir.

Bu araştırmada elde edilen metodoloji ve sonuçlar, sadece mühimmatın nakliyesi için değil, aynı zamanda yedek parça, gıda malzemesi gibi her türlü malın taşınması için yeni bir dağıtım ağının tasarlanması ve planlanması için de pratik olarak kullanılabilir. Burada sunulan model, planlama faaliyetinin başında hiçbir deponun bulunmadığını varsayarken, hali hazırda oluşturulmuş depolama birimleri göz önünde bulundurularak mevcut bir dağıtım ağına uyum sağlamak için kolaylıkla değiştirilebilir. Böyle bir durumda, depolar ve birlikler arasındaki mevcut bağlantıların yok edilmesinin maliyeti de modele ilave edilmelidir. Ayrıca, bir depo kurma / imha etme maliyeti ile depolardan malların birliklere taşınması maliyeti arasındaki dengeyi göz önünde bulundurarak depoların mevcut konumlarındaki değişiklik sayısını en aza indirmeyi de hedefleyebilmektedir.

Bu araştırmada sunulan problem ve modeller çeşitli yollarla genişletilebilir. Her şeyden önce, modelde yapılan ve yukarıda tartışılan varsayımlar, önerilen modeli geniş çaplı uygulamalara uyarlamak için yumuşatılmıştır. İkinci olarak, dağıtım ağı bu çalışmada tek bir aşama (mühimmat depolarından birliklere) olarak değerlendirilmiştir. Merkezlerden depolara dağıtım için bir veya daha fazla merkezi depo göz önünde bulundurularak daha bütünsel bir kavram üzerinde çalışılabilir. Hatta eğer maliyet açısından daha verimliyse merkezlerden birliklere doğrudan bir bağlantı kurulmasına da izin verilebilir. Üçüncü olarak, araç rotalama problemini, bazı kapasiteli kamyon kısıtlamalarına da ihtiyaç duyan dağıtım ağı tasarımına dahil etmek

uygun olabilir. Son olarak ise, tesis yeri kararlarının uzun vadeli doğası göz önünde bulundurulduğunda, taleplerdeki belirsizlik dikkate alınabilir ve sorunun daha karmaşık uyarlamaları için metasezgisel modeller geliştirilebilir.

8. KAYNAKLAR

Afshari, H., Sharafi, M., ElMekkawy, T. and Peng, Q. (2014). Optimizing Multi-objective Dynamic Facility Location Decisions within Green Distribution Network Design, *Procedia CIRP*, 17, 675-679.

Akardere, Yusuf. (2005). Dinamik Mühimmat İkmal Sistemi Optimizasyon Çalışması. Yayınlanmamış Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Akyol, A. (2003). Nükleer, biyolojik ve kimyasal korunma donanımı depolarının yerlerinin matematiksel modelleme ile tespiti. Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı, Ankara.

Albayrak, A. (2005). Taktik Seviyedeki Kara Muharebeleri İçin Mühimmat İhtiyacının Belirlenmesinde Muharebe Modellerinin Kullanılması. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Barutçugil, İ. S. (1988). Üretim sistemi ve yönetim teknikleri. Uludağ Üniversitesi Yayınları, Bursa.

Bastı, M. (2012). P-medyan tesis yeri seçim problemi ve çözüm yaklaşımları. *Online Academic Journal of Information Technology*, 3 (7), 48-75.

Batta, R. Dolan, J. M., Krishnamurthy, N. N. (1989). The Maximal Expected Covering Location Problem: Revisited, *Transportation Science*, 23(4), 277-287.

Bayram, V. (2002). Optimizing the Capacity and Operation of U.S. Army Ammunition Production Facilities. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Monterey, California, Naval Postgraduate School.

Bektas, T., Crainic, T. (2008). A brief overview of intermodal transportation, in *Logistics Engineering Handbook*, 1–16. Boca Raton: Taylor and Francis Group.

Bell, J.E. (2003). A Simulated Annealing Approach for The Composite Facility Location and Resource Allotion Problem: A Study of Strategic Positioning of U.S. Air Force Munitions. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, California, Naval Postgraduate School.

Berman, O. ve Kruss, D. (2002). The Generalized Maximal Covering Location Problem, *Computers and Operations Research*, 29, 563-581.

Berman, O., Ingco, D. I. ve Odoni, A.R. (1992). Improving the location of minimum facilities through network modification. *Annals of Operations Research*, 40(1), 1-16.

Bigotte, J. F., Krass, D., Antunes, A.P. ve Berman, O. (2010). Integrated modeling of urban hierarchy and transportation network planning. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(7), 506-522.

Bilir, C., Ekici, S.O. ve Ulengin, F. (2017). An integrated multi-objective supply chain network and competitive facility location model. *Computers & Industrial Engineering*, 108, 136-148.

Brandeau, M. ve Chiu, S. (1989). An Overview of Representative Problems in Location Research, *Management Science*, 35, 645-674.

Brotcorne, L. Laporte, G., Semet, F. (2003). Ambulance Location and Relocation Models. *European Journal of Operational Research*, 147, 370-378.

Cain, M J. A. (1988). GAMS-Based Model of the U.S. Army Wartime Ammunition Distribution System for the Corps Level. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Monterey, California, Naval Postgraduate School.

Cemalcılar, İ., Bayar, D., Aşkun, İ. C. ve Özalp, Ş. (1993). İşletmecilik bilgisi. (Revizyon Baskı). İşitme Özürlü Çocuklar Eğitim ve Araştırma Vakfı, Eskişehir.

Church, R. ve Velle C.R. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in Regional Science*, 32(1), 101-118.

Church, R. (1984.). The Planar Maximal Covering Location Problem. *Journal of Regional Science*, 24(2), 185-201.

Clark, S. J., Barnhart, C. ve Kolitz, S. E. (2004). Large-scale optimization planning methods for the distribution of United States army munitions. *Mathematical and Computer Modelling*, 39(6), 697-714.

Cocking, C. (2008). Solutions to Facility Location–Network Design Problems. Doktora Tezi, University of Heidelberg, Germany, DOI: 10.11588/heidok.00008660.

Contreras, I. ve Fernández, E. (2012). General network design: A unified view of combined location and network design problems. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 680-697.

Contreras, I., Fernández, E. ve Reinelt, G. (2012). Minimizing the maximum travel time in a combined model of facility location and network design. *Omega*, 40(6), 847-860.

Crainic, T. G. ve Kim, K. H. (2007). Intermodal Transportation. Chapter 8, in *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 14(C). Barnhart and G. Laporte, Eds.: Elsevier, 467-537.

Current, J., Daskin, M. ve Schilling, D. (2002). Discrete Network Location Models. *Facility Location Theory: Applications and Methods*, Chapter 3, Springer-Verlag, Berlin, 75-89.

Current, J., Min, H. ve Schilling, D. (1990). Multi Objective Analysis of Facility Location Decisions. *European Journal of Operational Research*, 49, 295-307.

Çağrııcı, H. (2007). Çok Namlulu Roket Atar Birliklerinin Mühimmat Depo Yerlerinin Genetik Algoritmalar İle Tespiti. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Daskin, M.S., Hurter, A. P. ve Van Buer, M. G. (1993). Toward an integrated model of facility location and transportation network design. The Transportation Center, Northwestern University, Working Paper. Evanston, IL, USA.

Daskin, M. S. (1995). Network and discrete location models, algorithms and applications. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Daskin M. S., Snyder L. V. ve Berger R. T. (2003). Facility Location in Supply Chain Design.

Demir, H. ve Gümüšoğlu, Ş. (2009). Üretim yönetimi (işlemler yönetimi). Revizyon Baskı, Beta Basım, İstanbul.

Drezner, Z. ve Wesolowsky, G. O. (2003). Network design: selection and design of links and facility location. *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, 37(3), 241-256.

Drezner, Z. (1995). *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, New York, Springer-Verlag.

Elloumi S., Labbé M, ve Pochet Y. (2004). A New Formulation and Resolution Method for the p-Center Problem. *INFORMS Journal on Computing*, 16(1), 84-94.

Erdal, H. (2014). Mühimmat dağıtım ağı optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Tedarik ve Lojistik Yönetimi Ana Bilim Dalı, Ankara.

Erdal, M. (2004). Lojistik ve Dış Ticaret Sözlüğü. UTIKAD (Uluslararası Taşımacılık ve Lojistik Hizmet Üretenler Derneği), İstanbul.

Erkut, E. ve Neuman, S. (1989). Analytic Models for Locating Undesirable Facilities. *European Journal of Operational Research*, 40, 275-291.

Farahani, R. Z., Miandoabchi, E., Szeto, W.Y. ve Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problem. *European Journal of Operational Research*, 229(2), 281-302.

Farahani, R.Z., Asgari, N., Heidari, N., Hosseini, M. ve Goh, M. (2012). Covering problems in facility location: A review. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 368-407.

Francis, R. L., McGinnis, F. ve White, J.A. (1983). *Locational Analysis*. *European Journal of Operations Research*, 12, 220-252.

Francis, R. L., ve White, J.A. (1998). *Facility Layout and Location: An Analytical Approach: 2nd (Second) edition*, Prentice Hall.

Garett, L. J., ve Silver, M. (1973). *Production management analysis. (Rev. Ed.)*. New York: Harcourt Brace Jovanovich Inc.

Garey, M. R. ve Johnson. D. S. (1979). *Computers and Intractability: A Guide to The Theory of NP-Completeness*, New York, Freeman Company.

Ghaderi, A. ve Jabalameli, M. S. (2013). Modeling the budget-constrained dynamic uncapacitated facility location–network design problem and solving it via two efficient heuristics: A case study of health care. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(3), 382-400.

Gökmen, Y. (1999). Kara Kuvvetleri bünyesindeki akaryakıt ve mühimmat depolarının Türkiye genelinde dağıtımının optimazasyonu. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Gue, K. R. (2003). A dynamic distribution model for combat logistics. *Computers & Operations Research*, 30(3), 367-381.

Hakimi, S. L. (1965). Optimum Distribution of Switching Centers in Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems. *Operation Research*, 12, 462-475.

Hale, T. S. ve Moberg, C. R. (2003). Location Science Research: A Review. *Annals of Operations Research*, 123, 265-276.

Hancock, S. R. ve Lee, P. J. (1998). The ammunition supply chain and intermodalism: from Depot to Foxhole. Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

Hennen, M. T. (1970). An Aproximate Goal Constraint Model for Ammunition Inventory. Master's Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

Jia H, Xu Y, Tian G, Zhou M.C., Zhang J, ve Zhang H. (2018). Random Energy-efficient Models for Sustainable Facility Location Subject to Carbon Emission, Economical, Capacitated and Regional Constraints. *IEEE Access*, Baskıda.

Karabacak, G. (2012). Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Analitik Ağ Süreci ile Mühimmat Seçimi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Karalar, R. (2005). Genel işletme. Yorum Matbaası, Eskişehir.

Karataş, M., Yakıcı, E. ve Razi, N. (2019). Military Facility Location Problems: A Brief Survey. In *Operations Research for Military Organizations, USA: IGI Global*, 1-27.

Keskin, İ. (2016). Mühimmat depoları yer seçimi için coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri destekli bir model önerisi. Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı, Ankara.

Kobu, B. (2003). Üretim yönetimi. Revizyon Baskı, Avcıol Basım, İstanbul.

Kocaoğlu, M. (2010). Bir Akaryakıt Dağıtım Dizgesinin Ulaştırma Giderinin Doğrusal Programlama Yoluyla En Aza İndirgenmesi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Korkut, D., Doğan, A. ve Bekar, İ. (2010). Tesis yeri seçimini etkileyen faktörlerin Düzce ili açısından değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 6(1), 32-39.

Kuehn A.A. ve Hamburger M.J. (1963). A Heuristic Program for Locating Warehouses. *Management Science*, 9(4), 643-666.

Lenhardt, T. A. (2006). Evaluation of a USMC combat service support logistics

concept. *Mathematical and Computer Modelling*, 44(3), 368-376.

Levin, Y. ve Ben Israel, A. (2001). A Heuristic Method for Multifacility Location Problem. Rutgers Üniversitesi Rucor Araştırma Raporu, 76-87, New Jersey.

Melkote, S. ve Daskin, M. S. (2001). An integrated model of facility location and transportation network design. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(6), 515-538.

Melkote, S. ve Daskin, M. S. (2001). Capacitated facility location/network design problems. *European Journal of Operational Research*, 129(3), 481-495.

Mirchandani, P. B. ve Franchis, R. L. (1990). *Discrete Location Theory*. Wiley-Interscience Series, 305-345.

Mucuk, İ. (2005). *Modern İşletmecilik*. Revizyon Baskı, Türkmen Kitabevi, İstanbul.

Murawski, L. ve Church, R. L. (2009). Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 102-110.

Ortiz-Astorquiza, C., Contreras, I. ve Laporte, G. (2018). Multi-level facility location problems. *European Journal of Operational Research*, 267(3), 791-805.

Owen, H. S. ve Daskin, M.S. (1998). Strategic Facility Location: A Review. *European Journal of Operations Research*, 111, 423-447.

Öz, T. (2007). *Reverse Logistics and Applications in the Defence Industry*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Özaykuç, M. (2004). *Kolordu Topçusunun Savunma İçin Tertiplenmesinde Matematiksel Model Yaklaşımı*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özçevik, A. (2002). *Evaluation of Ammunition and Fuel Supply Systems of A Turkish Armored Battalion During Mobilization and Deployment Using Simulation*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Bilkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özdamar, İ. (2007). Tesis yeri seçiminde görünmeyen maliyetlerdeki eğilimin belirlenmesinde kullanılan bir yaklaşım. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 128-133, Isparta.

Peeters, D. ve Thomas, I. (1995). Effect of spatial structure on p-median results. *Transportation Science*, 29(4), 366-373.

Powell, D. S. (2004). An Optimization Model for Sea-Based Logistics Supply System for The Navy and Marine Corps. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

Rahmaniani, R. ve Ghaderi, A. (2013). A combined facility location and network design problem with multi-type of capacitated links. *Applied Mathematical Modelling*, 37(9), 6400-6414.

Rahmaniani, R. ve Ghaderi, A. (2015). An algorithm with different exploration mechanisms: Experimental results to capacitated facility location/network design problem. *Expert Systems with Applications*, 42(7), 3790-3800.

Revelle, C. S. ve Eiselt, H. A. (2005). Location Analysis: A Synthesis and Survey. *European Journal of Operational Research*, 165(1), 1-19.

Sabuncuoğlu, İ. ve Utku, D. H. (2002). Logistics 2: Evaluation of Army Corps Artillery Ammunition Supply Systems via Simulation, Proceedings of the 34th Conference on Winter Simulation: Exploring New Frontiers. Winter Simulation Conference.

Sakallı, H. (2004). ASKARAD'ların Arazi Üzerinde Yerleştirilmesine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Sarıkaya, A. (2003). Turizm Bölgelerindeki Jandarma Karakollarının Konuş Yerlerinin Belirlenmesi, Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Saunders-Newton, D. (1993). Adaptive Battlefield Ammunition Distribution, The Role of Systematic Adaptation in Dynamic Environments. Doktora Tezi, RAND Graduate School.

Soydemir, A. (2005). Kritik askeri bölgelerde kimyasal terörist saldırılara karşı erken ihbar ve ikaz sistemlerinin yerleştirilmesi. Yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Harekat Araştırması Ana Bilim Dalı, Ankara.

Sökmen, T. (2003). Jandarma Devriyeleri ve Trafik Timlerinin Yerleşimi: Çankaya İlçe J. K. lığında Uygulama. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu, Savunma

Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Staniec, C. J. (1984). Design and Solution of an Ammunition Distribution Model by a Resource-Directive Multi Commodity Network Flow Algorithm. Doktora Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

StadieSeifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Van Woensel, T. ve Raoufi, R. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233(1), 1-15.

Şahin, S. (2006). Mühimmat Taşımacılığında Güzergah Belirleme Modeli ve Uygulaması. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Şatır, U. (2003). 203 mm Topçu Mühimmatının Tugay, Kolordu, Ordu ve Kara Kuvvetleri Lojistik Komutanlığı Stok Seviyelerinin Tespiti. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Tanergüçlü, T. (2004). Sabit Hava Savunmasında 35 mm.lik Oerlikon Bataryalarının Optimum Mevzi Bölgelerinin Belirlenmesi, Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Tang, X., Lehuédé, F., ve Péton, O. (2016). Location of distribution centers in a multi-period collaborative distribution network. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 52, 293-300.

Tavakkoli, R., ve Shayan, E. (1998). Facilities layout design by genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering* 35(3), 527-530

Tekin, M. (2011). İşletme bilimi. Revizyon Baskı, Günay Ofset, Konya.

Tekin, M. (2012). Üretim yönetimi. Cilt 1, Revizyon Baskı, Günay Ofset, Konya.

Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., Bergman, L. (1971). The Location of Emergency Service Facilities. *Operations Research*, 19, 1363-1373.

Toyoğlu, H., Karasan, O. E. ve Kara, B. Y. (2011). Distribution network design on the battlefield. *Naval Research Logistics (NRL)*, 58(3), 188-209.

Tüzmen, S. (2010). Türkiye’de akaryakıt istasyonu yer seçimine çok amaçlı bir yaklaşım. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Üreten, S. (1999). Üretim İşlemler Yönetimi: Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri. 2.Baskı, Başar Ofset, Ankara.

Üreten, S. (2006). Üretim İşlemler Yönetimi: Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri. Revizyon Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara.